



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE ELÉCTRICA Y
ELECTRÓNICA**

**CARRERA DE INGENIERÍA EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN
DEL TÍTULO DE INGENIERO EN ELECTRÓNICA,
AUTOMATIZACIÓN Y CONTROL**

**TEMA: DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN PROTOTIPO
DE PUNZONADORA CNC INDUSTRIAL AUTOMÁTICA PARA
LA EMPRESA ENERGYPETROL S.A.**

**AUTORES: BARRAGÁN CORONEL DIEGO JAVIER
RUIZ VELASTEGUI CARLOS IVÁN**

DIRECTOR: ING. ORTIZ HUGO MSC.

SANGOLQUÍ, ABRIL 2016

CERTIFICACIÓN



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, “Diseño e implementación de un prototipo de punzonadora CNC industrial automática para la empresa ENERGOPETROL S.A.” realizado por los señores; Diego Javier Barragán Coronel y Carlos Iván Ruiz Velastegui, ha sido revisado en su totalidad y analizado por el software anti-plagio, el mismo cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de Fuerzas Armadas ESPE, por lo tanto, me permito acreditarlo y autorizar a los señores antes mencionados para que lo sustenten públicamente.

Sangolquí, 23 de marzo del 2016



Ing. Hugo Ortiz MSc.

Director

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD



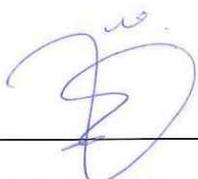
Departamento de Eléctrica y Electrónica

Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Nosotros, Diego Javier Barragán Coronel con cédula de identidad N° 0202005344 y Carlos Iván Ruiz Velastegui con cédula de identidad N° 1720588142, declaramos que este trabajo de titulación “Diseño e implementación de un prototipo de punzonadora CNC industrial automática para la empresa ENERGOPETROL S.A.” ha sido desarrollado considerando los métodos de investigación existentes, así como también se ha respetado los derechos intelectuales de terceros considerándose en las citas bibliográficas. Consecuentemente declaramos que este trabajo es de nuestra autoría, en virtud de ello nos declaramos responsables del contenido, veracidad y alcance de la investigación mencionada.

Sangolquí, 23 de marzo de 2016



Diego Javier Barragán Coronel

CI: 0202005344



Carlos Iván Ruiz Velastegui

CI: 1720588142

AUTORIZACIÓN



Departamento de Eléctrica y Electrónica

Ingeniería en Electrónica, Automatización y Control

AUTORIZACIÓN

Nosotros, Diego Javier Barragán Coronel y Carlos Iván Ruiz Velastegui, autorizamos a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar en la biblioteca Virtual de la institución el presente trabajo de titulación “Diseño e implementación de un prototipo de punzonadora CNC industrial automática para la empresa ENERGOPETROL S.A.” cuyo contenido, ideas y criterios son de nuestra autoría y responsabilidad.

Sangolquí, 23 de marzo de 2016

Diego Javier Barragán Coronel

CI: 0202005344

Carlos Iván Ruiz Velastegui

CI: 1720588142

DEDICATORIA

A mis padres por haber sido quienes han guiado con mucho amor y paciencia cada uno de los pasos que he dado en la vida, y han sido quienes me han apoyado incondicionalmente durante este proceso de formación profesional.

A mis hermanos por ser mis mejores amigos y ser las únicas personas que me han brindado su apoyo incondicional sin importar la situación y por ser las personas con las que puedo contar para toda la vida.

Diego Barragán

DEDICATORIA

A Dios por permitirme vivir este momento tan especial de mi vida.

A mi esposa por ser la persona que siempre está a mi lado apoyándome y alentándome a seguir adelante, por vivir juntos los más hermosos momentos de mi vida.

A mis hijos a quienes amo desde lo más profundo de mi corazón, ustedes constituyen lo más preciado que Dios me pudo haber dado.

A mis padres por ser mis pilares fundamentales desde pequeño pues gracias a ellos he podido culminar todas las etapas necesarias para cumplir este objetivo, por estar siempre pendientes y creer en mí, con ellos tengo la seguridad que puedo contar toda mi vida.

Carlos Ruiz

AGRADECIMIENTOS

A Dios por haberme permitido conseguir este objetivo, por haber sido el único refugio en los momentos más difíciles que tuve que vivir y por haberme brindado la sabiduría y la fortaleza necesaria para llegar a culminar mis estudios.

A mis padres por haberme apoyado incondicionalmente desde el primer día que inicié este reto hasta el último día, Fueron ellos quienes confiaron en que podía lograr este objetivo y a pesar de todos mis errores supieron brindarme la confianza una y otra vez.

A todos mis tíos y tías que han sido mi segunda familia, que me han brindado todo el apoyo que uno requiere cuando está lejos de casa.

A todos y cada uno de los docentes que me impartieron todos sus conocimientos y en especial al Ing. Hugo Ortiz por haber sido la principal guía en el desarrollo de este proyecto de culminación de carrera.

A todos mis amigos y amigas por ser las personas que siempre estuvieron dispuestas a darme una mano en los momentos difíciles y por haber estado presentes en cada una de las victorias.

Diego Barragán

AGRADECIMIENTOS

Agradezco a Dios por cuidar de mí y darme toda la fortaleza necesaria para culminar esta meta planteada.

A mi amada esposa Vane, por su paciencia y comprensión a lo largo de este camino, gracias por su amor y apoyo incondicional que me brinda día a día, a las palabras de aliento que me ayudaron a terminar esta etapa de mi vida.

A mis hijos, por ser mis orgullo y motivos principales para seguir adelante, por impulsarme a cada día superarme en la carrera de ofrecerles lo mejor y muchas veces con tan solo una sonrisa me llenan de ánimos para no desfallecer.

A mi padre, por ser un ejemplo a seguir para mí, gracias por sus consejos y conocimientos brindados a lo largo de mi vida y carrera estudiantil, por estar siempre dispuesto a facilitarme en todo lo que he necesitado.

A mi madre, que gracias a su ejemplo me ha educado y enseñado buenos valores que me permiten formarme como una persona de bien, y a pesar de mis errores esta siempre dispuesta a perdonarme y confiar nuevamente en mí.

A mis familiares y amigos con los cuales he compartido alegrías y tristezas a lo largo de estos años.

Un especial agradecimiento a nuestro director de tesis Ing. Hugo Ortiz, por todo su apoyo y conocimiento brindado que sirvió de orientación y guía para el desarrollo y culminación de este proyecto.

A la empresa ENERGOPETROL S.A en especial al Ing. Gustavo Cevallos por brindarnos su conocimiento y facilitarnos con todos los recursos necesarios para poder hacer realidad este proyecto.

Carlos Ruiz

ÍNDICE DE CONTENIDO

Tabla de contenido

CERTIFICACIÓN.....	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
DEDICATORIA.....	v
AGRADECIMIENTOS.....	vi
AGRADECIMIENTOS.....	vii
ÍNDICE DE CONTENIDO.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	xii
ÍNDICE DE TABLAS.....	xv
RESUMEN.....	xvi
SUMMARY.....	xvii
CAPÍTULO I.....	1
1. GENERALIDADES.....	1
1.1 Antecedentes.....	1
1.2 Justificación e Importancia.....	2
1.3 Alcance.....	3
1.4 Objetivos.....	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	4
CAPÍTULO II.....	5
2. ESTADO DEL ARTE.....	5
2.1. Características de máquinas punzonadoras.....	5
2.1.1. Punzonado.....	5
2.1.2. Ciclo de Punzonado.....	6
2.1.3. Punzonadora.....	7
2.1.4. Punzonadora CNC.....	7
2.2. Sistemas CNC.....	7
2.2.1. Introducción.....	7

2.2.2.	Control Numérico Computarizado (CNC).....	8
2.2.3.	Ventajas de una máquina CNC.....	8
2.2.4.	Desventajas de una máquina CNC:.....	9
2.2.5.	Componentes de una máquina CNC	10
2.3.	Software de programación	13
2.3.1.	Introducción.....	13
2.3.2.	Código G y código M.....	14
2.3.3.	Aplicaciones de Código G y M.....	14
2.3.4.	Estructura de un programa en código G o M	15
2.3.5.	Estructura de un bloque de programación de código G o M.....	15
2.3.6.	Programación automática de código G.....	16
2.3.7.	Sistema CAD (Diseño Asistido por Computadora).....	16
2.3.8.	Sistema CAM (Manufactura Asistida por Computadora).....	16
2.3.9.	Sistema CAD/CAM.....	17
2.4.	Sistemas Eléctricos y Electrónicos de una máquina CNC	18
2.4.1.	Motores de desplazamiento.....	18
2.4.2.	Relés.....	24
2.4.3.	Fuentes de alimentación DC	24
2.5.	Sistemas de control	26
2.5.1.	Controlador Principal de un sistema CNC	26
2.5.2.	Controlador para motores (Drivers)	27
CAPÍTULO III		30
3.	DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO	30
3.1.	Requerimientos iniciales de la punzonadora CNC	30
3.2.	Diseño del sistema eléctrico y electrónico	31
3.2.1.	Descripción.....	31
3.2.2.	Objetivo.....	32
3.2.3.	Sistema eléctrico para activación de electroválvulas	32
3.2.4.	Sistema eléctrico de mando	35
3.2.5.	Sistema electrónico	42
3.1.6.	Diagrama general del sistema eléctrico/ electrónico.....	47
3.3.	Diseño del sistema neumático	48

3.3.1.	Sistema de Levitación de planchas metálicas	48
3.3.2.	Sistema neumático para sujeción de las planchas metálicas (Mordazas neumáticas) .	66
3.3.3.	Sistema neumático para la perforación de las planchas metálicas.....	71
3.4.	Diseño del sistema hidráulico	73
3.4.1.	Descripción.....	73
3.4.2.	Objetivo.....	74
3.4.3.	Componentes principales.....	74
3.4.4.	Diagrama general del sistema	75
3.4.5.	Cálculos de diseño.....	75
3.4.6.	Circuito del sistema hidráulico.....	79
3.5.	Diseño del sistema de control automático	80
3.5.1.	Descripción.....	80
3.5.2.	Objetivo.....	80
3.5.3.	Componentes principales.....	81
3.5.4.	Diagrama general del sistema	82
3.5.5.	Conexión de la tarjeta de control principal CNC	83
3.6.	Montaje e Integración de los Componentes de la máquina.....	84
3.6.1.	Introducción.....	84
3.6.2.	Objetivo.....	84
3.6.3.	Descripción de los componentes de la máquina.....	85
CAPÍTULO IV		95
4. DESARROLLO DE SISTEMAS DE CONTROL.....		95
4.1.	Sistema de Control de Posicionamiento	95
4.1.1.	Objetivo.....	95
4.1.2.	Descripción del sistema.....	95
4.1.3.	Diagrama de flujo del sistema de control	96
4.1.4.	Diagrama de bloques del sistema.....	97
4.2.	Sistema de control del sistema neumático.....	98
4.2.1.	Objetivo.....	98
4.2.2.	Descripción del sistema.....	98
4.2.3.	Diagrama de flujo del sistema.....	99
4.2.4.	Diagrama de bloques del sistema.....	100

4.3	Sistema del Software de Control Numérico Computarizado (CNC).....	100
4.3.1	Descripción.....	100
4.3.2	Proceso CAD-CAM del sistema.....	101
4.3.3	Desarrollo de programación.....	105
4.3.4	Tarjeta Controladora CNC	109
4.3.5	Interfaz Humano – Máquina del Sistema.....	109
CAPÍTULO V		117
5.	PRUEBAS Y RESULTADOS	117
5.1.	Resultados de Fiabilidad del Prototipo	117
5.1.1.	Precisión y Exactitud de desplazamiento.....	117
5.1.2.	Velocidad de desplazamiento.....	124
5.2.	Comparación Punzonadora CNC y Dispositivos Semejantes.....	125
5.2.1.	Comparación entre cortadora láser CNC vs Punzonadora CNC	127
5.2.2.	Análisis comparativo Cortadora láser CNC vs Punzonadora CNC.....	129
5.2.3.	Comparación entre Sacabocados perforador hidráulico vs Punzonadora CNC.....	130
5.2.4.	Análisis comparativo Sacabocados perforador hidráulico vs Punzonadora CNC.....	132
5.2.5.	Comparación entre punzonadora CNC comercial y prototipo construido.....	134
5.2.6.	Análisis Comparativo entre punzonadora CNC comercial y prototipo construido ...	135
CAPÍTULO VI.....		136
6.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	136
6.1.	Conclusiones.....	136
6.2.	Recomendaciones.....	137
REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS		139

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Esquema de punzonado	5
Figura 2. Secuencia de punzonado.....	6
Figura 3. Ejes básicos de una máquina CNC	10
Figura 4. Transmisión con usillo de bolas.....	11
Figura 5. Mandril mecánico para sujeción.	12
Figura 6. Torreta de herramientas fresadora CNC	12
Figura 7. Estructura de bloque de programación.....	15
Figura 8. Motor a pasos acoplado a tornillo sin fin	18
Figura 9. Motor a pasos.....	19
Figura 10. Motor unipolar.....	20
Figura 11. Motor bipolar	20
Figura 12. Secuencia de paso simple.....	21
Figura 13. Secuencia de paso doble	21
Figura 14. Secuencia de medio paso.....	22
Figura 15. Servomotor.....	23
Figura 16. Estructura de un motor lineal	23
Figura 17. Estructura interna de un relé	24
Figura 18. Circuito eléctrico de una fuente DC.....	25
Figura 19. Esquema de un driver para motor a pasos.....	28
Figura 20. Circuito de un driver para un servomotor.....	29
Figura 21. Circuito eléctrico para activación de electroválvulas	33
Figura 22. Relé HF3FF	34
Figura 23. Circuito de mando	37
Figura 24. Contactor Siemens 3RT2024-1AG20	38
Figura 25. Disyuntor Merlin Gerin Multi 9 C60N	39
Figura 26. Dispositivo de protección contra transitorios LEVITON 51020.....	40
Figura 27. Pulsador XB2BA42	41
Figura 28. Luz piloto SASSIN AD22.....	41
Figura 29. Circuito del sistema electrónico.....	44
Figura 30. Fuente de 48 V Keling KL-600-48	45
Figura 31. Motor a pasos Vexta.....	46
Figura 32. Controlador Automation Technology INC KL9082.....	47
Figura 33. Diagrama de bloques del sistema Eléctrico/Electrónico	48
Figura 34. Medidas de la caja para experimentación de la cámara de aire	50
Figura 35. Diseño de la cámara de aire con sus respectivos agujeros.....	50
Figura 36. Construcción física de la cámara de aire para experimentación	51
Figura 37. Distribución de agujeros para la salida de tubería.....	52
Figura 38. Distribución de tubería para el sistema de levitación neumática.....	52
Figura 39. Construcción física del sistema de levitación neumática por tubería.....	53

Figura 40. Modelo del principio de campana de aire	54
Figura 41. Estructura metálica con accesorios para ingreso de aire de air caster	55
Figura 42. Módulo de carga de un air caster	55
Figura 43. Módulo de carga del air caster diseñado	56
Figura 44. Construcción física del módulo de carga del air caster	57
Figura 45. Diseño de la estructura metálica por donde ingresa aire del air caster	57
Figura 46. Estructura metálica con ingreso de aire del air caster	57
Figura 47. Ingreso de aire en el air bearing	58
Figura 48. Air Bearing lleno de aire	58
Figura 49. Salida de aire por los agujeros del air bearing	58
Figura 50. Forma de armar un "air caster"	59
Figura 51. Prueba de Funcionamiento - Principio de levitación neumática por campana de aire	63
Figura 52. Compresor incluido motor Campbell Hausfeld VT619504AJ(AGM03).....	67
Figura 53. Filtro Regulador de Presión Campbell Hausfeld PA212503	68
Figura 54. Tubería Neumática Festo	68
Figura 55. Electroválvula ainsAIR 4V210-08.....	69
Figura 56. Cilindro NeumáticoAirTAC MSAL20X25-S-CA.....	69
Figura 57. Diagrama neumático cilindros de sujeción de la plancha metálica	70
Figura 58. Cilindro Neumático AirTAC SC80X300-S.....	72
Figura 59. Diagrama neumático del cilindro de punzonado	72
Figura 60. Diagrama de bloques del sistema hidráulico	75
Figura 61. Características técnicas de cilindros hidráulicos.....	77
Figura 62. Modelos de unidades de potencia marca Parker	78
Figura 63. Circuito del sistema hidráulico.....	79
Figura 64. Tarjeta de control CNC	81
Figura 65. Diagrama de bloques – Sistema de control.....	82
Figura 66. Conexión de la tarjeta de control CNC	83
Figura 67. Estructura diseñada.....	85
Figura 68. Construcción física de la estructura metálica	86
Figura 69. Ejes de desplazamiento con correa dentada.....	87
Figura 70. Ejes de desplazamiento con tomillo sin fin	87
Figura 71. Bola de transferencia.....	88
Figura 72. Estructura con mesa de desplazamiento y ejes de desplazamiento	88
Figura 73. Mordaza neumática	89
Figura 74. Estructura metálica para sostener cilindro de perforación	89
Figura 75. Diseño de la estructura que sostiene cilindro de perforación	90
Figura 76. Estructura para cilindro de perforación construida físicamente	91
Figura 77. Punzón y matriz diseñados.....	91
Figura 78. Punzón y matriz contruidos físicamente.....	92
Figura 79. Distribución de los elementos en el tablero de control	92
Figura 80. Ubicación física de los elementos eléctricos y electrónicos en el tablero.....	93
Figura 81. Conexión de elementos de mando en el lado frontal del tablero.....	94

Figura 82. Foto de la estructura exterior del tablero de control.....	94
Figura 83. Diagrama de flujo sistema de control de posicionamiento	96
Figura 84 Diagrama de bloques del sistema de control de posicionamiento	97
Figura 85. Diagrama de flujo control del sistema neumático.....	99
Figura 86. Diagrama de bloques control del sistema neumático.....	100
Figura 87. Diagrama de bloques referentes al control de los motores.....	101
Figura 88. Software CAD usado en el proceso de punzonado.....	101
Figura 89. Software CAM usado para el proceso de punzonado	102
Figura 90. Entorno de la Interfaz Gráfica del software SheetCAM.....	103
Figura 91. Botón de activación y desactivación de los cilindros de sujeción de la plancha metálica.....	106
Figura 92. Simulación del punzonado de dos agujeros	106
Figura 93. Logo Sistema CNC USB Controller.....	109
Figura 94. Entorno de la Interfaz Humano-Máquina.....	110
Figura 95. Panel de Posición del Entorno.....	111
Figura 96. Panel de Estado del Entorno	112
Figura 97. Panel de Programa del Entorno	112
Figura 98. Ventana de Simulación del entorno.....	113
Figura 99. Panel de Código G dentro del entorno	113
Figura 100. Panel de entradas manual de comandos.....	114
Figura 101. Barra de Herramientas Horizontal.....	114
Figura 102. Barra de Menú.....	115
Figura 103. Valores medidos con un set-point de desplazamiento de 100 mm.....	118
Figura 104. Valores medidos con un set-point de desplazamiento de 150 mm.....	120
Figura 105. Valores medidos con un set-point de desplazamiento de 500 mm.....	122
Figura 106. Estructura de la cortadora láser CNC.....	126
Figura 107. Sacabocados perforador hidráulico	126
Figura 108. Punzonadora Metform WKC3000	127

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1. Características requeridas para la punzonadora CNC.....	30
Tabla 2. Características principales de los relés utilizados en el sistema.	34
Tabla 3. Características de solenoide de electroválvulas.....	35
Tabla 4. Características del contactor utilizado en el sistema.....	38
Tabla 5. Características del térmico utilizado.....	39
Tabla 6. Características del dispositivo de protección contra transitorios	40
Tabla 7. Características de pulsadores utilizados.....	41
Tabla 8. Características de luces piloto utilizadas.....	41
Tabla 9. Características de la fuente de 48 V DC	45
Tabla 10. Características motor a pasos.....	46
Tabla 11. Principales características de controladores de motores a pasos.....	47
Tabla 12. Tabla comparativa entre métodos de levitación neumática para planchas metálicas.....	61
Tabla 13. Resultados obtenidos de métodos de levitación neumática para planchas metálicas.....	62
Tabla 14. Comparación entre sistema de campana de aire y sistema de bolas de transferencia	64
Tabla 15. Características del Compresor usado en el sistema	67
Tabla 16. Características del Filtro Regulador de Presión Neumático.....	68
Tabla 17. Características de la tubería neumática usada en el sistema.....	68
Tabla 18. Características principales de la electroválvula usada en el sistema	69
Tabla 19. Características del cilindro neumático usado para sujeción de la plancha.....	69
Tabla 20. Características del cilindro usado para el punzonado del sistema.....	72
Tabla 21. Características de la tarjeta de control CNC.....	81
Tabla 22. Características de la computadora del sistema.....	82
Tabla 23. Descripción de Entorno de la Interfaz Gráfica del Software SheetCAM.....	103
Tabla 24. Descripción del bloque de código que permite el punzonado de dos agujeros	107
Tabla 25. Descripción de Botones de la Barra de Herramientas del HMI	114
Tabla 26. Descripción Botones de Barra de Menú de la Interfaz HMI.....	115
Tabla 27. Valor deseado y medidos para desplazamiento de 100 mm eje X.....	117
Tabla 28. Datos deseados y medidos para desplazamiento de 150 mm eje X.....	119
Tabla 29. Datos deseados y medidos para desplazamiento de 500 mm eje X.....	121
Tabla 30. Cálculo de velocidad máxima de desplazamiento	124
Tabla 31. Cálculo de velocidad óptima de desplazamiento.....	124
Tabla 32. Comparación entre cortadora láser CNC vs Punzonadora CNC	127
Tabla 33. Comparación entre Sacabocados perforador hidráulico vs Punzonadora CNC.....	130
Tabla 34. Comparación entre Punzonadora CNC comercial vs prototipo de Punzonadora CNC	134

RESUMEN

Una punzonadora es un tipo de máquina capaz de perforar planchas de acero de diferentes materiales y espesores, la forma de los agujeros que se realizan dependen del punzón y la matriz. El punzón esta acoplado a un actuador lineal de gran capacidad, el cual al entrar en acción perfora fácilmente lo que se encuentra entre el punzón y la matriz. Existen punzonadoras que funcionan manualmente, pero en los últimos tiempos ha tomado fuerza máquinas de tipo CNC (Control Numérico Computarizado), las cuales ofrecen ventajas como mayor precisión de trabajo, reducción en tiempos de producción, menor peligro para operarios, entre otros. Existen elementos de control y programas que permiten trabajar con máquinas CNC. Por lo tanto, lo que se hace en este proyecto es integrar todos estos elementos en la construcción de una máquina cuyo sistema central está basado en una computadora, la cual comanda a los actuadores que generan los movimientos de las planchas de metal y a los actuadores que forman parte del proceso de perforación. El prototipo implementado permite perforar planchas metálicas de acuerdo al diseño desarrollado en un programa CAD, el cual será traducido a código numérico o también llamado “código G” mediante la herramienta de software CAM para después cargar y ejecutar el mismo mediante la interfaz de la tarjeta de control CNC. La tarjeta de control es la encargada de enviar las señales hacia los drivers de los motores indicando la dirección y velocidad de giro de los motores acoplados a los ejes lineales encargados del posicionamiento de la plancha metálica. Las salidas digitales de la tarjeta permiten tener el control de la activación del cilindro neumático de perforación, así como también de los cilindros neumáticos que sujetan la plancha metálica durante el posicionamiento de las mismas. Con la construcción de este prototipo se demuestra que es posible construir máquinas de este tipo en nuestro país integrando productos que se pueden conseguir en otros países y hacerlos que trabajen junto a elementos diseñados y construidos en nuestro país.

PALABRAS CLAVES:

- **PUNZONADORA**
- **CONTROL NUMERICO COMPUTARIZADO (CNC)**
- **PUNZÓN**
- **MATRIZ**

SUMMARY

A punching machine is a type of machine that is capable of drilling steel plates of different materials and thicknesses, the shape of the holes that are made depend on the punch and die. The punch is coupled to a linear actuator of great capacity; this actuator easily pierces whatever is in between the punch and die. There are punching machines that are operated manually, but in recent times CNC machines (Computer Numerical Control) have become more popular, these offer advantages for industries such as; more precision, reduced production times, less risk for operators, among others. There are control elements and programs for working with CNC machines. Therefore, what is done in this project is to integrate and use all these elements in the construction of a machine whose central system is based on a computer, which successfully commands the actuators that generate the movements of the metal plates and actuators that allow the punching process. The prototype that is implemented allows the drilling of metal sheets according to the design developed in a CAD program, this will be translated into numerical code, also known as "G-code" using the software tool CAM and then it will be loaded and run through the interface of the CNC card controller. The controller board is responsible for sending signals to the engine drivers indicating the direction and speed of the motors that are coupled to linear axis which positions the metal plate. The digital outputs of the card enable control of the activation for the pneumatic cylinder that punches out the metal plates, and also the activation of the pneumatic cylinders that holds the metal plate during positioning. The implementation of this prototype shows that it is possible to build these kind of machines in our country, it is not necessary to build all the elements that are part of a CNC punch press, instead we can integrate products that are available in other countries and make them work together with elements designed and built in our country.

KEY WORDS:

- **PUNCHING MACHINE**
- **COMPUTER NUMERICAL CONTROL (CNC)**
- **PUNCH**
- **DIE**

CAPÍTULO I

1. GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

Desde los inicios del desarrollo del sector industrial, la humanidad se ha visto obligada al manejo de los diferentes metales ya que este tipo de material tiene gran utilidad en todo el mercado mundial.

El principal problema radica en el manejo del mismo como es el corte, perforación y moldeamiento ya que por sus características, requiere el ingenio del ser humano en la creación de herramientas o maquinaria de alta tecnología y potencia que facilite su manufactura.

Hoy en día existen diferentes tipos de maquinarias en el ámbito industrial que se usan para realizar procesos de cortes y perforaciones en chapas metálicas ya sean estas manuales o con sistemas automáticos por lo que se distinguen fresadoras, aserradoras, punzonadoras, etc.

Una punzonadora se refiere a un tipo de máquina que tiene como propósito perforar planchas que pueden ser de diferentes materiales mediante el uso de herramientas especiales como punzones y una matriz a semejanza de una prensa.

Con el avance de la tecnología se ha incorporado máquinas automáticas de tipo CNC para la realización de este tipo de aplicaciones con el objetivo de aumentar nuevas técnicas de producción, incrementar la calidad de los productos mediante el aumento de precisión, mejorar el control del proceso, disminuir tiempos de maquinado, incrementar la seguridad para el usuario y reducir costos.

La compañía ecuatoriana ENERGYPETROL S.A ubicada en la ciudad de Quito ofrece servicios y soluciones de ingeniería especializadas para el sector petrolero e industrial que demande de alta tecnología.

Uno de los proyectos que tiene la empresa es implementar en su planta de producción una punzonadora automática CNC industrial cuyo objetivo es conseguir realizar agujeros de diferentes formas y figuras en chapas metálicas partiendo de formatos de láminas mediante una operación mecánica automatizada con el uso de herramientas específicas para punzonado.

1.2 Justificación e Importancia

El proyecto que se presenta es de carácter teórico práctico el cual está enfocado al ámbito de la investigación y experimentación para el desarrollo de un prototipo de una máquina industrial que en la actualidad no se produce en nuestro país.

En el ámbito industrial, es común la utilización de máquinas punzonadoras, ya que representa una gran ayuda al momento de trabajar sobre planchas metálicas. En nuestro país, de igual manera, se puede observar que es normal la utilización de este tipo de herramientas, ya sea en pequeños talleres artesanales o en grandes fábricas dedicadas a la producción a gran escala.

La mayoría de estas maquinarias fueron fabricadas en el exterior y posteriormente adquiridas por las empresas ecuatorianas. De seguro el costo fue muy elevado y representó una gran inversión para las empresas nacionales. De ahí resulta la necesidad de empezar a producir este tipo de herramientas en nuestro país, con conocimiento, mano de obra y materia prima ecuatoriana.

La empresa ENERGOPETROL S.A., meses atrás se vio en la necesidad de adquirir una punzonadora industrial CNC, encontrándose con la situación de que no existen empresas ecuatorianas que vendan este tipo de productos. Para comprar una punzonadora en nuestro país se lo debe hacer bajo pedido, lo cual eleva el costo final y hace poco agradable la idea de adquirir una de estas herramientas para la empresa.

Por este motivo, ENERGOPETROL S.A. ha visto la necesidad de emprender un proyecto en el cual se desarrolle en su totalidad un prototipo de una máquina punzonadora CNC. La empresa desea emplear esta herramienta para realizar chapas metálicas perforadas, las cuales son utilizadas en la elaboración de diversos elementos que son comunes en la industria petrolera, electrónica, inmobiliaria, etc.

Además, al desarrollar esta máquina, permitirá conocer el costo real de producción y la rentabilidad que podría representar comercializarla dentro del mercado nacional. Tomando en cuenta que la industria ecuatoriana se encuentra en crecimiento y aumentarán sus necesidades por adquirir este tipo de máquinas, pudiendo darse cuenta que existe un mercado bastante amplio para este tipo de productos.

1.3 Alcance

Para este proyecto se busca desarrollar un prototipo de una máquina punzonadora CNC automática de nivel industrial que sea capaz de perforar planchas de acero. Para desarrollar el prototipo será necesario trabajar en las etapas que se explican a continuación.

El prototipo está conformado por dos partes principales: la base metálica y el cilindro hidráulico. Para que las placas metálicas se desplacen fácilmente sobre la base, será necesario diseñar e implementar un sistema de bolas de transferencia que permita movilizar las planchas metálicas con facilidad. La base deberá tener una cantidad determinada de bolas de transferencia por donde se movilizará la plancha a punzonar.

Se implementará el sistema eléctrico que permita la activación de los actuadores dentro del prototipo. El sistema cuenta con 3 tipos de actuadores; las mordazas que sostienen la chapa metálica, los motores que permiten el movimiento de la chapa metálica y el cilindro hidráulico que realiza las perforaciones.

Las mordazas y el cilindro hidráulico son activados y desactivados mediante electroválvulas que reciben la señal del sistema principal. De igual manera los motores funcionarán en base a las órdenes del sistema principal.

Se deberá diseñar e implementar un sistema de control CNC que permita el movimiento de los actuadores para que la placa sea perforada en las coordenadas que el sistema haya ordenado.

Finalmente será necesario desarrollar una interfaz humano-máquina, que permita controlar el funcionamiento de todo el sistema y cargar los patrones que se desea formar en las chapas.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Optimizar el proceso de perforación de planchas metálicas mediante la automatización de un prototipo de punzonadora CNC.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Optimizar el desplazamiento de las placas metálicas mediante un sistema neumático que eleve las mismas a una altura determinada.
- Posicionar eficazmente las láminas metálicas por medio de un sistema de control automático.
- Optimizar la operación del prototipo implementado a través de una interfaz gráfica humano-máquina.
- Mejorar la precisión de perforación de las placas metálicas mediante el principio del control numérico computarizado (CNC).
- Evaluar el funcionamiento del prototipo desarrollado mediante diferentes pruebas de campo.

CAPÍTULO II

2. ESTADO DEL ARTE

2.1. Características de máquinas punzonadoras

2.1.1. Punzonado

El punzonado es una operación mecánica en la cual se pueden realizar agujeros de diversas formas y tamaños en láminas metálicas. La lámina metálica que se va a perforar se encuentra entre el punzón de corte y la placa matriz, al aplicar una fuerza determinada sobre el punzón de corte, este traspasará la lámina de metal. La fuerza que se necesita para perforar el metal depende del espesor de la lámina, la dureza o resistencia del material y el perímetro de la figura que se desea cortar. En la Figura 1 se puede observar los componentes que son parte del proceso de punzonado y además se puede ver el sentido en el que se debe aplicar la fuerza de perforación (F) y el sentido que ejerce la fuerza de resistencia del material (R).

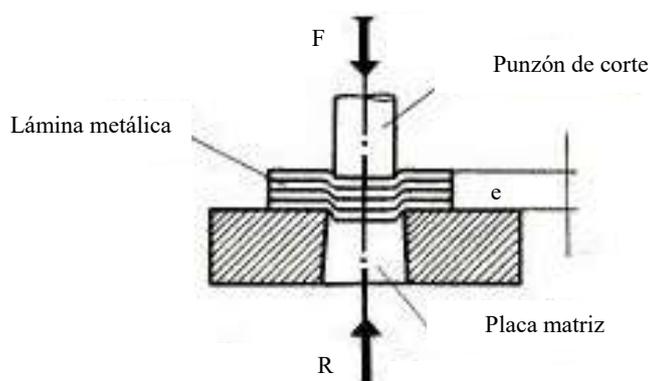


Figura 1. Esquema de punzonado

Fuente: (Mateos, 2015)

2.1.2. Ciclo de Punzonado.

Para perforar cualquier tipo de forma y en distintos tipos de planchas metálicas, será necesario que la punzonadora siga el siguiente ciclo:

- Impacto: Es el primer contacto entre el punzón de corte y la placa de metal que se desea perforar.
- Penetración: Cuando el punzón empieza a penetrar la plancha de metal, se empieza a generar la deformación de la zona de perforación
- Ruptura: Cuando el punzón ya se ha introducido y empieza a quebrar la estructura metálica
- Perforación total: Es el momento que se perfora totalmente la plancha metálica, y se separa la pieza perforada de la plancha principal.
- Final de ruptura: Es el punto final del recorrido del cilindro hidráulico y este se detiene por un instante para iniciar su retorno.
- Retirada: Cuando el punzón regresa a su posición inicial y puede ser utilizado para una nueva perforación

En la Figura 2 se muestra una secuencia de los pasos descritos anteriormente y se puede observar que el movimiento del punzón durante los cuatro primeros pasos es hacia abajo y cuando ha alcanzado el final de ruptura empieza retroceder a su posición inicial

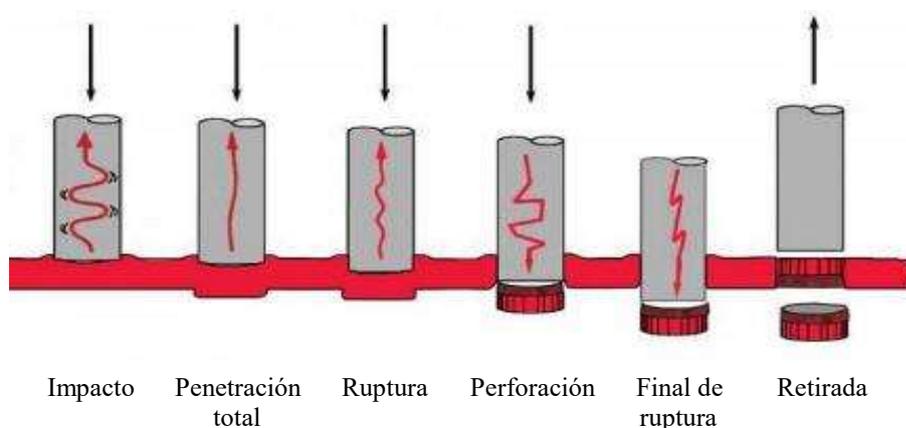


Figura 2. Secuencia de punzonado.

Fuente: (Konopinski, 2015)

2.1.3. Punzonadora

Es una máquina que tiene la capacidad de perforar planchas metálicas con distintos diseños y tamaños, usando un punzón y una matriz. Su funcionamiento es similar a una prensa hidráulica, pero en este caso se utiliza la fuerza para perforar. Existen punzonadoras sencillas que pueden ser accionadas manualmente y en la actualidad existen máquinas más complejas que realizan automáticamente perforaciones muy precisas y a gran velocidad, estas se llaman punzonadoras CNC.

2.1.4. Punzonadora CNC

Son máquinas que realizan el proceso de punzonado mediante un sistema mecánico automatizado, el cual es capaz de plasmar en la plancha metálica un esquema que ha sido diseñado en un computador. Es un sistema que controla el maquinado, movimiento de herramientas y la ejecución de programas para llevar a cabo la transformación física de un diseño realizado en computador.

2.2. Sistemas CNC

2.2.1. Introducción

Los sistemas CNC tuvieron sus principios a inicios de los años cincuenta en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), la primera máquina que se automatizó fue una fresadora de grandes magnitudes. Pero en realidad las computadoras eran aún más grandes ya que de igual manera se encontraban en sus inicios. En la actualidad las computadoras han llegado a ser muy baratas, rápidas y ocupan muy poco espacio, de esta manera el uso de sistemas CNC ha proliferado en todo el mundo y se ha ampliado a todo tipo de máquinas como:

- Tornos
- Fresadoras
- Plasma
- Punzonadoras
- Cortadora por chorro, etc.

2.2.2. Control Numérico Computarizado (CNC)

Se considera control numérico a todo dispositivo capaz de dirigir posicionamientos de un órgano mecánico móvil, en el que las órdenes relativas a los desplazamientos del móvil son elaboradas en forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas definidas, bien manualmente o por medio de un programa. (Escalona, 2016)

En la actualidad se habla frecuentemente de control numérico que se utiliza en una amplia gama de máquinas que en la actualidad son muy precisas, rápidas y eficientes al momento de realizar una tarea que antiguamente era muy complicada.

2.2.3. Ventajas de una máquina CNC

- **Seguridad:** Al tratarse de una máquina automática, se puede prescindir de un operador. Por lo tanto, cuando se trabaja con materiales peligrosos, ya no existe un ser humano que corra peligro, únicamente las máquinas. El ser humano no está exento de cometer errores involuntarios, en cambio una máquina realiza sistemáticamente las tareas sin posibilidad de errores.
- **Precisión:** Al contar con un control numérico se garantiza la precisión en cada uno de los movimientos que realizan los ejes de la máquina CNC. Esta precisión no se puede conseguir en las máquinas antiguas que eran operadas por un humano.
- **Aumento de productividad:** Gracias a la rapidez y precisión de desplazamiento de los ejes de una máquina CNC, se puede reducir los tiempos

de mecanizado de una pieza. En consecuencia, se puede producir un mayor número de piezas en menor tiempo y esto se traduce en mayor productividad.

- **Facilidad en la manufactura:** Gracias al control numérico, se pueden realizar piezas muy complejas, mediante la ayuda de un computador que facilita considerablemente lo que antes podía ser inimaginable.
- **Facilidad de operación:** Esto se debe principalmente a la reducción de controles de la máquina, disminuyendo prácticamente toda operación humana. Este se ve reflejado directamente en una mayor fiabilidad y respetabilidad de la máquina

2.2.4. Desventajas de una máquina CNC:

- **Costo:** El costo de una máquina CNC es elevado debido a la complejidad de su sistema y a todas las ventajas con las que cuentan este tipo de máquinas.
- **Nivel complejo de programación:** Uno de los pasos más importantes en una máquina CNC, es la herramienta. Es fundamental realizar una programación correcta de la secuencia de corte y la herramienta que se utiliza. Este aspecto muchas veces puede representar una dificultad en el momento de la programación
- **Costos de mantenimiento elevados:** Este costo es elevado porque el sistema de control es más complicado de lo normal y además se requiere de personal capacitado para la operación y el mantenimiento de la máquina.
- **Necesidad de un gran volumen de producción:** Para lograr un alto nivel de eficiencia de una máquina CNC, es necesario tener niveles de producción elevados. Porque tomando en cuenta los costos de producción, es necesario que se aproveche al máximo la capacidad de una de estas máquinas.

2.2.5. Componentes de una máquina CNC

A continuación, se realiza una breve descripción de los componentes principales de una máquina CNC común.

2.2.5.1. Ejes principales

Son los elementos que permiten los desplazamientos principales de las partes móviles que conforman la máquina, es decir de la herramienta o la meza porta piezas. Lo más común es que una máquina CNC cuente con 2 o 3 ejes principales y se los denomina X Y Z. En la Figura 3 se puede observar un ejemplo de una fresadora CNC que cuenta con 3 ejes principales (X, Y, Z).

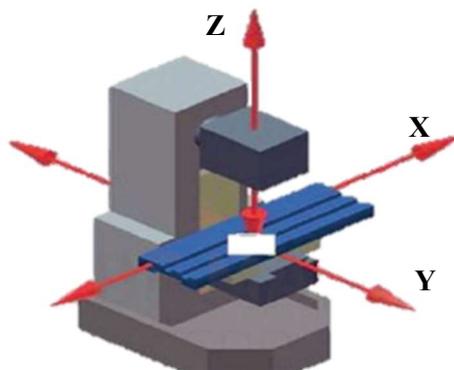


Figura 3. Ejes básicos de una máquina CNC

Fuente: (Máquinas y herramientas, 2013)

2.2.5.2. Sistemas de transmisión

Estos sistemas producen movimientos rectilíneos en cada eje principal, esto en base al giro generado por la interacción entre el motor y la reducción. Dependiendo de la tarea que se vaya a realizar con la máquina, se deberá tomar en cuenta el recorrido

máximo que puede alcanzar cada eje, la capacidad de carga de cada eje y la velocidad de desplazamiento que puede alcanzar cada eje. Entre los ejes de desplazamiento más comunes que se puede encontrar esta; tornillos sin fin, usillo de bolas, piñón y cremallera, correa dentada, etc. En la Figura 4 se puede observar un sistema de transmisión compuesto por un motor y mediante un sistema de engranes se transmite la fuerza hacia un tornillo sin fin y el usillo de bolas es el que permite el desplazamiento del actuador.

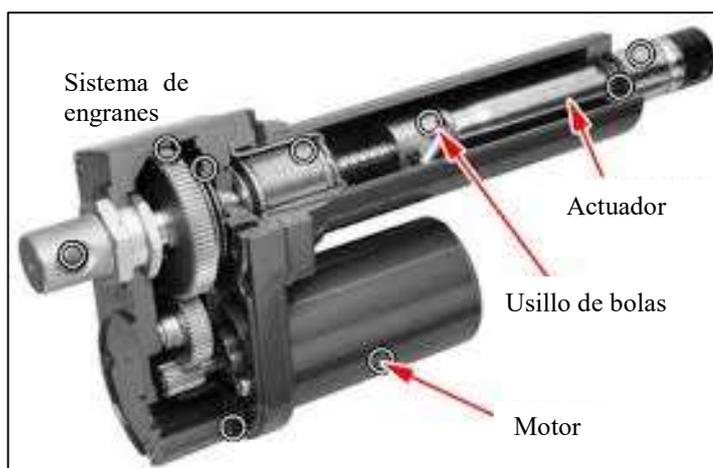


Figura 4. Transmisión con usillo de bolas

Fuente: (Berkomat, 2015)

2.2.5.3. Sistema de sujeción

Es el sistema encargado de sostener la herramienta con la que se va a trabajar en la máquina CNC. Existen diversos tipos, de los cuales se pueden mencionar lo más comunes; platos o mezas magnéticas, mandriles, conos, platos con dos o tres garras frontales, palancas de apriete, entre otros. Para sistemas de punzonado es necesario mordazas mecánicas que permitan desplazar la lámina de metal en la que se procederá a trabajar. En la Figura 5 se puede observar un mandril mecánico para la sujeción de la herramienta, este tipo de elementos debido a su facilidad de manejo, son muy comunes en otras herramientas de trabajo como taladros y por eso también es conocido como porta brocas.



Figura 5. Mandril mecánico para sujeción.

Fuente: (Esteban, 2013)

2.2.5.4. Cambiadores de herramientas

Por más sencillo que sea un trabajo de mecanizado, requerirá que emplee más de una herramienta. Para facilitar esta tarea existen sistemas automáticos de cambio de herramientas, los cuales son controlados mediante el giro de una torreta que coloca en la posición correcta según esté ubicada cada herramienta. Este elemento en la actualidad es necesario en todos los tipos de máquinas CNC, debido a la gran ayuda que representa para el operario. En la Figura 6 se puede observar una torreta de herramientas de una fresadora, se puede observar que tiene espacio para 12 herramientas que pueden ser intercambiables.



Figura 6. Torreta de herramientas fresadora CNC.

Fuente: (Apex Dynamics Inc, 2013)

2.2.5.5.Sistema electrónico

Es la parte de programación, control y verificación del funcionamiento de una máquina CNC. En la sección 2.3, 2.4 y 2.5 se habla detalladamente de los componentes de este sistema. Pero se puede mencionar que en términos generales un sistema electrónico, de una máquina CNC, se puede dividir en:

- Periféricos de entrada y salida: debe existir una interfaz que permita la comunicación entre el ser humano y la máquina.
- Computadora: encargada de realizar todas las operaciones lógicas que serían muy complejas para un ser humano.
- Control principal: Es el que interpreta las órdenes de la computadora y las transforma en señales para todos los elementos de la máquina.
- Interfaz con los motores: Convierte las señales provenientes del controlador principal y las convierte en señales que generan el desplazamiento de los motores.

2.3. Software de programación

2.3.1. Introducción

Desde los principios de las máquinas CNC, se eligió al código G como mejor opción para la programación de este tipo de máquinas. Este lenguaje de programación se lo puede definir como un conjunto de líneas o bloques que gobiernan el movimiento de los ejes de la máquina, su dirección y su velocidad. Inicialmente estas instrucciones se almacenaban en cintas perforadas que debían ser ingresadas en la máquina CNC, posteriormente aparecieron los discos magnéticos en los que se podía almacenar el código programado y en la actualidad se cuenta con la facilidad de almacenar el código en el disco duro de la misma computadora en la que se generó en archivo de programación.

2.3.2. Código G y código M

En la mayoría de máquinas que se basan en el Control Numérico Computarizado (CNC), su programación se la realiza en base a un lenguaje nativo conocido como código G (instrucciones Generales) y código M (instrucciones Misceláneas). Mediante este lenguaje de programación se ordenan movimientos en forma de rectas o circunferencias, acciones sencillas como el cambio de herramienta y se fijan parámetros del maquinado como la velocidad de desplazamiento de los ejes de la máquina.

En la actualidad aún existen diversas versiones de código G y M, por este motivo se llevó a cabo una estandarización que fue impulsada por ISO. Esta estandarización permitió que sea posible utilizar un mismo programa en diferentes máquinas CNC. Esto principalmente ha hecho que el código G y M se convierta en un lenguaje universal para máquinas CNC y su vigencia y robustez está garantizada por unos cuantos años más

2.3.3. Aplicaciones de Código G y M

- Fresado
- Torneado
- Taladrado
- Esmerilado
- Doblado
- Punzonado
- Maquinado por descarga eléctrica (EDM)
- Inspección (Máquina de coordenadas)

2.3.4. Estructura de un programa en código G o M

Todos los programas deben tener un nombre o un número identificador. Algunos controles numéricos solo aceptan números. Los programas CNC están compuestos por bloques sucesivos. Cada uno de éstos es una instrucción para el control. Los bloques pueden estar numerados o no. De no estarlos el control los ejecutará en el orden en que los vaya encontrando. La numeración de los bloques puede no ser de uno en uno. Puede ser de cinco en cinco, de diez en diez, etc. Esto es conveniente para introducir luego bloques intermedios sin alterar toda la numeración. La numeración debe ser siempre creciente. Si existiera un bloque cuyo número sea menor al anterior, el control detiene la ejecución del programa. (Jimenez, 2016)

2.3.5. Estructura de un bloque de programación de código G o M

Un bloque de programación debe tener la siguiente estructura de programación que se muestra en la Figura 7. No necesariamente se deben incluir todos los campos que se muestran, una vez que se haya definido un parámetro en una línea (Ejemplo: la velocidad), ya no es necesario volverla a repetir en la siguiente línea. Lo que siempre debe estar presente en un bloque de programación, es el número de bloque N y acompañado de las demás instrucciones.



Figura 7. Estructura de bloque de programación.

Fuente: (Taller de Tecnología Universidad Nacional de la Plata, 2016)

2.3.6. Programación automática de código G

Las máquinas CNC han sufrido una serie de cambios positivos y desarrollo acelerado que han permitido reemplazar a las máquinas convencionales y de esta manera se ha logrado incorporarlas en los procesos industriales. De esta manera las máquinas CNC han demostrado ser una muy buena opción para realizar trabajos automáticos y su fácil integración con otras tecnologías ha demostrado ser el mejor aliado de sistemas CAD/CAM.

2.3.7. Sistema CAD (Diseño Asistido por Computadora)

Es aquel sistema que permite realizar de manera interactiva el dibujo del diseño que se desea llevar a cabo, todo esto con la ayuda de un computador que es capaz de realizar los cálculos y acciones que antes eran muy complicadas para el ser humano y representaba un gasto muy elevado; como por ejemplo dibujar en 3 dimensiones o la dificultad de dibujar grandes extensiones de dibujo en mucho papel. Entre los sistemas CAD más utilizados se encuentran:

- AUTOCAD
- BRICSCAD
- ALLYCAD
- TURBOCAD
- MICROSTATION
- DRAFTSIGHT

2.3.8. Sistema CAM (Manufactura Asistida por Computadora)

“Es un sistema que incorpora una o más computadoras para llevar a cabo tareas de organización, programación y control de las operaciones necesarias para la

manufactura del producto, se encarga de la utilización de la informática en la automatización y control de los procesos de producción desde el control de máquinas herramientas hasta la gestión de producción, almacenamiento y transporte” (Del Castillo, 2008, pág. 4)

En la actualidad los programas son conocidos por ser los programas para programación automática de código G, pero en realidad tienen otras utilidades como simulación del maquinado de una pieza, lo cual permite detectar posibles errores y problemas que se puedan generar. Tomando en cuenta todas estas ventajas que brinda un sistema CAM, las empresas ahora pueden tener volúmenes de producción mayores en menor tiempo, con mayor calidad y necesidad de personal altamente capacitado. Entre los sistemas CAM más utilizados se puede mencionar los siguientes:

- ALPHACAM
- CADEM
- SHEETCAM
- CAM WORKS
- ICAM

2.3.9. Sistema CAD/CAM

Estos sistemas son una mezcla de los 2 sistemas explicados anteriormente, primero en el sistema CAD se diseña la pieza que se quiere producir, esto mediante la ayuda de una computadora que cuente con las herramientas de dibujo, posteriormente mediante el sistema CAM se generan las trayectorias que debe seguir la máquina para obtener la pieza dibujada en el sistema CAD y automáticamente se genera el programa de código G que permite obtener físicamente lo que inicialmente era un dibujo. Entre los programas CAD/CAM más conocidos se pueden mencionar los siguientes:

- MASTERCAM
- BOBCAD CAM
- CIMATRON
- EDGE CAM

2.4. Sistemas Eléctricos y Electrónicos de una máquina CNC

Entre los componentes más importantes de una máquina de este tipo, son los elementos eléctricos y electrónicos, ya que estos son los que hacen posible que un dibujo de un diseño se convierta en una pieza física tangible. Entre los elementos eléctricos y electrónicos importantes están; motores, fuentes de alimentación DC, relés. A continuación, se hace una descripción más detallada de algunos de estos componentes fundamentales para el funcionamiento de una máquina CNC.

2.4.1. Motores de desplazamiento

Los motores son el elemento eléctrico que permite el desplazamiento circular o lineal de la herramienta de la máquina CNC, el eje del motor suele estar acoplado directamente con el eje de desplazamiento de la máquina (tornillo sin fin, cremallera, correa dentada, etc.). Los motores deben ser capaces de desplazar con gran precisión la herramienta que trabaja en el maquinado y además deben ser capaces de generar movimientos regulares y estables además de reaccionar rápidamente a las variaciones de aceleración que sean necesarias. En la Figura 8 se muestra un eje de desplazamiento compuesto por un motor a pasos que tiene acoplado a su eje un tornillo sin fin.



Figura 8. Motor a pasos acoplado a tornillo sin fin.

Fuente: (HSM, 2015)

Existen diversos tipos de motores que se utilizan en este tipo de máquinas, los que se utilizan más frecuentemente son los motores a pasos, motores lineales y servomotores. A continuación, se realiza una breve descripción de cada uno de estos motores.

2.4.1.1. Motores a pasos

La principal característica de estos motores es su precisión, pero su torque es relativamente bajo, por este motivo se suelen utilizar en máquinas de poca capacidad de carga. Para generar el movimiento de este tipo de motores es necesario hacer una especie de barrido con las bobinas que forman el motor. Este motor se alimenta con corriente continua, pero para su funcionamiento es necesario de otros elementos electrónicos que permitan controlar su velocidad y sentido de giro. En la Figura 9 se puede observar un motor a pasos que se puede encontrar en el mercado.



Figura 9. Motor a pasos

Fuente: (Mercury, 2015)

- **Tipos de motores a pasos**
 - Unipolares: Se llama así por el único sentido en el que circula la corriente por los diferentes bobinados (4 bobinas), es decir que todas las bobinas tienen un solo conductor. En la Figura 10 se puede observar la disposición de cada una de las bobinas que son parte de un motor de este tipo.

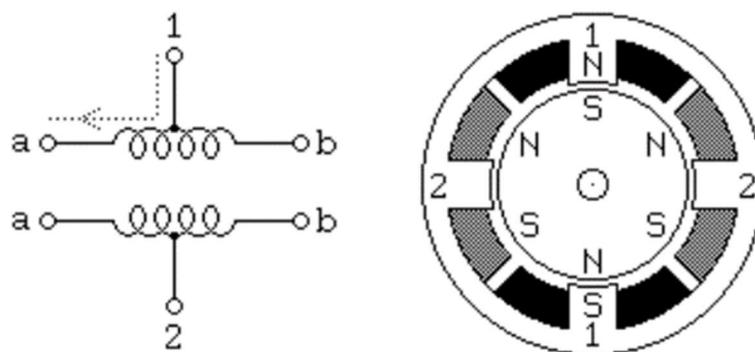


Figura 10. Motor unipolar

Fuente: (Universidad Politécnica de Valencia, 2015)

- Bipolares: La tensión que se le aplica a este motor hace que cambie el sentido de la corriente que circula por los bobinados (2 bobinas), por este motivo un solo bobinado puede tener 2 polaridades. En la Figura 11 se observa la disposición de cada una de las bobinas.

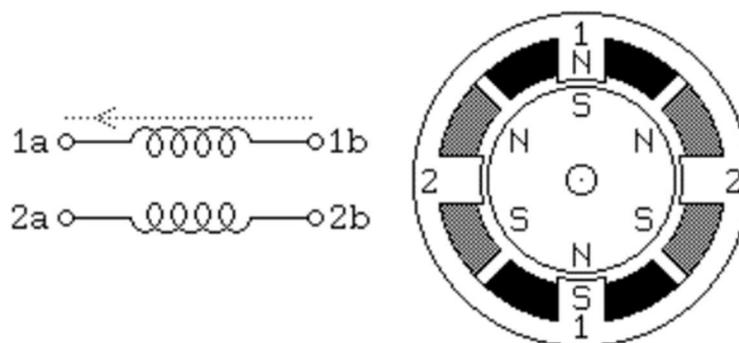


Figura 11. Motor bipolar

Fuente: (Universidad Politécnica de Valencia, 2015)

- **Secuencia para controlar motores a pasos**

La forma más fácil de controlar estos motores es variar la secuencia de encendido de sus bobinas.

- Paso simple: Consiste en encender una a una las bobinas del motor, mediante este método se pierde torque y precisión. En la Figura 12 se puede observar una secuencia para un paso simple.

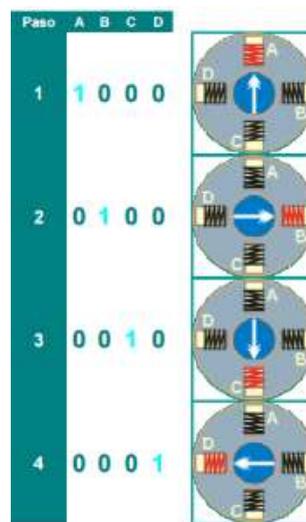


Figura 12. Secuencia de paso simple

Fuente: (Ramos, 2015)

- Paso doble: Mediante esta secuencia se activan las bobinas de dos en dos, con esta se gana considerablemente en torque ya que el campo magnético generado por dos bobinas es mayor que una sola. En la Figura 13 se observa la secuencia de paso doble.
- Secuencia de medio paso: Es una mezcla entre las dos secuencias descritas anteriormente, es como ir haciendo un desplazamiento de bobinas de esta forma se gana mayor precisión. En la Figura 14 se puede observar la forma en la que se genera este tipo de paso.

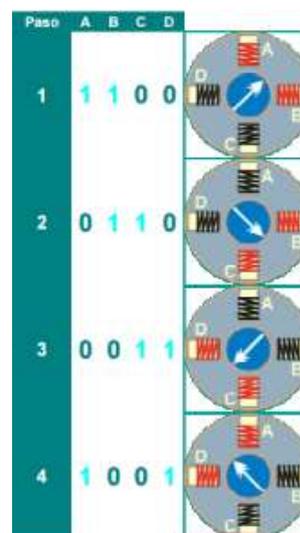


Figura 13. Secuencia de paso doble

Fuente: (Ramos, 2015)

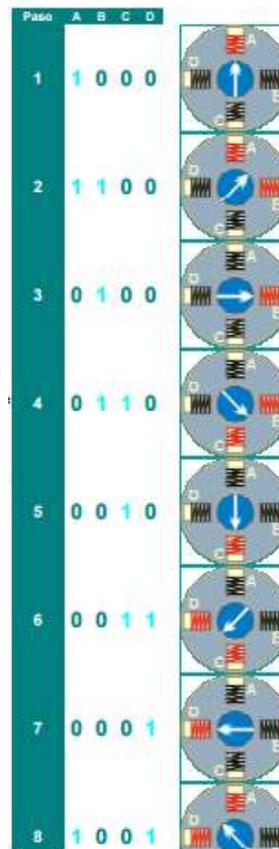


Figura 14. Secuencia de medio paso

Fuente: (Ramos, 2015)

2.4.1.2. Servomotores

La característica principal de estos motores es su alta potencia y torque, por este motivo es utilizado con elevadas cargas de trabajo. Hay que mencionar que los servomotores que se utilizan en máquinas CNC, son diferentes a los servomotores comunes, ya que los servomotores comunes están compuestos por un motor DC y logran su posicionamiento en base a una frecuencia determinada, en cambio estos servomotores tienen un motor AC y logran posicionarse en un punto determinado, gracias a la ayuda de un encoder. Mediante el control numérico se establece la rampa para la aceleración y desaceleración del motor que evita los desplazamientos incorrectos. En la Figura 15 se puede observar el esquema de un servomotor que se puede utilizar en una máquina CNC.



Figura 15. Servomotor

Fuente: (JVL Internacional APS, 2016)

2.4.1.3. Motores lineales

El principio de funcionamiento de este tipo de motores es el mismo que el de un motor normal, únicamente que la bobina secundaria se encuentra ubicada linealmente a lo largo del recorrido que se desea hacer y la bobina primaria es la que se va a desplazar. En la Figura 16 se puede ver cuál es la disposición de cada uno de los elementos que se han descrito. Este tipo de motores son considerados como los motores de la nueva generación, ya que son capaces de alcanzar grandes aceleraciones.

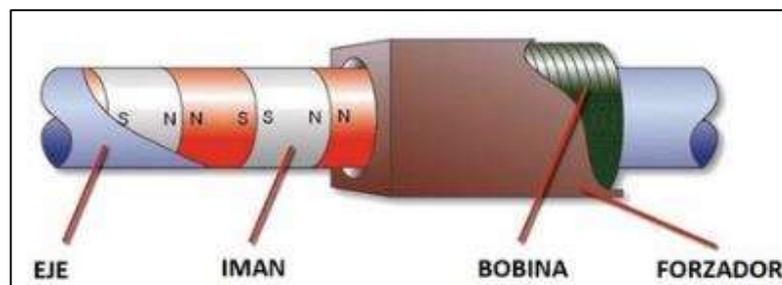


Figura 16. Estructura de un motor lineal

Fuente: (Mecalux Logismarket, 2016)

2.4.2. Relés

Este es un dispositivo electromagnético que sirve como un interruptor accionado por un electroimán. Un electroimán es una barra de cobre dulce que se conoce como núcleo, y a este le rodea un hilo de cobre. Al pasar una corriente a través del hilo de cobre, el núcleo se magnetiza y se convierte en un imán. En un relé este electroimán al activarse atrae un elemento de hierro llamado pivote y esto empuja los contactos del interruptor y permite el paso de corriente por este. En la Figura 17 se puede observar cada uno de los elementos descritos.

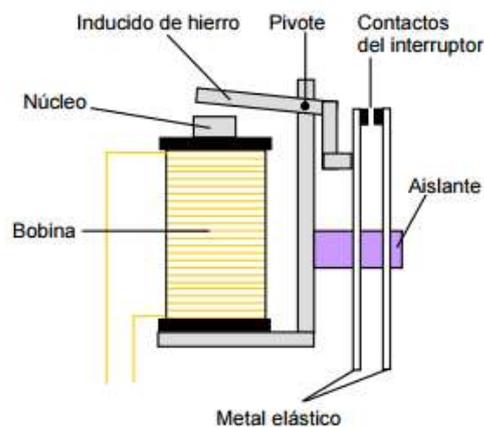


Figura 17. Estructura interna de un relé

Fuente: (Macua, 2016)

En una máquina CNC estos elementos pueden ser utilizados para activar, mediante una señal de bajo voltaje, elementos que requieren mayor voltaje. Por ejemplo, pueden ser utilizados para activar válvulas solenoides que permiten el paso de los fluidos de un sistema neumático o hidráulico para poner en funcionamiento elementos como garras, pistones hidráulicos, pistones neumáticos, etc.

2.4.3. Fuentes de alimentación DC

Son aquellos dispositivos electrónicos que convierten la corriente alterna en corriente directa con una salida de tensión fija o variable. Para lograr este objetivo la fuente debe contar con las siguientes etapas:

- Transformación: Esta etapa reduce el voltaje de entrada a la fuente a valores adecuados para tensión continua.
- Rectificación: Aquí se obtiene una tensión unidireccional, pero aún sigue siendo de amplitud variable
- Filtrado: En esta etapa ya se consigue reducir la variación en la amplitud del voltaje que se obtuvo después de la rectificación.
- Estabilización: En esta etapa lo que se busca es obtener una tensión estable ante factores como; la carga, la variación en la entrada de la fuente y la temperatura.

En la Figura 18 se puede observar el circuito eléctrico de una fuente muy sencilla, la etapa de transformación es llevada a cabo por el elemento T1, la etapa de rectificación es realizada por el elemento BR1, la etapa de filtrado lo realizan primero los elementos C1 y C2, posteriormente hay una etapa la estabilización que realiza el elemento U1 y finalmente existen otra etapa de filtrado que la realizan los elementos C3 y C4.

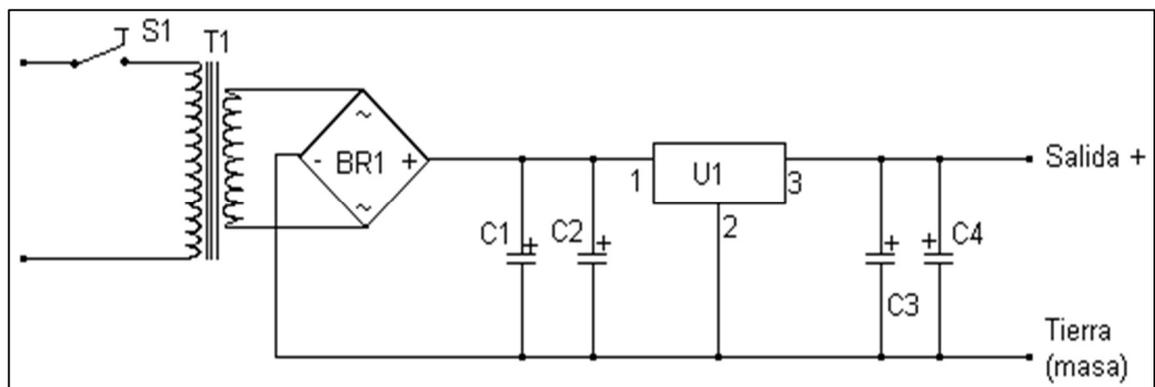


Figura 18. Circuito eléctrico de una fuente DC

Fuente: (Fuentes de alimentacion, 2016)

Para los sistemas CNC se requieren fuentes de alimentación DC para el funcionamiento de los motores a paso o para dispositivos electrónicos los cuales

requieran de una alimentación de 5V o 12 V. Además, pueden existir otros elementos que deben trabajar con señales de 24V, como pueden ser las válvulas solenoides para sistemas neumáticos o hidráulicos.

2.5. Sistemas de control

2.5.1. Controlador Principal de un sistema CNC

Es el cerebro de una máquina CNC, establece la comunicación entre todos y cada uno de los elementos que la conforma. Es la encargada de interpretar las instrucciones programadas, traducir en señales que accionen los elementos mecánicos de la máquina y además debe comprobar el resultado.

Componentes de un controlador principal de un sistema CNC

- **Unidad de entrada y salida de datos:** Es la encargada de ingresar la información al sistema. En la actualidad se pueden identificar 2 tipos de estas unidades y son:
 - **Panel de control:** Posee un teclado y todos los comandos que son necesario para llevar a cabo la programación del sistema CNC. Además, mediante un monitor se puede verificar el funcionamiento de la máquina y se puede detectar errores y problema que se generen.
 - **Comunicación con computador externo:** Consiste en la comunicación directa entre una computadora y el control numérico de una máquina. Esta comunicación se la realiza mediante un cable de comunicación como RS232 o USB.

- **Unidades de memoria fija (ROM) y variable (RAM):** Su principal función es almacenar las instrucciones, funciones y programas que han sido almacenados por el fabricante.

- **Microprocesadores:** Es el encargado del funcionamiento global del sistema, es el encargado del análisis y control de todos los elementos que son parte de la máquina
- **Visualizadores de datos:** Son monitores que permite al operador controlar el avance de la programación o del proceso que se está llevando a cabo en la máquina. Además, permite conocer el estado actual de la máquina.
- **Unidad de enlace con la máquina:** Son los que llevan a cabo la comunicación entre la máquina y lo elementos que generan el movimiento y funcionamiento de la máquina.

2.5.2. Controlador para motores (Drivers)

Estos son el elemento de comunicación directa entre los motores y el controlador central, como se pudo ver en la descripción anterior de los motores, estos necesitan de una señal que haga que estos funcionen como se desea. Sería imposible comunicar directamente entre el controlador principal y los motores debido a que la magnitud de las señales que requieren los motores no se puede proveer desde el controlador, por este motivo existen estos dispositivos que son los encargados de manejar los motores de acuerdo a las señales enviadas por el controlador principal. Cada tipo de motor tiene su driver especial, pero la función que cumplen es común para todos. Estos drivers permiten controlar la velocidad, el sentido, el torque, la aceleración, la desaceleración, el tiempo funcionamiento, el momento en que debe parar, entre otras funciones que hacen de estos dispositivos un elemento muy importante en una máquina CNC. De igual manera que se hizo para los motores, a continuación, se hará una breve descripción de cada uno de los tipos de drivers que existen.

- **Driver para motor a pasos**

Este elemento electrónico es capaz de realizar automáticamente la secuencia que se requiere para el movimiento de un motor a pasos, el controlador principal envía una

señal de habilitado, una señal de paso y de sentido hacia el driver. La alimentación que requiere el motor es conectada al driver interpreta estas señales y provee de la secuencia que requiere el motor a pasos por sus 4 terminales que corresponde a cada bobina del motor. En la Figura 19 se puede observar un esquema de un driver para un motor a pasos, en él se puede observar las entradas para alimentación, las entradas de control, el controlador principal, unos variadores de corriente para regular la velocidad de los motores y finalmente las salidas hacia los terminales del motor a pasos.

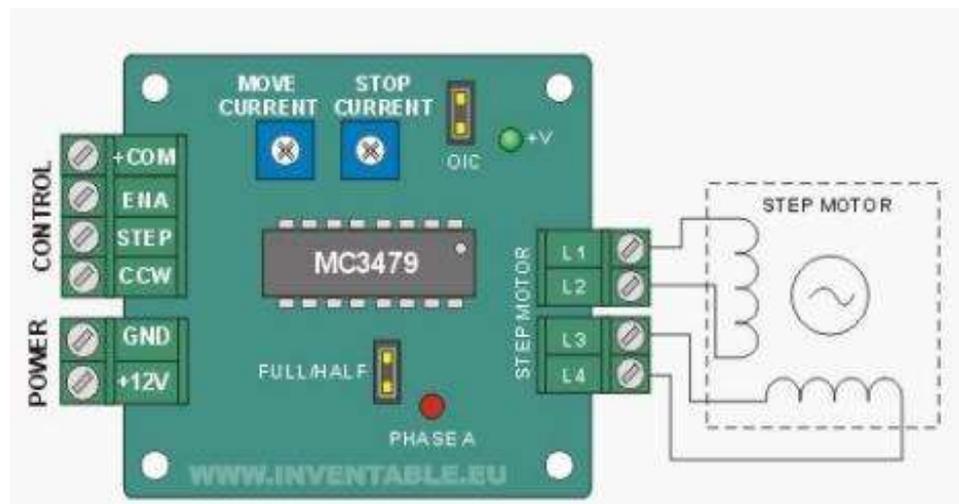


Figura 19. Esquema de un driver para motor a pasos

Fuente: (Inventable.eu, 2016)

- **Driver para servomotor**

Este tipo de dispositivos funcionan cuando reciben una señal de comando del controlador principal y la amplifica y posteriormente transmiten la corriente eléctrica al servomotor, además existe una señal de comando que controla la velocidad del motor, el torque o una posición determinada. Este tipo de drivers cuenta con retroalimentación para saber si la posición alcanzada es la correcta y de no ser el caso se vuelve a enviar una señal de comando hasta que el eje del motor se encuentre en la posición correcta. En la Figura 20 se observa el circuito electrónico de un driver para controlar un servomotor.

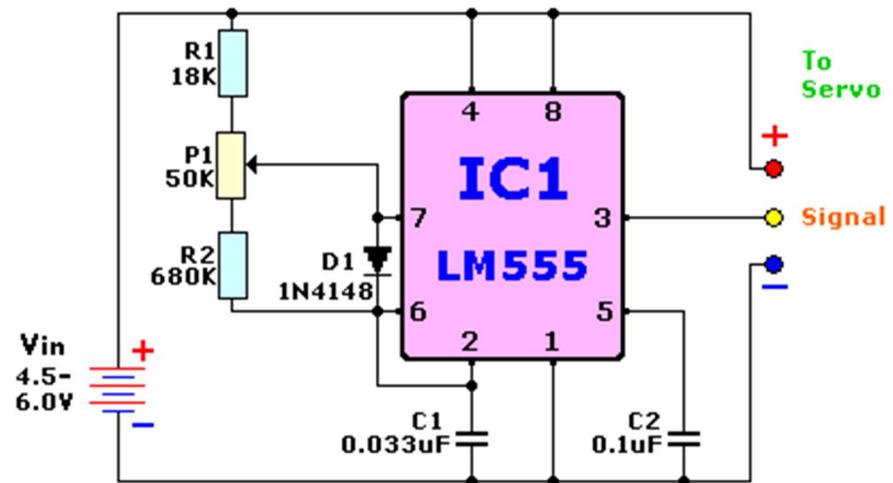


Figura 20. Circuito de un driver para un servomotor

Fuente: (Roon, 2015)

CAPÍTULO III

3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

3.1. Requerimientos iniciales de la punzonadora CNC

Tabla 1.

Características requeridas para la punzonadora CNC

Especificaciones requeridas	
Área de trabajo	2.5m x 2.5m
Espesor material que se desea perforar	3mm
Tipo de material que se desea perforar	Acero, acero inoxidable, aluminio, cobre.
Ejes de trabajo	X, Y, Z
Error de desplazamiento	0.1mm
Material de estructura metálica	Acero negro
Material mesa de trabajo	Acero negro
Tipo de ejes de desplazamiento	Ejes con correa dentada
Velocidad ejes de desplazamiento	2m/s
Tipo de actuadores para desplazamiento	Motores a pasos
Tipo de actuador para perforación	Cilindro hidráulico
Sujeción de planchas metálicas	Mordaza neumática
Desplazamiento de planchas metálicas	Mediante película de aire

Continúa ⇨

Tipo de controlador	Controlador específico para CNC
Software CAD	AutoCAD
Software CAM	SheetCAM
Software interfaz CNC	Mach3
Material de punzón y matriz	Acero templado
Formas de perforación	Circunferencias de diferentes diámetros
Tiempo de entrega	9 meses

Dentro del diseño del prototipo de punzonadora CNC, se detallará el diseño por cada subsistema que permite el funcionamiento total de la máquina, empezando desde la parte eléctrica y electrónica, así como también lo que concierne a la parte neumática, hidráulica, y finalmente a la parte del control automático CNC. Dentro de cada etapa de diseño se describe de manera general la funcionalidad de cada subsistema con el objetivo que debe cumplir dentro del funcionamiento del prototipo, para después identificar los elementos necesarios con sus respectivos requerimientos obtenidos en base a características específicas y cálculos realizados. Las conexiones necesarias entre estos elementos se presentan mediante el diagrama del circuito o sistema según corresponda. Para finalmente indicar y detallar las características de los elementos escogidos de acuerdo a las especificaciones planteadas para cada uno de estos.

3.2. Diseño del sistema eléctrico y electrónico

3.2.1. Descripción

El sistema eléctrico y electrónico son el componente más importante de este proyecto, el sistema electrónico es el encargado de analizar y procesar lo que desea el operador y en base a esto enviar las señales necesarias para poner en funcionamiento

los componentes eléctricos, los cuales son los que permiten el funcionamiento de los principales actuadores que son parte de la máquina. Existe una relación inseparable entre el sistema electrónico y el sistema eléctrico de esta máquina, la interacción entre ambos sistemas hace posible el funcionamiento de una máquina CNC automática.

3.2.2. Objetivo

Para el funcionamiento de esta máquina se requiere de un sistema eléctrico que permita alimentar a los actuadores que se encuentran en la máquina, estos actuadores son principalmente los motores y válvulas solenoides. El sistema electrónico es el que comanda el momento y la duración de funcionamiento de estos actuadores. El principal objetivo es obtener un funcionamiento coordinado entre ambos sistemas, es decir que el sistema eléctrico pueda responder adecuadamente cuando reciba una señal de los elementos electrónicos que son parte de la máquina. Además, se busca implementar un sistema que permita encender, apagar y detener de emergencia todo el sistema, esto se lo debe hacer controlando la alimentación del sistema.

3.2.3. Sistema eléctrico para activación de electroválvulas.

Este sistema está compuesto básicamente por la alimentación, los solenoides de las electroválvulas y los relés que están conectados a uno de los conectores que alimenta los solenoides. Lo que se busca con este sistema es activar las bobinas de las electroválvulas que permiten activar o desactivar los actuadores neumáticos de la máquina.

3.2.3.1. Elementos del sistema

- **Solenoides de las electroválvulas**

Para facilitar su manejo sería deseable utilizar solenoides que trabajen con un voltaje de 110V AC. Se requieren de dos electroválvulas; una para controlar el

funcionamiento del cilindro neumático que perfora las láminas de metal y otra electroválvula para controlar el funcionamiento de 2 cilindros neumáticos que servirán como mordazas para sujetar las planchas metálicas.

- **Relés**

La señal que determina el momento y la duración de funcionamiento de las electroválvulas, proviene de la tarjeta principal de control. Esta tarjeta emite señales digitales de 5V DC y esta señal permite activar las bobinas de los relés que son parte del sistema.

3.2.3.2. Circuito del sistema

En la Figura 21 se puede observar la conexión de cada uno de los elementos descritos anteriormente. Para este caso la tarjeta principal de control ha sido representada por un bloque en el que se puede observar las salidas digitales que se conectan a las bobinas de los relés, y estos al conmutar son los que permiten la activación de los solenoides de las electroválvulas EV01 y EV02 que son parte de un sistema neumático que será descrito posteriormente en la sección 3.3.

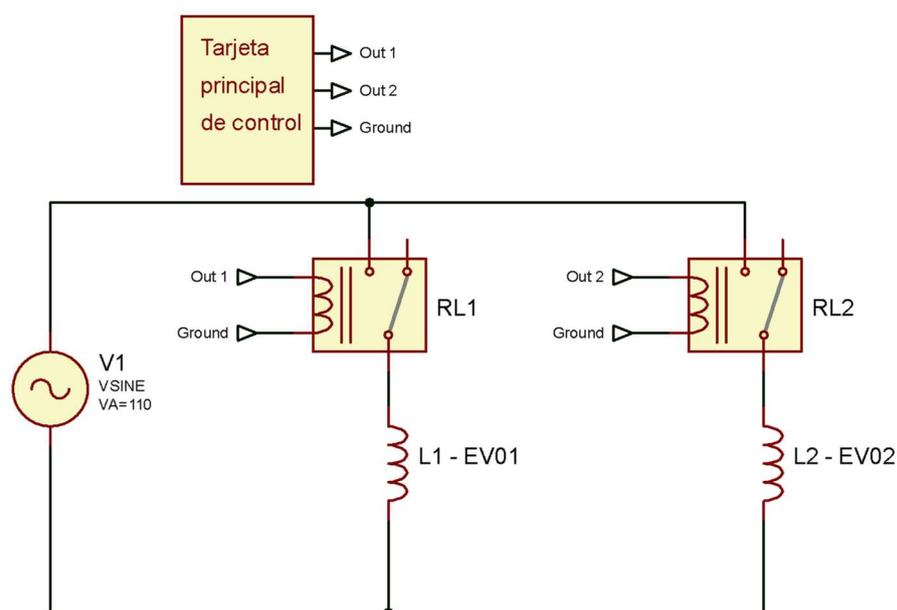


Figura 21. Circuito eléctrico para activación de electroválvulas

3.2.3.3. Selección de los elementos que se utilizarán en el prototipo

- Relevador o relé

Para la selección de este elemento se debía tomar en cuenta el voltaje de alimentación de la bobina del relé, en este caso debe ser del mismo voltaje de las salidas digitales de la tarjeta principal de control. También se debe seleccionar un elemento que sea capaz de trabajar con un voltaje de 110V AC.

Tabla 2.

Características principales de los relés utilizados en el sistema.

Marca	HF
Modelo	JQC-3FF
Voltaje alimentación de la bobina	5 V DC
Corriente máxima en los contactos	12 A
Resistencia de la bobina	$70\Omega \pm 10\%$



Figura 22. Relé HF3FF

Fuente: (Futurlec, 2016)

- Solenoides de electroválvulas

Para este elemento se consideró principalmente el nivel de voltaje con el que trabaja el solenoide, en este caso debe ser 110V AC. Además, para este caso se consideró que el costo de este producto era muy bajo en comparación a elementos similares de otras marcas.

Tabla 3.

Características de solenoide de electroválvulas

Marca	Ainsair
Modelo	4V201-08
Voltaje alimentación de la bobina	110 V AC
Corriente máxima	5 A

3.2.4. Sistema eléctrico de mando.

Con este sistema lo que se busca es poder controlar la activación, desactivación y paro de emergencia de todo el sistema para ello es necesario controlar la alimentación del sistema.

3.2.4.1. Elementos del sistema

- **Pulsadores e interruptores**

Estos elementos servirán para manejar manualmente el funcionamiento del sistema, principalmente para encender una lámpara del tablero de control, para encender, apagar y parar de emergencia todo el sistema. Todos estos elementos estarán ubicados en un tablero de control.

- **Luces piloto**

Mediante las luces se muestra visualmente el estado del sistema, ya sea encendido, apagado o detenido por emergencia. Estas luces piloto deberán trabajar a 110 V AC para facilidad de trabajo. De la misma manera que los pulsadores, estos dispositivos sirven para visualizar en el tablero de control el estado de la máquina.

- **Contactor**

Este elemento básicamente sirve para poder encender y apagar todo el sistema mediante pulsadores. La bobina del contactor deberá ser de 110V AC de la misma forma que las luces piloto.

También será necesario la utilización de un contactor para la parada de emergencia la cual debe detener totalmente todo el sistema, se lo podría hacer únicamente con el contacto del pulsador, pero existe la necesidad de enviar una señal hacia la tarjeta principal de control y esta debe ser de 5 V, por lo cual es necesario la utilización de un contactor que permita cortar el suministro eléctrico a todo el sistema y además detenga la ejecución del código de programa que se esté llevando a cabo en la tarjeta principal de control CNC

- **Llave térmica monofásica**

Este elemento sirve para protección de todo el sistema, para ello primero necesitamos conocer la corriente máxima que soportan las principales cargas del sistema. En este caso las principales cargas que tiene el sistema son los solenoides de las electroválvulas, un contactor, la fuente de 48V y los motores a pasos. Para dimensionar fácilmente la capacidad de la llave térmica, es necesario sumar todas las corrientes de las cargas del sistema como se muestra a continuación:

- Solenoides de electroválvulas

$$I_{1\text{electroválvula}} = 5 [A]$$

$$I_{2\text{electroválvulas}} = 10 [A]$$

- Motores a pasos

$$I_{1\text{motor}} = 3 [A]$$

$$I_{2\text{motores}} = 6 [A]$$

- Contactor

$$I_{\text{contactor}} = 4.5 [A]$$

- Fuente de 48V DC

$$I_{\text{fuente}} = 12.5 [A]$$

- **Calculo de corriente máxima del sistema**

$$I_{\text{Total}} = I_{2\text{electroválvulas}} + I_{2\text{motores}} + I_{\text{contactor}} + I_{\text{fuente}}$$

$$I_{Total} = 10 [A] + 6[A] + 4.5[A] + 12.5[A]$$

$$I_{Total} = 33 [A]$$

Entonces el térmico debería tener la capacidad de soportar como mínimo 33 A, no existen valores comerciales de ese valor, pero se deberá seleccionar el inmediato superior. Más adelante en la sección 3.2.4.3 se muestra el elemento que se ha instalado en el prototipo.

- **Dispositivo supresor de transitorios y ruido**

Este elemento sirve para protección de los elementos eléctricos y electrónicos ante cualquier transitorio que se pueda presentar durante el funcionamiento de la máquina, este dispositivo es opcional y depende mucho del ambiente de trabajo en donde se encuentra implementada la punzonadora. Adicionalmente, es muy importante que este dispositivo tenga la capacidad de filtrar el ruido ya que en la industria metal-mecánica es muy común el uso de maquinaria que provocan ruidos excesivos pudiendo ocasionar alteraciones en las diferentes señales dentro del tablero de control.

3.2.4.2. Circuito del sistema

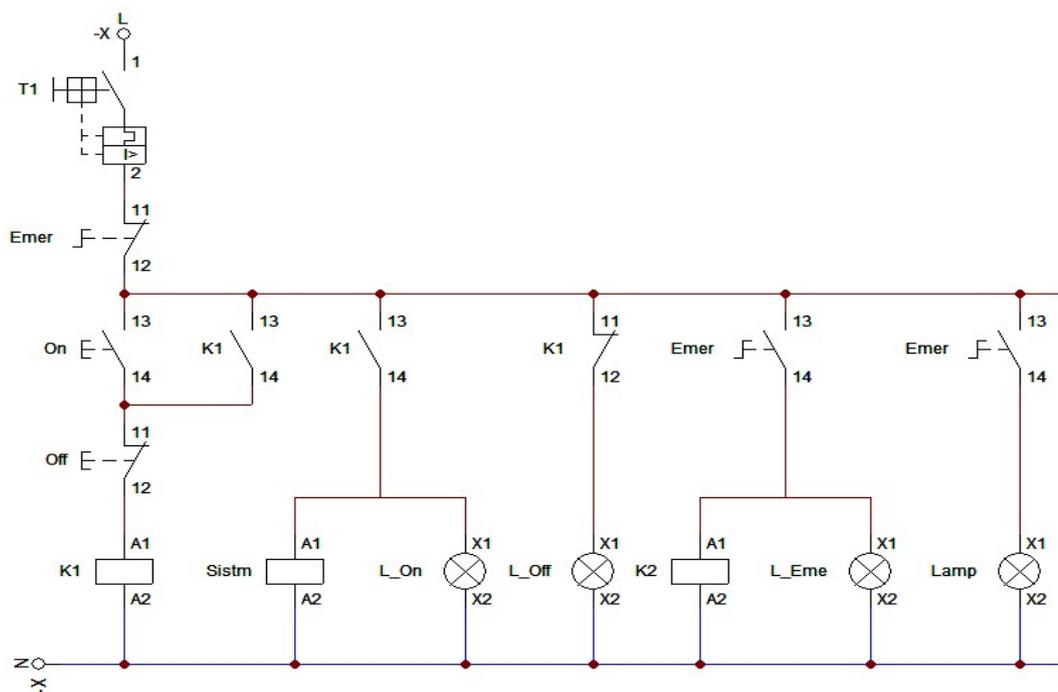


Figura 23. Circuito de mando

En la Figura 23 se puede observar un circuito en donde se encuentran todos los elementos descritos anteriormente. Primero se puede ver el térmico con la denominación T1, luego vienen pulsadores y botones como el Emer(Emergencia), On u Off, también se puede observar el contactor con la denominación K1 y también se encuentran las luces piloto del sistema.

3.2.4.3. Selección de los elementos que se utilizarán en el prototipo

- Contactor

Para la selección de este elemento, principalmente se debe considerar el voltaje con que trabaja la bobina del contactor, para este caso se requiere un contactor cuya bobina trabaje a 110V AC. También para la selección de este elemento se debe considerar la cantidad de contactos con que cuenta y las características de estos contactos. Para este caso necesitamos que el contactor tenga 2 contactos NO y 1 contacto NC. En la empresa tienen disponible un contactor cuyas características se detallan en la Tabla 4.

Tabla 4.

Características del contactor utilizado en el sistema

Marca	Siemens
Modelo	3RT2024-1AG20
Voltaje alimentación de la bobina	110V AC
Frecuencia voltaje alimentación	50/60 Hz
Corriente máxima	4.5 A
Numero de contactos	1NC, 4NO



Figura 24. Contactor Siemens 3RT2024-1AG20

Fuente: (Siemens, 2016)

- Llave térmica monofásica

La principal característica que se debe tomar en cuenta para seleccionar este elemento es la corriente de interrupción. En la sección 3.2.4.1 se puede ver el cálculo de la corriente de interrupción que debe tener el equipo que se va a utilizar en el sistema. En este caso resultó una corriente de 33[A] pero en el mercado no existen equipos para este valor, por lo tanto, se selecciona el valor comercial más cercano o el inmediato superior, en este caso viene a ser 40 [A]

Tabla 5.

Características del térmico utilizado

Marca	Merlin Gerin
Modelo	Multi 9 C60N
Tipo	Bipolar
Voltaje máximo	440 V AC
Corriente interrupción	40 A



Figura 25. Disyuntor Merlin Gerin Multi 9 C60N

Fuente: (Merlin Gerin, 2016)

- Dispositivo de protección contra transitorios y ruido

Para escoger este elemento es importante encontrar un dispositivo que ofrezca protección contra transitorios en el punto de uso de aplicaciones industriales, y además que tenga la capacidad de filtrar el ruido. Para esto, existen dispositivos que permiten proteger a todo el sistema frente a transitorios y ruido, uno de estos dispositivos es el que se indica en la Tabla 6.

Cabe mencionar que los efectos de ruidos pueden reducirse con técnicas adecuadas de instalación, distribución de cables, toma a tierra y blindajes. Toma a tierra inadecuada puede crear situaciones indeseables y peligrosas y que pueden comprometer el funcionamiento efectivo de un equipo o el propio sistema.

El blindaje “shielding” debe conectarse al potencial de referencia de la señal que está protegiendo.

Tabla 6.

Características del dispositivo de protección contra transitorios

Marca	LEVITON (SPD)
Modelo	Serie 51020
Tipo	Monofásico, 2 hilos + tierra
Voltaje nominal	120 V AC
Amperaje	30 A
Especificaciones	<ul style="list-style-type: none"> • Dispositivo de protección contra transitorios (SPD) tipo 4 evaluados para usarse en aplicaciones de supresores tipo 3. • El rastreo sinusoidal C ofrece mejor filtración EMI/RFI.



Figura 26. Dispositivo de protección contra transitorios LEVITON 51020

Fuente: (LEVITON, 2016)

- Interruptores y pulsadores industriales

Para la selección de estos elementos se debe considerar básicamente el voltaje al cual pueden trabajar. En este proyecto se trabajará a 110 V AC, por este motivo se seleccionó los elementos que se describen en la Tabla 7. También se tomó en cuenta

la corriente máxima que pueden soportar que es de 10 [A], lo cual es adecuado para el circuito de mando de este proyecto.

Tabla 7.

Características de pulsadores utilizados

Marca	EBCHQ
Modelo	XB2BA42
Tipo de base	Metálica
Voltaje de trabajo	110V AC
Corriente máxima de contacto	10 A
 <p>Figura 27. Pulsador XB2BA42</p>	

- Luces piloto

Para la selección de estos elementos se debió tomar en cuenta el voltaje y frecuencia a la que pueden trabajar que en este caso es de 110 V AC a 60 Hz. Para poder diferenciar la función de cada luz piloto que es parte del circuito de mando, se requiere de 4 colores diferentes.

Tabla 8.

Características de luces piloto utilizadas

Marca	SASSIN
Modelo	AD22
Diámetro	22mm
Voltaje de trabajo	110V AC
Frecuencia de funcionamiento	50/60 Hz
 <p>Figura 28. Luz piloto SASSIN AD22</p>	

3.2.5. Sistema electrónico

Este sistema es el encargado de comandar el funcionamiento de los motores a pasos que son los que producen los movimientos de los ejes de desplazamiento del prototipo. Los motores son elementos eléctricos, pero para este caso se los ha ubicado dentro de un sistema electrónico porque basan su funcionamiento en un elemento netamente electrónico que son los controladores especializados para motores a pasos. La tarjeta principal de control es la encargada de enviar las señales de control que son recibidas e interpretadas por los controladores para motores a pasos o también conocidos como drivers para motores.

3.1.5.1. Elementos del sistema

- **Motores a pasos**

Para dimensionar la capacidad de los motores se puede plantear que se desea arrastrar una lámina de aluminio de 0.1 Kg de peso en una distancia de 50cm. Para calcular el torque se puede utilizar la siguiente formula:

$$T = F * d \quad (1)$$

$$T = (m * g) * d \quad (2)$$

T: Torque

F: Fuerza

d: distancia

m: masa

g: gravedad

Entonces reemplazando en la Ecuación (2) con los datos que se tiene, resulta lo siguiente:

$$T = \left(0.1[Kg] * 9.8 \left[\frac{m}{s^2}\right]\right) * (0.5 [m])$$

$$T = 0.49 [N * m]$$

En el proceso de dimensionamiento se puede plantear la velocidad a la que se desea que gire el motor y en este caso este valor será de 2500rpm o 261rad/s. Ahora con estos datos se puede calcular la potencia que debe tener el motor.

$$P = T * v \quad (3)$$

P: Potencia

T: Torque

v: velocidad de giro

$$P = 0.49[N * m] * 261 \left[\frac{rad}{s}\right]$$

$$P = 127.89 [W]$$

Generalmente los motores a pasos brindan como dato la corriente máxima a la que puede trabajar, y el voltaje al que puede trabajar. Para este caso contamos con una fuente de 48 V DC y ya sabemos la potencia de motor. Por lo tanto, se puede calcular la corriente a la que puede trabajar el motor a pasos que se debería utilizar en este proyecto.

$$I = \frac{P}{v} \quad (4)$$

$$I = \frac{127.89 [W]}{48 [V]}$$

$$I = 2.66 [A]$$

- **Fuente de voltaje**

Es el elemento que permite el funcionamiento de los motores a pasos, para el caso de este proyecto se cuenta con una fuente de 48 V DC que se utilizara en la implementación de la punzonadora.

- **Controladores de motores a pasos**

Una vez que se haya definido la corriente de trabajo de los motores a pasos, será importante elegir un dispositivo que puede trabajar a esa corriente y además que pueda trabajar con el nivel de voltaje de la fuente que se describió anteriormente.

- **Tarjeta de control principal**

En la sección 3.5 se hace una descripción más detallada de este dispositivo.

3.1.5.2. Circuito del sistema

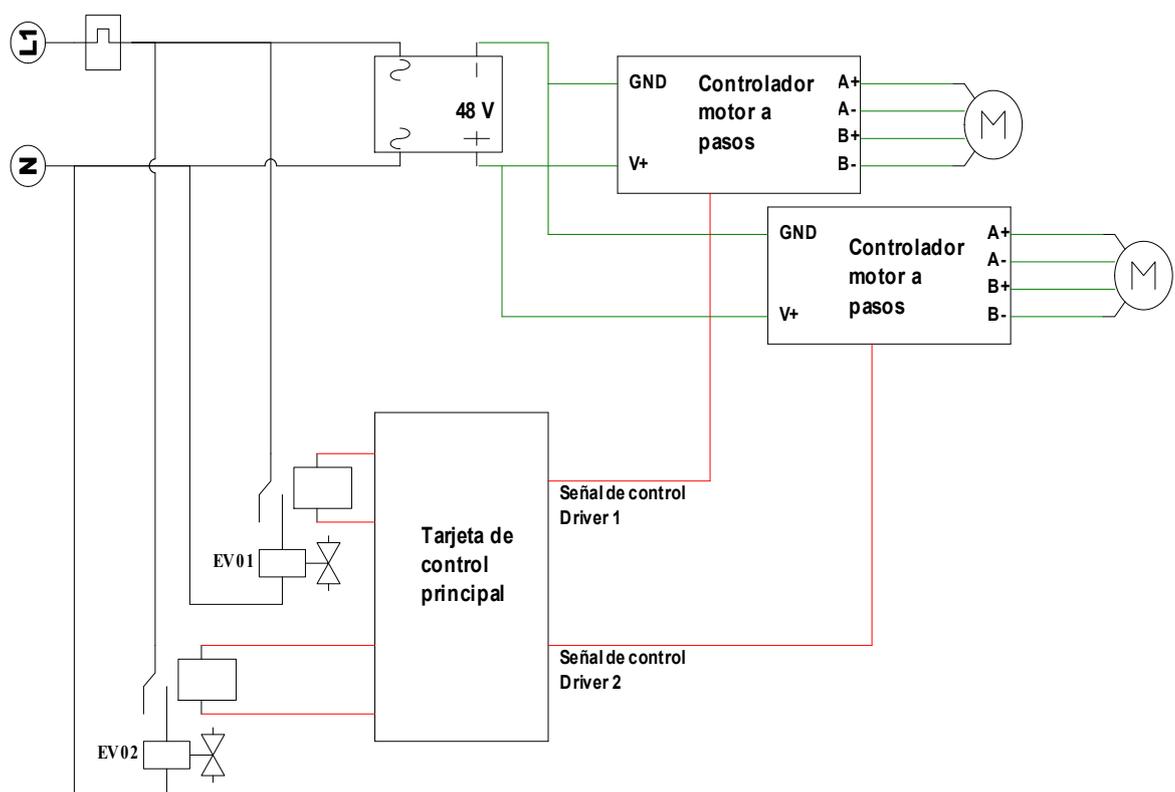


Figura 29. Circuito del sistema electrónico

En la Figura 29 se puede ver la conexión de cada uno de los elementos del sistema electrónico y también se puede ver la conexión de los relés que activan las electroválvulas del sistema. Como se puede ver, los controladores de los motores a

pasos, reciben una señal de control desde la tarjeta principal y estos dispositivos son los que comandan el funcionamiento de los motores a pasos. Además, se puede ver la conexión de la fuente de alimentación de 48 V DC.

3.2.5.1. Selección de los elementos que se utilizarán en el prototipo

- Fuente de voltaje de 48V DC

Para la selección de este equipo se debe tomar en cuenta la corriente máxima que requiere todo el sistema y el voltaje al que deseamos hacerlo trabajar. En la empresa cuentan con una fuente que se detalla en la Tabla 9 y podemos ver que tienen un nivel de voltaje de 48 [V] DC y puede proveer de una corriente máxima de 12 [A], lo cual es suficiente para el sistema electrónico de este proyecto.

Tabla 9.

Características de la fuente de 48 V DC

Marca	Keling
Modelo	KL-600-48
Voltaje alimentación	110/220 V AC
Voltaje de salida	48 V DV
Número de salidas	3
Corriente máxima	12.5 A



Figura 30. Fuente de 48 V Keling KL-600-48

Fuente: (Automation Technology INC, 2016)

- Motores a pasos.

Un aspecto muy importante que se debe considerar en este elemento es la corriente a la que trabaja, ya que esto determina el torque que puede alcanzar el motor. En este caso se requiere motores que trabajen con una corriente máxima de 2.6 [A], también es importante considerar el voltaje de trabajo que para este caso debe ser de 48 [V]. En la Tabla 10 se puede observar el motor a pasos que se utilizó en el proyecto y se puede ver que cumple con lo requerido.

Tabla 10.

Características motor a pasos

Marca	Vexta
Modelo	PK266-03-P1
Tipo de motor	Unipolar – Nema 23
Voltaje alimentación de la bobina	48V DC
Corriente máxima por fase	3 A
Resistencia por fase	0.75 Ω
Inductancia por fase	1.1 mH
Temperatura área de trabajo	-10:50 °C
Exactitud por paso	$\pm 0.05^\circ$



Figura 31. Motor a pasos Vexta

Fuente: (Interinar Electronics, 2016)

- Controlador de motores a pasos o driver

Para la selección de este dispositivo se tomó en cuenta el voltaje de alimentación con que trabaja, que debe ser de 48[V] y también se tomó en cuenta la corriente máxima con la que trabajan los motores que para este caso debe ser de 3[A]. En la

Tabla 11 se puede ver las características de un controlador con el que se contaba en la empresa y podemos ver que cumple con los requerimientos.

Tabla 11.

Principales características de controladores de motores a pasos

Marca	Automation Technology INC
Modelo	KL 9082
Voltaje de alimentación	20-80 V DC
Corriente máxima	8.2 A
Frecuencia de pulso para paso	Hasta 200 KHz
Tipos de motores que controla	Unipolares y bipolares



Figura 32. Controlador Automation Technology INC KL9082

Fuente: (Automation Technology INC, 2016)

3.1.6. Diagrama general del sistema eléctrico / electrónico

En la Figura 33 se puede observar la conexión de todos los elementos descritos anteriormente, en el bloque de circuito de mando general se encuentra todo lo que va en el tablero de control, es decir disyuntor, pulsadores, contactor, etc. Para el sistema se necesitan dos motores a pasos y por lo tanto un controlador para cada uno, pero en este caso en el diagrama se lo ha representado en un solo bloque. De la misma forma para el caso de las electroválvulas, se requieren dos solenoides y un relé para cada una, pero en esta figura se las ha dibujado como un solo bloque.

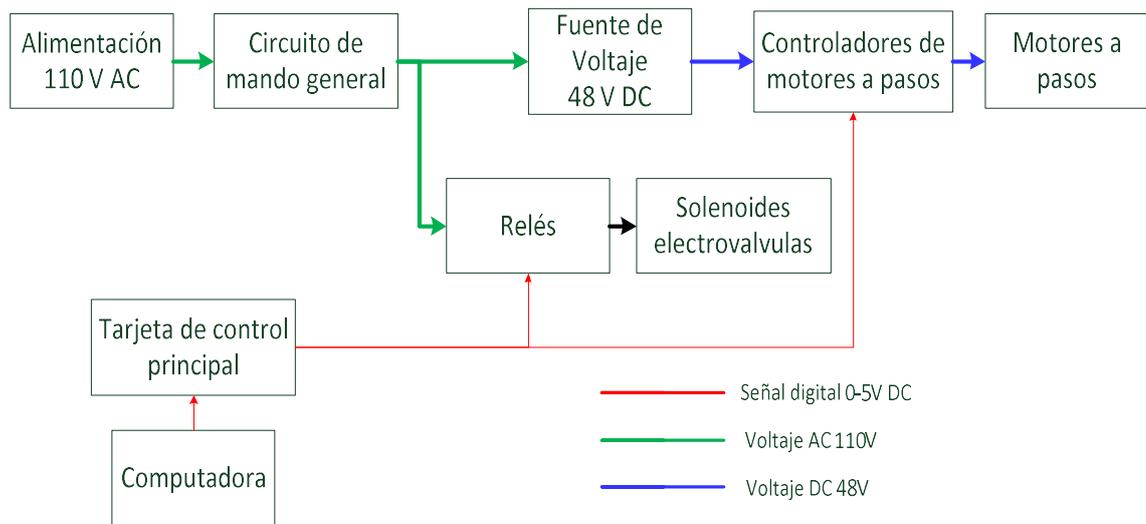


Figura 33. Diagrama de bloques del sistema Eléctrico/Electrónico

3.3. Diseño del sistema neumático

3.3.1. Sistema de Levitación de planchas metálicas

Este sistema tiene el propósito de reducir la fricción entre las planchas metálicas sobre la mesa de la punzonadora CNC por medio del principio de la levitación. El efecto que un cuerpo se suspenda en el aire sin contacto físico se llama levitación, esta levitación debe garantizar una fuerza que contrarreste el peso del cuerpo.

Para cumplir el objetivo de la levitación de las planchas metálicas reduciendo la fricción entre las planchas y la base mediante un sistema neumático fue necesario basarse en tres principios importantes, a su vez se realizó las investigaciones y experimentos necesarios para poder escoger el que tenga mejor desempeño para la aplicación.

El objetivo general del sistema neumático en la parte de la levitación de las planchas metálicas es optimizar y facilitar el desplazamiento de las mismas, reduciendo la fricción entre la plancha y la mesa por medio de aire entre estas, para poder ejecutar de manera rápida el posicionamiento de las láminas metálicas.

3.1.1.1 Reducción de fricción mediante cámara de aire

3.3.1.1.1. Descripción

Como primera opción se probó levitar planchas metálicas mediante el diseño de una caja sellada que contenga agujeros muy pequeños en su tapa, la idea es: ingresar aire comprimido a gran presión por un agujero que se encuentre a un lado de la caja para que el aire se distribuya y se expulse en todos los agujeros permitiendo formar una película de aire entre la plancha metálica y la tapa de la caja pudiendo así reducir la fricción entre las mismas.

Algunas aplicaciones se han desarrollado usando este principio como es el popular juego de air hockey.

3.3.1.1.2. Objetivo

El objetivo de este principio es levitar planchas metálicas a través de la expulsión de aire comprimido por medio de los agujeros que se encuentran en la tapa de la caja sellada.

3.3.1.1.3. Componentes principales

- Compresor
- Filtro Regulador de Presión
- Tubería neumática
- Caja sellada con sus respectivos agujeros.

3.3.1.1.4. Dimensiones y estructuras

Para realizar las pruebas de este tipo de sistema se experimentó en una caja de madera a baja escala con las medidas que se muestra en la Figura 34:

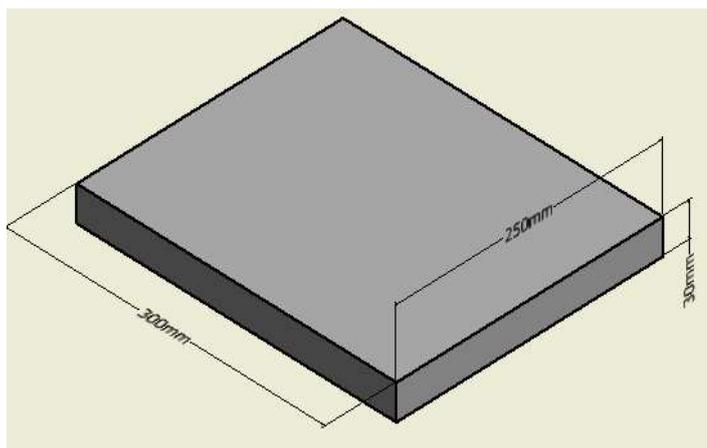


Figura 34. Medidas de la caja para experimentación de la cámara de aire

La distribución de agujeros que se realizó en la tapa de la caja se muestra en la Figura 35. Cabe mencionar que este número de agujeros se modificó para diferentes pruebas, así como el diámetro de los huecos para poder observar los diferentes resultados.

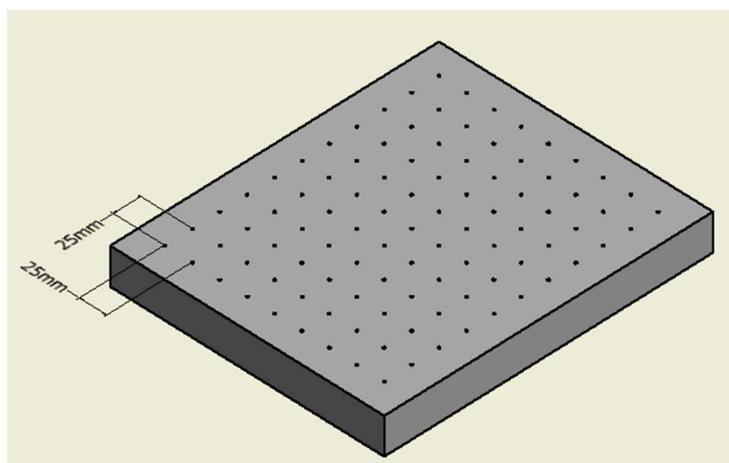


Figura 35. Diseño de la cámara de aire con sus respectivos agujeros

La cámara de aire que se construyó para el propósito de experimentación respecto a la levitación de planchas metálicas se muestra en la Figura 36.



Figura 36. Construcción física de la cámara de aire para experimentación

3.3.1.2. Reducción de fricción mediante tubería neumática

3.3.1.2.1. Descripción

La idea del funcionamiento de este principio es la construcción de una mesa que posea todos los agujeros necesarios para acoplar las salidas de toda la distribución de las mangueras neumáticas, por lo que al activar la fuente de aire comprimido todo el aire se expulsará por la salida de toda la tubería neumática y por lo tanto se podrá elevar cargas que se encuentra por encima de la mesa.

3.3.1.2.2. Objetivo

El objetivo del sistema al igual que el anterior es expulsar aire por medio de las salidas de la tubería neumática que se encuentra distribuida en la mesa de la estructura.

3.3.1.2.3. Componentes principales

- Compresor

- Filtro Regulador de Presión
- Tubería neumática
- Electroválvulas
- Mesa con sus respectivos agujeros.

3.3.1.2.4. Dimensiones y estructuras

Primero, se realizó el diseño a baja escala en madera. La distribución de agujeros que tendrá la mesa se muestra en la Figura 37.

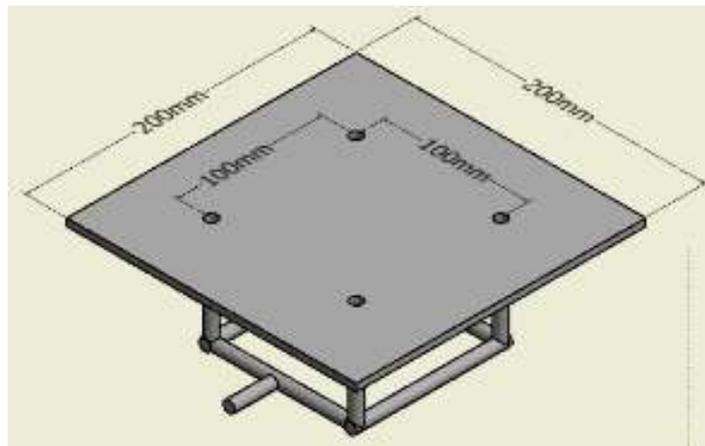


Figura 37. Distribución de agujeros para la salida de tubería

La distribución de la tubería se indica en el diagrama de la Figura 38.

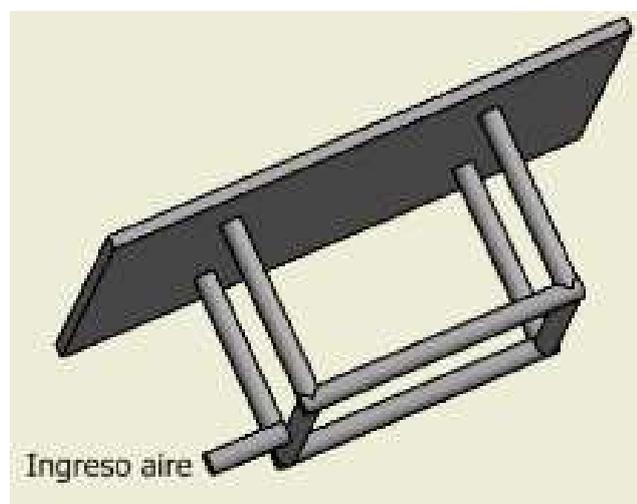


Figura 38. Distribución de tubería para el sistema de levitación neumática.

La construcción física del prototipo de experimentación respecto a la levitación neumática de planchas metálicas mediante tubería se muestra en la Figura 39.



Figura 39. Construcción física del sistema de levitación neumática por tubería

3.3.1.3.Reducción de fricción mediante sistema de colchón o campana de aire

3.3.1.3.1. Descripción

Mediante la inyección de aire comprimido en el interior de una estructura que tiene una forma parecida a una campana se logra realizar la sustentación de cargas gracias al llamado “efecto suelo”.

El esparcimiento del aire producido a lo largo de la campana provoca la formación de una capa o denominado “colchón de aire” cuya presión es intermedia entre la presión de alimentación y la de descarga a la atmosfera. Un esquema de este modelo se puede observar en la Figura 40.

Se denomina *efecto suelo* al fenómeno físico que se produce con una diferencia de presiones entre la zona que hay por encima de un cuerpo y la que hay por debajo del mismo, estando muy cerca de la superficie terrestre, lo que provoca unas alteraciones en el flujo de aire que puede provocar obtener un colchón de aire. (Fernandez, 2016).

Cabe mencionar que el término *colchón de aire* es el nombre dado a una técnica de sustentación utilizada en vehículos y en la levitación de cargas, con el objetivo de que no tengan contacto con el suelo o con ninguna otra superficie, para esto se utiliza la impulsión vertical constante de aire a presión bajo el objeto en cuestión, tal aire se mantiene a suficiente presión mediante una campana que puede ser rígida o flexible permitiendo tener una capa de aire que separa la estructura del piso. (Fernandez, 2016)

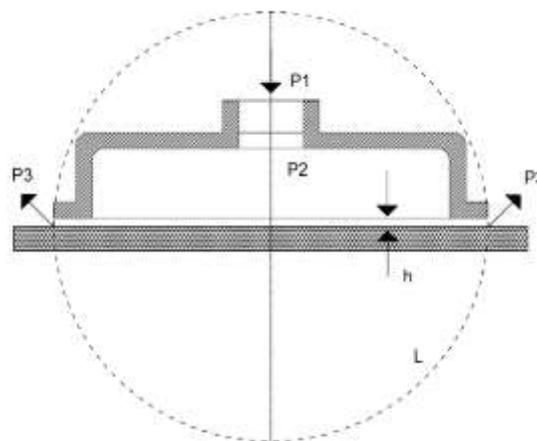


Figura 40. Modelo del principio de campana de aire

El sistema de colchón de aire tiene varias aplicaciones en la industria en lo que concierne al desplazamiento y transporte de cargas pesadas, ya que ofrece muchas ventajas.

Los colchones de aire pueden tener forma distinta, pero los de diseño circular son los más usados; permiten reducir al mínimo la altura de fuga y tienen la relación más elevada entre superficie y perímetro.

Para obtener una buena estabilidad estática de la carga se deben adoptar por lo menos tres o cuatro dispositivos por cada sistema de transporte.

3.3.1.3.2. Objetivo

El principal objetivo de este tipo de sistema es formar una capa de aire o también llamado colchón de aire entre el air caster y la superficie base permitiendo facilitar el movimiento de la carga que en este caso será la plancha de acero.

3.3.1.3.3. Componentes principales

- Air Caster

Los componentes de los air caster se pueden dividir en dos grupos como se muestra a continuación:



Figura 41. Estructura metálica con accesorios para ingreso de aire de air caster

Fuente: (Hovair Systems, 2016)

- La primera parte se compone de todos los accesorios por donde ingresa el aire, los cuales se muestran en la Figura 41.
- La segunda parte que son los llamados “air bearing” (ver Figura 42) o apoyos deben ser de material elástico como el caucho, neopreno, entre otros. Además, es aquí donde deben ir los agujeros que permiten la salida de aire hacia el suelo formando la campana de aire.



Figura 42. Módulo de carga de un air caster

Fuente: (Hovair Systems, 2016)

Para el propósito de este proyecto se realizó la construcción de air casters con ayuda de materiales reciclados como residuos de planchas de acero, caucho de llanta inservibles permitiendo ahorrar costos.

Los componentes específicos necesarios para alimentar de aire se tienen a continuación:

- Compresor
- Regulador de presión
- Tubería neumática

3.3.1.3.4. Dimensiones y estructuras

Para la realización de las pruebas necesarias se diseñó un air caster, cuyas medidas respecto al módulo de carga se muestran en el diagrama de la Figura 43.

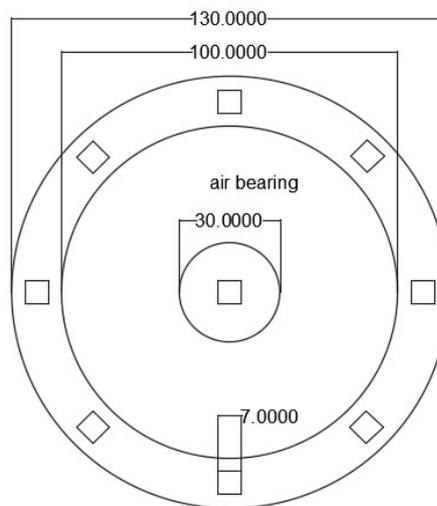


Figura 43. Módulo de carga del air caster diseñado

La construcción física del módulo de carga del air caster según el diseño presentado en la Figura 43 se muestra en la Figura 44.



Figura 44. Construcción física del módulo de carga del air caster

El diseño realizado de la estructura metálica por donde se permite el ingreso del aire del air caster se muestra en la Figura 45.

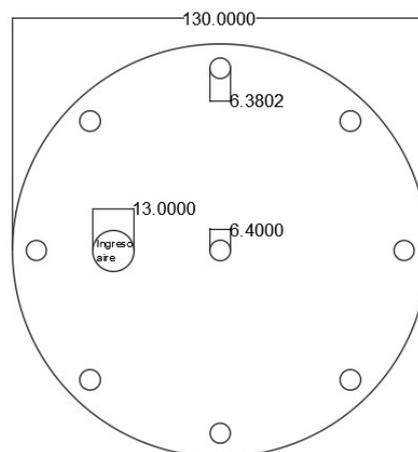


Figura 45. Diseño de la estructura metálica por donde ingresa aire del air caster

La Figura 46 muestra una fotografía de la estructura metálica construida por donde se permite el ingreso de aire del air caster diseñado.



Figura 46. Estructura metálica con ingreso de aire del air caster

El siguiente procedimiento muestra paso a paso el funcionamiento del sistema de colchón de aire.

- 1.- Abrir la válvula de aire que permita el ingreso de aire hacia el air bearing. (Figura 47).



Figura 47. Ingreso de aire en el air bearing

Fuente: (Longhai, 2016)

2. El air bearing se infla a causa del aire. (Figura 48)



Figura 48. Air Bearing lleno de aire

Fuente: (Longhai, 2016)

3. El aire sale por los agujeros del air bearing formando una capa de aire entre el air caster y el piso. (Figura 49).



Figura 49. Salida de aire por los agujeros del air bearing

Fuente: (Longhai, 2016)

Al momento de construir un air caster, teniendo listo la tapa metálica por donde ingresará el aire y el módulo de carga del air caster junto al air bearing se procede a armar dicho air caster. (Ver Figura 50).

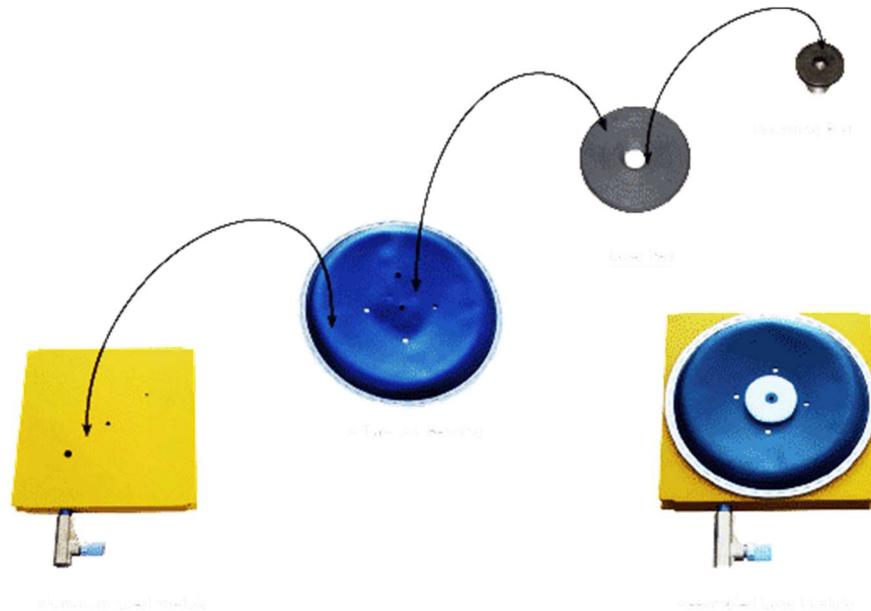


Figura 50. Forma de armar un "air caster"

Fuente: (Air Casters Machine Handling Equipment, 2016)

3.3.1.3.5. Cálculos

Como principio del diseño se debe determinar la fuerza de sustentación dada por la siguiente fórmula:

$$F = p * S \quad (5)$$

P = Presión efectiva

S = superficie del colchón

La altura h (es decir la luz entre el borde inferior de la campana y el suelo) que se muestra en la Figura 40 está en función del caudal de aire que alimenta el colchón.

La sección de fuga está determinada por la fórmula:

$$S(fuga) = h * l \quad (6)$$

h = Luz entre el colchón y el piso

l = longitud del perímetro del colchón

Para este caso la fuerza de sustentación:

$$F = p * S$$

$$F = 120 [psi] * 0.013 [m^2]$$

$$F = 1.56 [psi * m^2]$$

Sabiendo que:

$$1 psi = 703.06 \left[\frac{kg}{m^2} \right]$$

$$F = 1.56 * 703.06 \left[\frac{kg}{m^2} * m^2 \right]$$

$$F = 1096.77 [Kgf]$$

$$F = 10748.35 [N]$$

Mientras que la sección de fuga es la siguiente:

$$S(fuga) = h * l$$

$$S(fuga) = 3 mm * 130mm$$

$$S(fuga) = 390 [mm^2]$$

3.3.1.4. Análisis de las opciones que facilitan el desplazamiento de las planchas metálicas.

Como se detalla anteriormente, se probó tres diferentes métodos que faciliten el movimiento de las planchas metálicas sobre la mesa de la punzonadora CNC mediante la reducción de fricción entre la plancha metálica y la mesa.

En la Tabla 12 se detalla las ventajas y desventajas de cada uno de los métodos usados, mientras que la Tabla 13 muestra los resultados obtenidos después de realizar las diferentes experimentaciones de cada uno de los principios, pudiendo determinar cuál sería la mejor solución aplicable al proyecto.

Tabla 12.

Tabla comparativa entre métodos de levitación neumática para planchas metálicas.

	Ventajas	Desventajas
Por medio de agujeros en cámara de aire.	<ul style="list-style-type: none"> - Reducción de tubería neumática a una sola. - Bajo costo de implementación para cargas pequeñas. - Libre movimiento de la plancha en cualquier sentido. 	<ul style="list-style-type: none"> - El sistema necesita de una fuente independiente de aire comprimido. - Poca estabilidad en la carga a levitar. - Existe mucho desperdicio de presión de aire.
Por medio de tubería neumática	<ul style="list-style-type: none"> - Opción de tener mayor presión por cada salida de tubería. - Libre movimiento de la plancha en cualquier sentido. 	<ul style="list-style-type: none"> - Difícil control de corrientes de aire. - Uso de excesiva tubería neumática. - Poca estabilidad en la carga a levitar.
Principio campana de aire	<ul style="list-style-type: none"> - Los tamaños de este tipo de sistemas son reducidos permitiendo una mejor utilización de las áreas de transporte. - Permite mover con facilidad estructuras de gran tonelaje. 	<ul style="list-style-type: none"> - Su implementación requiere de diseños mecánicos más sofisticados en comparación a los otros dos principios. - El sistema necesita de una fuente independiente de aire comprimido. - La base donde se realice

Continúa ⇨

- El movimiento de la carga no necesita de grandes esfuerzos.	el movimiento debe ser plana, horizontal, lisa y libre de huecos.
- La translación de la plancha se la puede realizar en cualquier sentido.	- Existe mayor dificultad de movimiento de la plancha por el uso de mangueras por cada air caster usado.

Tabla 13.

Resultados obtenidos de métodos de levitación neumática para planchas metálicas

	Resultado	Conclusión
Por medio de Se genera muchos agujeros en cámara de aire.	inconvenientes en la salida homogénea de flujo de aire por los agujeros ya que es necesario tener un control exacto de las corrientes de aire. Muchas ocasiones se produce el efecto de absorción en vez de expulsión de aire por los agujeros.	No permite levitar planchas metálicas.
Por medio de tubería neumática	Se produce el inconveniente del control homogéneo de flujo de aire ya que al igual que el principio de los agujeros de produce el efecto de absorción de la carga.	No permite levitar planchas metálicas.
Principio campana de aire	Se produce el colchón de aire por cada air caster	Si permite levitar planchas metálicas.

Continúa ⇨

implementado, permitiendo elevar y mover con facilidad diferentes cargas pesadas como se muestra en la Figura 51.



Figura 51. Prueba de Funcionamiento - Principio de levitación neumática por campana de aire

Después de experimentar los diferentes métodos que permiten levitar las planchas metálicas por medio de la tecnología neumática, y al observar que la opción del principio de la campana de aire fue el único método que cumplió con el objetivo planteado, se observó que van a existir algunos problemas con la implementación de este sistema para la aplicación requerida dentro de la punzonadora CNC (ver Tabla 14), por lo que se decidió que esta solución no es aplicable al proyecto planteado.

Por este motivo se decidió investigar otra solución alternativa que permita desplazar fácilmente las planchas metálicas sobre la mesa de la punzonadora CNC, se encontró la opción de usar bolas de transferencia (ver Figura 71) distribuidas uniformemente sobre la mesa facilitando así el desplazamiento de las planchas, cabe mencionar que esta opción es usada por algunos fabricantes de Punzonadoras CNC reconocidos mundialmente para el propósito requerido.

Tabla 14.

Comparación entre sistema de campana de aire y sistema de bolas de transferencia.

	Sistema de levitación neumática por principio de campana de aire	Sistema mecánico por medio de bolas de transferencia.
Económico	<p>Para implementar este sistema se requiere de varios elementos que hacen que la implementación de este sistema sea elevado.</p> <p>Costos por elemento:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Compresor de aire con motor. (U\$S 1000) - Filtro Regulador de Presión. (U\$S 100) - Tubería neumática flexible. (Aprox. 10m) (U\$S 20) - Acoples y Racores. (U\$S 20) - Air Caster. (Aprox. 4) (U\$S 40) <p>Gasto Total: U\$S 1180</p>	<p>Para implementar este sistema solamente se requiere el uso de bolas de transferencia por lo que la implementación de este sistema es económica.</p> <p>Costos por elemento necesarios:</p> <ul style="list-style-type: none"> - Bolas de transferencia. (Aprox. 50 bolas) (U\$S 250) <p>Gasto Total: U\$S 250</p>

Continúa ⇨

Implementación	<p>Al requerir de varios elementos para su funcionamiento hacen que sea más compleja su implementación. Además de que al ser móviles los air caster junto con las planchas, resulta que se requiere sujetar cada air caster por cada plancha que se va a trabajar, lo que genera mayor pérdida de tiempo.</p>	<p>Su implementación es relativamente fácil ya que solamente se deben acoplar las bolas de transferencia en la mesa de la punzonadora, el cuál es un trabajo sencillo.</p> <p>A diferencia del método por campana de aire, las bolas de transferencia van fijadas en la mesa de la punzonadora.</p>
Seguridad	<p>Tiene un alto factor de riesgo ya que se necesitaría al menos 2 metros de manguera por cada air caster y al tener el uso excesivo de manguera podría ocurrir enredos o cortes en las mismas pudiendo ocasionar graves daños al operador.</p>	<p>No tiene ningún riesgo ya que las bolas de transferencia van fijadas a la mesa.</p>
Mantenimiento	<p>Se requiere mantenimiento preventivo por cada elemento que va dentro de la fuente neumática trimestralmente. Además, es más probable que se requiera mantenimiento correctivo a corto plazo ya que los materiales usados en los aircaster son más propensos a daños o desgaste como es el caucho.</p>	<p>No se requiere mantenimiento preventivo.</p> <p>Además, no es muy probable que se requiera mantenimiento correctivo a corto plazo ya que las bolas de transferencia están hechas de acero inoxidable el cual es bastante resistente.</p>

Fiabilidad	<p>El correcto funcionamiento dentro del propósito de la punzonadora CNC requiere de bastante precisión en la ubicación y sujeción de los air caster con la plancha metálica a punzonar, otorgando poca fiabilidad para esta aplicación.</p> <p>Además, que se reduce espacio de trabajo ya que en la ubicación de cada air caster se imposibilita el proceso de punzonado.</p>	<p>Al estar las bolas de transferencia fijas en la mesa punzonadora y al saber que cada una de las bolas soporta cargas pesadas otorga alta fiabilidad en el sistema.</p>
------------	---	---

Después de revisar la Tabla 14 se afirma que el uso de bolas de transferencia en el propósito de facilitar el desplazamiento de las planchas metálicas dentro de la punzonadora resulta ser la mejor opción, se decide junto al cliente por implementar este sistema en el proyecto (ver Figura 72).

3.3.2. Sistema neumático para sujeción de las planchas metálicas (Mordazas neumáticas)

3.3.2.1. Descripción

Este sistema es el encargado de sostener la plancha metálica actuando como mordazas neumáticas que permiten posicionar la plancha metálica en la coordenada adecuada.

El sistema deberá contar con dos cilindros neumáticos cuyo recorrido dependerá de la estructura mecánica donde estarán acoplados los mismos. Los cilindros deberán activarse al comienzo del proceso y desactivarse al final del proceso.

3.3.2.2. Objetivo

El objetivo que tiene este sistema es sujetar la plancha metálica mientras esta se moviliza a la posición de punzonado.

3.3.2.3. Componentes Principales

- Compresor - Motor

Tabla 15.

Características del Compresor usado en el sistema

Marca	Campbell Hausfeld
Modelo	VT619504AJ(AGM03)
Voltaje – Corriente – Frecuencia	240 V / 15.0 A / 60 Hz / 1 PH
SCFM	11.5 @ 40 PSI 10.2 @ 90 PSI
HP (ISO 1217)	3.2
PSI	135



Figura 52. Compresor incluido motor Campbell Hausfeld
VT619504AJ(AGM03)

- Filtro - Regulador de Presión

Tabla 16.

Características del Filtro Regulador de Presión Neumático

Marca	Campbell Hausfeld
Modelo	PA212503
Tipo	Alivio Automático
Temperatura máx.	66 °C
Presión máx.	10.34 Bar – 150 PSI
Entrada/ Salida de aire	(3/8") NPT



Figura 53. Filtro Regulador de Presión Campbell Hausfeld PA212503

- Tubería neumática flexible

Tabla 17.

Características de la tubería neumática usada en el sistema

Marca	FESTO
Diámetro	6X1 mm
Presión máx.	10 Bar



Figura 54. Tubería Neumática Festo

- Electroválvula con retorno de resorte.

Tabla 18.

Características principales de la electroválvula usada en el sistema

Marca	AinsAIR
Modelo	4V210-08
Tipo	5 Vías / 2 posiciones
Presión de Trabajo	22-116 PSI
Voltaje activación	110 V AC
Protección IP	65



Figura 55. Electroválvula ainsAIR 4V210-08

- 2 Cilindros neumáticos doble efecto

Tabla 19.

Características del cilindro neumático usado para sujeción de la plancha

Marca	AirTAC
Modelo	MSAL20X25-S-CA
Presión de Trabajo	1 a 9 Bar / 14 a 130 PSI
Carrera	25 mm
Diámetro del cilindro	20 mm
Diámetro del Vástago	8 mm



Figura 56. Cilindro Neumático AirTAC MSAL20X25-S-CA

Fuente: (Neumaic, 2015)

3.3.2.4. Diagrama

Para poder controlar la activación de los cilindros “C01” y “C02” que serán los encargados de sujetar la plancha metálica es necesario usar una electroválvula “EV2” con retorno de resorte, la cual permitirá o no el paso del aire proveniente del compresor “COMP01” según la señal recibida por parte de la tarjeta controladora, todo el diagrama neumático que permite la activación de los cilindros se muestra en el esquema de la Figura 57.

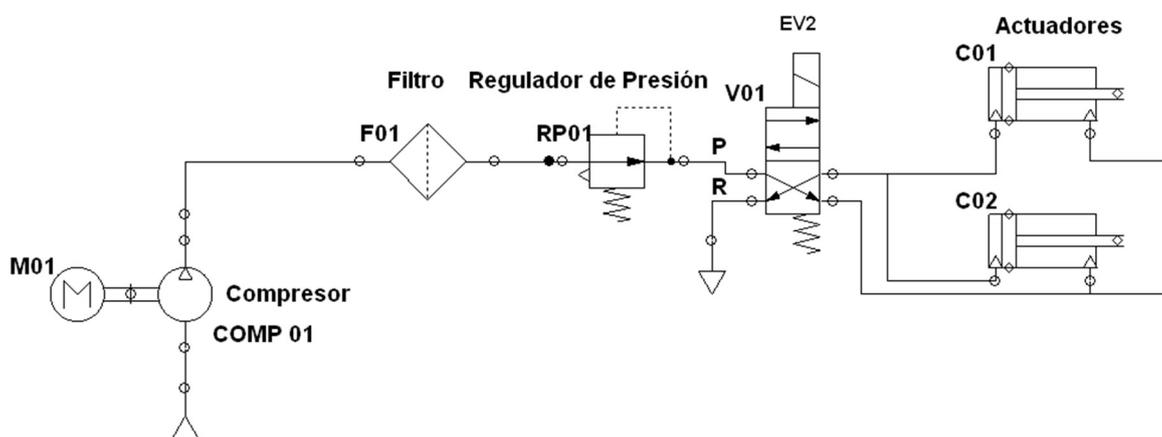


Figura 57. Diagrama neumático cilindros de sujeción de la plancha metálica

3.3.2.5. Cálculos

Teniendo los siguientes datos de fábrica del cilindro se calculará la fuerza máxima de salida de cada cilindro.

Presión máxima del cilindro= 9 bares

Diámetro del émbolo = 20 mm

$$F_s \text{ [N]} = P * A_{\text{émbolo}} \quad (7)$$

Sabiendo que:

$$1 \text{ bar} = 0.1 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2} ; A_{\text{émbolo}} = \frac{\pi * (D_{\text{émbolo}} [\text{mm}])^2}{4} ; 1 \text{ kgf} = 9.81 \text{ N}$$

Se deduce:

$$F_s [N] = \frac{P[bar]}{10} * \frac{\pi * (D_{\acute{e}mbolo [mm]})^2}{4}$$

$$F_s [N] = \frac{9 [bar]}{10} * \frac{\pi * (20 [mm])^2}{4}$$

$$F_s[N] = 0.9 * 314.16$$

$$F_s = 282.74 [N]$$

$$F_s = 28.82 [kgf]$$

3.3.3. Sistema neumático para la perforación de las planchas metálicas

3.3.3.1. Descripción

Este sistema es uno de los más importantes del proceso de punzonado ya que depende de este sistema que se active el cilindro encargado de realizar las perforaciones mediante el punzón que se encuentra acoplado a su vástago, la elección del cilindro a usar es un factor muy importante en el proceso de punzonado ya que depende de este el espesor máximo de la plancha a perforar, así como el tamaño de agujero.

3.3.3.2. Objetivo

Este sistema tiene como objetivo principal permitir el paso de aire hacia el cilindro neumático y así por medio de este cilindro perforar a la plancha metálica según el diseño indicado por el usuario.

3.3.3.3. Componentes Principales

- Compresor (ver Tabla 15)
- Filtro Regulador de Presión (ver Tabla 16)
- Tubería flexible neumática (ver Tabla 17)
- Electroválvula con retorno de resorte. (ver Tabla 18)

- Cilindro neumático doble efecto

Tabla 20.

Características del cilindro usado para el punzonado del sistema

Marca	AirTAC
Modelo	SC80X300-S
Presión trabajo.	1 a 7 Bar
Carrera	300 mm
Diámetro del cilindro	80 mm
Diámetro del Vástago	20 mm



Figura 58. Cilindro Neumático AirTAC SC80X300-S

Fuente: (Alibaba, 2016)

3.3.3.4. Diagrama

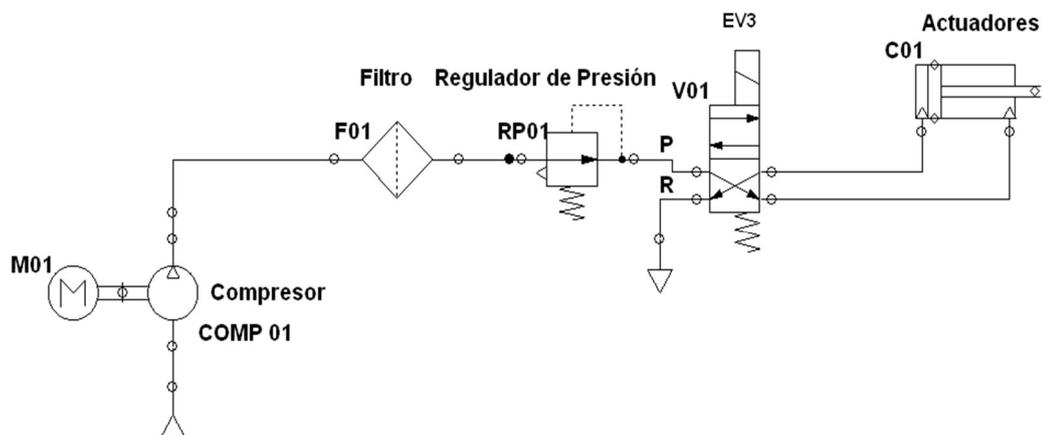


Figura 59. Diagrama neumático del cilindro de punzonado

El cilindro neumático “C01” encargado de la perforación de las planchas metálicas se activa según la posición de la electroválvula “EV3”, la cual es controlada mediante la señal recibida de la salida digital de la tarjeta controladora del sistema. La fuente de aire se genera mediante el motor “M01” y el compresor “COMP01”, la presión máxima de trabajo del cilindro de perforación se la puede regular mediante el filtro regulador de presión “RP01” que se encuentra a la entrada de la línea de aire de la electroválvula. Todo este sistema se detalla en el diagrama de la Figura 59.

3.3.3.5. Cálculos

Teniendo los siguientes datos de fábrica del cilindro a usar se calculará la fuerza máxima de salida del cilindro (F_s).

Presión máxima del cilindro= 7 bares

Diámetro del émbolo = 80 mm

$$F_s [N] = P * A_{\text{émbolo}} \quad (8)$$

Sabiendo que:

$$1 \text{ bar} = 0.1 \frac{N}{\text{mm}^2} ; A_{\text{émbolo}} = \frac{\pi * (D_{\text{émbolo}} [\text{mm}])^2}{4} ; 1 \text{ kgf} = 9.81 \text{ N}$$

Se deduce:

$$F_s [N] = \frac{P[\text{bar}]}{10} * \frac{\pi * (D_{\text{émbolo}} [\text{mm}])^2}{4}$$

$$F_s [N] = \frac{7 [\text{bar}]}{10} * \frac{\pi * (80 [\text{mm}])^2}{4}$$

$$F_s [N] = 0.70 * 5026.56$$

$$F_s = 3518.59 [N]$$

$$F_s = 358.67 [\text{kgf}]$$

3.4. Diseño del sistema hidráulico

3.4.1. Descripción

Este sistema es el encargado de la perforación de las planchas metálicas, el elemento más importante de este sistema es el cilindro o gato hidráulico. A este cilindro

hidráulico va acoplado el elemento de corte o perforación que se lo conoce como punzón. Se debe tomar en cuenta que el gato hidráulico debe tener la fuerza suficiente para poder perforar las láminas de metal. Además, es importante tomar en cuenta que la velocidad con la que se mueve el cilindro hidráulico estará en función del caudal máximo de la bomba con la que se está alimentando al sistema.

3.4.2. Objetivo

El objetivo del sistema hidráulico es perforar de manera rápida y ágil láminas de metal como; acero, acero inoxidable o aluminio, de hasta 4mm de espesor, con figuras cuadradas con un lado de 1 cm y circulares con un diámetro de 1cm. Será necesario realizar los cálculos del tonelaje necesario para perforar los agujeros con las características descritas anteriormente. Además, se requiere que el cilindro se desplace 1cm en 1segundo, con esto se deberá calcular el caudal que debe tener la bomba hidráulica. Los resultados de tonelaje del cilindro y caudal de la bomba hidráulica, servirán como datos para buscar los equipos que haya en el mercado y en base a esto definir los valores finales de tonelaje y caudal que deberán tener los equipos hidráulicos de la punzonadora.

3.4.3. Componentes principales

El sistema hidráulico de la punzonadora estará conformado por los siguientes elementos:

- Acumulador
- Bomba hidráulica
- Válvula de alivio
- Válvula de control
- Actuador
- Filtro de retorno

- Mangueras

3.4.4. Diagrama general del sistema

El diagrama de bloques que se muestra en la Figura 60 indica la secuencia que se debe seguir para activar el cilindro hidráulico encargado de la perforación de las planchas metálicas, desde el depósito de aceite en el cual se encontrará todo el aceite que circulará por la línea hidráulica, después mediante la bomba hidráulica se generará la presión necesaria la cual será regulada según la presión que necesite el actuador dependiendo del diseño y espesor de las planchas a perforar mediante el regulador de presión, la válvula de control es la encargada de permitir o no el paso de presión de aceite hacia el actuador que este caso es el cilindro controlando su activación y desactivación del mismo.

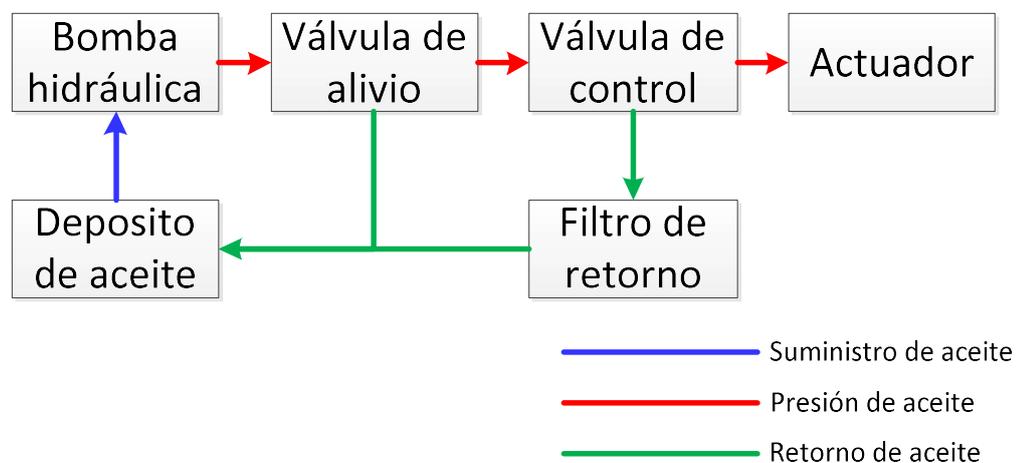


Figura 60. Diagrama de bloques del sistema hidráulico

3.4.5. Cálculos de diseño

- **Cilindro hidráulico – cálculo tonelaje**

Como se mencionó anteriormente, existen dos posibilidades de formas de perforación, a continuación, se hace un cálculo del tonelaje que será necesario para

obtener cada una de estas. Para saber la capacidad máxima que debe tener el cilindro se deberá hacer los cálculos con el material más resistente que se desea perforar, que en este caso es el acero inoxidable.

La fórmula que permite calcular la fuerza necesaria para cortar o perforar, es la siguiente:

$$Q = P * S * \sigma_T \quad (9)$$

En donde:

Q : Fuerza de corte

P : Perímetro de la figura

S : Espesor de la plancha

σ_T : Esfuerzo de ruptura del material

○ **Cuadrado de 1cm de lado**

Para este caso los datos son los siguientes;

$$P = 40 [mm] \text{ (10mm por lado del cuadrado)}$$

$$S = 4 mm$$

$$\sigma_T = 833 [N/mm^2]$$

$$Q = P * S * \sigma_T$$

$$Q = 40[mm] * 4[mm] * 833[N/mm^2]$$

$$Q = 133280 [N]$$

$$Q = 133280 [N] * \frac{1[Ton]}{9806[N]}$$

$$Q = 13.59[Ton]$$

○ **Selección de cilindro hidráulico**

Con los resultados obtenidos en los cálculos anteriores, se deduce que se necesita un cilindro de 15 toneladas, pero a este cálculo hay que sumarle un 20% adicional que se lo hace por seguridad. Entonces el tonelaje final resulta 18 toneladas, pero debido a que no existe este valor de tonelaje se debe escoger un valor comercial, en este caso el tonelaje más cercano es de 20 toneladas. En el mercado existe una marca de equipos

hidráulicos llamada SACAPOL, en la Figura 61 se puede observar las características técnicas de los cilindros que ofrece esta marca. Estos cilindros son de carrera corta, de simple efecto, con retorno por resorte y el modelo CCA20 es el que cumple con nuestros requerimientos técnicos.



CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS

MODELO	CCA 10	CCA 20	CCA 30	CCA 50	CCA 100
CAPACIDAD: TON.	10	20	30	50	100
C-CARRERA: M.M.	30	50	50	50	50
DIAMETRO: M.M.	72	110	128	172	220
D1 - DIAMETRO: M.M.	19.5	27	33	43	53
H. CERRADO: M.M.	106	130	140	165	185
VOLUMEN: CM3	50	185	255	540	800
PESO: Kg.	2.7	9.3	10.5	21.4	48.2

Figura 61. Características técnicas de cilindros hidráulicos

- **Bomba hidráulica - Caudal**

Para el cálculo del caudal se requiere como dato inicial la velocidad de desplazamiento del cilindro hidráulico y diámetro del cilindro. En este caso se planteaba como requerimiento una velocidad de 1cm/s o 10mm/s y en base a la Figura 61 se dice que el cilindro tiene un diámetro de 11 cm o 110mm. La fórmula del caudal es la siguiente:

$$Q = v * A \quad (10)$$

En dónde;

Q : Caudal

v : Velocidad de desplazamiento del cilindro

A : Área del cilindro

Entonces se tienen como datos que;

$$v = 1 \left[\frac{cm}{s} \right]$$

$$A = \pi * \left(\frac{D}{2}\right)^2 = \pi * \left(\frac{11}{2}\right)^2$$

$$A = 95.03 [cm^2]$$

○ **Cálculo del caudal**

$$Q = v * A$$

$$Q = 1 \left[\frac{cm}{s}\right] * 95.03 [cm^2]$$

$$Q = 95.03 [cm^3/s]$$

$$Q = 95.03 \frac{[cm^3]}{[s]} * \frac{1 [lt]}{1000 [cm^3]} * \frac{60 [s]}{1 [min]}$$

$$Q = 5.70 \left[\frac{lt}{min}\right] + 20\%$$

$$Q = 6.84 \left[\frac{lt}{min}\right]$$

○ **Selección de la bomba hidráulica**

En base a este cálculo obtenido se puede elegir la bomba hidráulica comercial que más se acerque al valor calculado. Para la selección de la bomba hidráulica se cuenta con varias marcas y modelos a disposición, pero para las condiciones requeridas se ha elegido una unidad de potencia marca Parker con las características que se muestran en la Figura 62.

Serie	Diseño	Presión (bar)	Bomba	Caudal máx. (l/min)	Tanque (l)	Motor (kW)
M-Pak	Vertical	210	(bomba engranajes)	12	30 - 70	0,25 - 7,5
M-Pak	Vertical	315	(bomba engranajes interna)	11	30 - 250	0,55 - 15
M-Pak	Vertical	210	(bomba engranajes)	40	70 - 250	0,55 - 15
M-Pak	Horizontal	140	(bomba de paletas)	35	100 - 250	0,55 - 15
M-Pak	Horizontal	350	(bomba de pistón)	138	100 - 630	7,5 - 30
Individual	Customized	350		1000	≤10000+H128	≤160

Figura 62. Modelos de unidades de potencia marca Parker

Como se puede ver, no existe una unidad que tenga los requerimientos exactos que se ha calculado, pero se puede elegir la unidad que se encuentra resaltada, la que puede

brindar un caudal máximo de 11 l/min, este valor es suficiente para alcanzar la velocidad de desplazamiento del cilindro que se había propuesto inicialmente. También en la Figura 62 se puede ver que esta unidad de potencia puede trabajar con un motor de 0.55 a 15 kW, y esto convertido a caballos de vapor resulta de 0.75 a 20.12 hp. Con este dato se puede seleccionar la potencia que debe tener el motor de la bomba hidráulica.

3.4.6. Circuito del sistema hidráulico

El diagrama esquemático del circuito que se observa en la Figura 63, muestra las conexiones referentes a la línea hidráulica necesarias para poder controlar la activación o desactivación del actuador o cilindro hidráulico encargado de realizar los agujeros en las planchas metálicas, este control se lo realizará mediante la electroválvula “EV01”, que estará comandada por la señal digital proveniente de la tarjeta controladora del sistema.

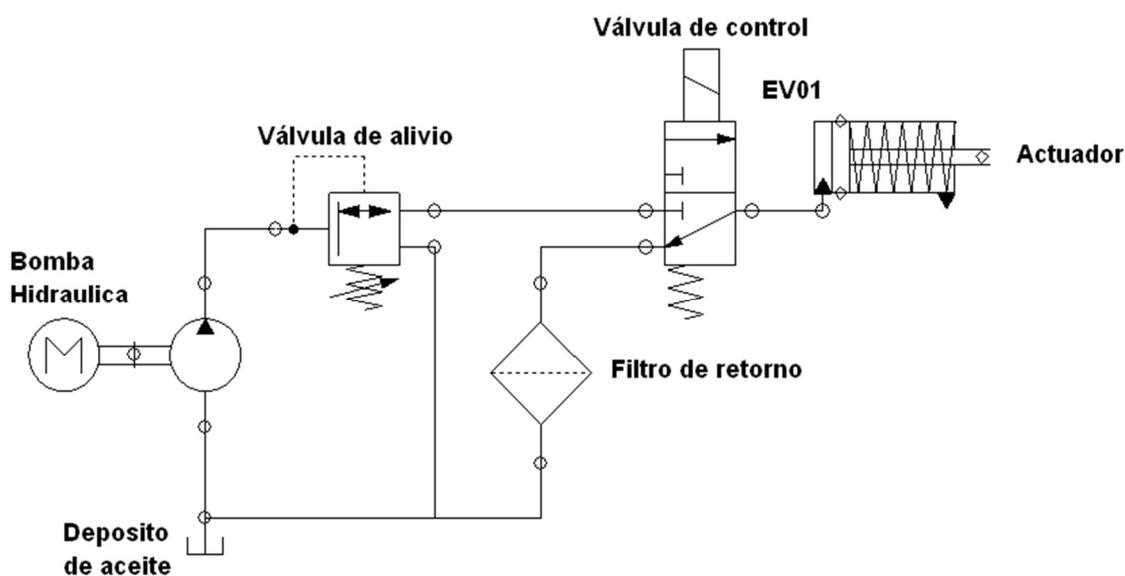


Figura 63. Circuito del sistema hidráulico

3.5. Diseño del sistema de control automático

3.5.1. Descripción

Todos los sistemas explicados anteriormente pueden funcionar independientemente, pero al no tener un sistema de control que los dirija, su funcionamiento no puede generar el funcionamiento de una máquina CNC. Por este motivo es necesario implementar un sistema que permita que todos los componentes de la máquina Punzonadora CNC entren en funcionamiento el momento que el controlador principal lo indique, y que se detengan cuando se haya comprobado que se cumplió con lo requerido inicialmente. El sistema de control básicamente envía señales de que tanto moverse los ejes y el momento en que debe activarse el actuador que permite la perforación de las planchas de metal.

En la actualidad existen muchas opciones para un sistema de control de una máquina CNC, pero en la mayoría de casos se lo puede realizar mediante PLC o mediante tarjetas de control especializada en este tipo de máquinas. En este caso se utilizará una tarjeta de control especializada, la cual es la encargada de coordinar y comandar el movimiento de los ejes de desplazamiento y una vez que estos se han ubicado en la posición requerida, la tarjeta envía una señal para que entre en funcionamiento el actuador principal de la máquina.

3.5.2. Objetivo

En el diseño de este componente de la Punzonadora CNC, se busca que se pueda programar y controlar mediante una computadora el funcionamiento de toda la máquina. Para ello, el componente más importante es la tarjeta de control principal, que será la encargada de interpretar lo que el usuario desea trabajar sobre el metal y a su vez es la encargada de traducir esto a señales eléctricas que permiten el funcionamiento físico de la máquina.

Es decir, el operario mediante un sistema CAD/CAM dibuja lo que desea perforar o cortar, luego genera el código G correspondiente, posteriormente carga este código G a la tarjeta de control mediante un software especializado en control de máquinas CNC y la tarjeta finalmente envía las señales de control hacia los controladores de los motores y esto produce el desplazamiento de los ejes y en el momento que se ha alcanzado la ubicación deseada se envía la señal que conmuta los relés que están conectados a las válvulas solenoides y esto activa los actuadores neumáticos e hidráulicos del sistema.

3.5.3. Componentes principales

- Tarjeta de control CNC

Tabla 21.

Características de la tarjeta de control CNC

Marca	CNC USB Controller
Modelo	MK1
Ejes de desplazamiento	X, Y, Z, A
Salidas digitales	2
Salidas analógicas	1
Entradas digitales	4
Comunicación con PC	USB
Frecuencia de pasos	25KHz



Figura 64. Tarjeta de control CNC

Fuente: (Planet CNC, 2016)

- Computadora

Tabla 22.

Características de la computadora del sistema

Marca	Toshiba
Modelo	Satélite C855
Procesador	Intel Core i3 – 2.5GHz
Memoria RAM	Kingston 8Gb
Disco Duro	500Gb
Sistema Operativo	Windows XP, 7, 8, 10
Programas necesarios	<ul style="list-style-type: none"> • Sistema CAD/CAM • Software de control CNC

3.5.4. Diagrama general del sistema

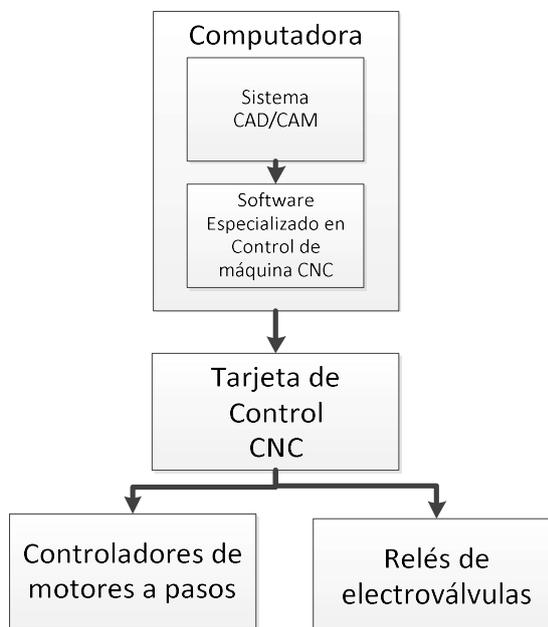


Figura 65. Diagrama de bloques – Sistema de control

La Figura 65 muestra el diagrama de bloques respecto al sistema de control automático, la cual comienza en la generación del bloque de código numérico con la

ayuda de la herramienta de software CAD/CAM instalada en un ordenador o computadora, este bloque de código numérico o también llamado “código G” contiene básicamente toda la información referente a las señales referentes al desplazamiento, velocidad de giro de los motores a pasos y el momento en que debe activarse el cilindro que perfora las planchas. Esta información se la envía mediante comunicación USB hacia la tarjeta de control CNC, la cual mediante sus salidas envía las señales correspondientes a los controladores de motores a pasos y a los relés de las electroválvulas.

3.5.5. Conexión de la tarjeta de control principal CNC

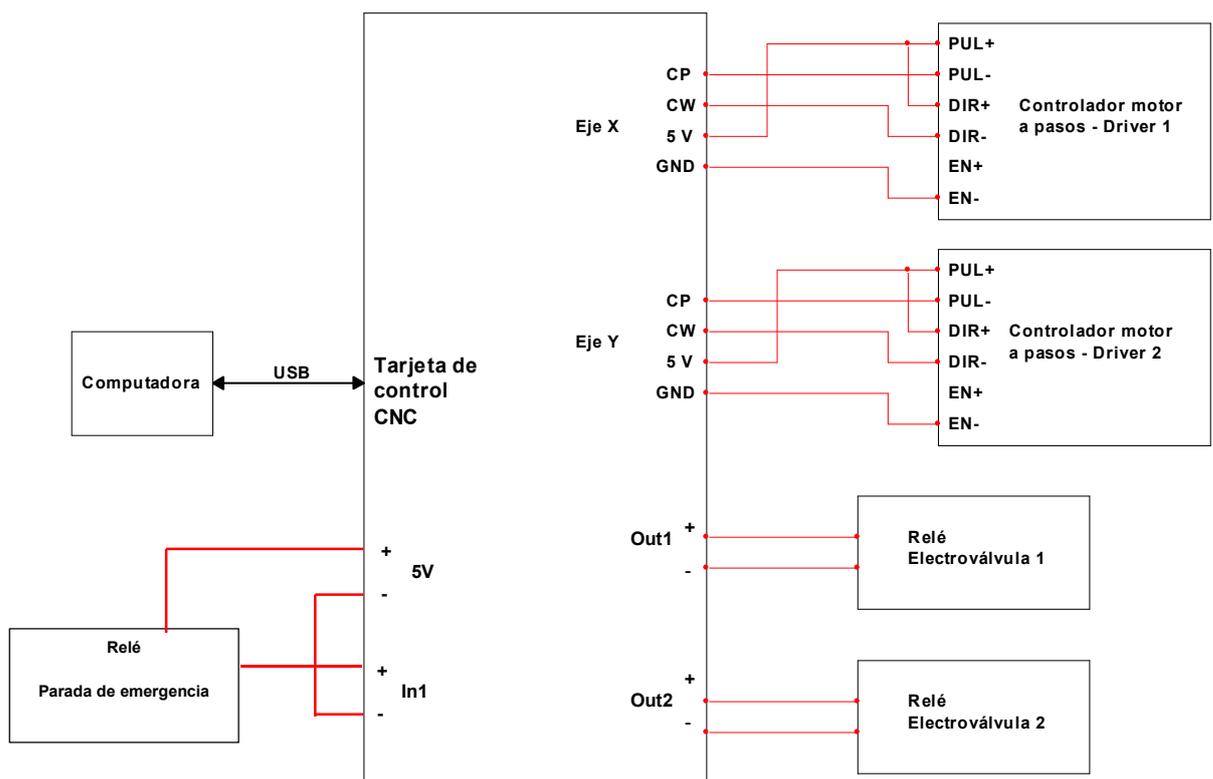


Figura 66. Conexión de la tarjeta de control CNC

En la Figura 66 se puede observar la conexión entre la tarjeta de control CNC y los elementos que permiten controlar los actuadores que son parte de la punzonadora CNC. Como se puede ver, la tarjeta cuenta con salidas para 3 ejes, dos de ellos son utilizados para controlar el movimiento de los ejes “X” y “Y”. Además, la tarjeta

cuenta con varias salidas digitales, una de ellas es utilizada para la activación de 2 cilindros que harán la función de una mordaza que sostiene las planchas de metal mientras son desplazadas para su trabajo y la otra es utilizada para para la activación del cilindro que perfora las planchas.

3.6. Montaje e Integración de los Componentes de la máquina.

3.6.1. Introducción

En esta sección se habla de la integración de todos los sistemas desarrollados anteriormente, inicialmente lo que sería necesario es una estructura metálica que sea capaz de soportar todos los elementos que se utilizan en la punzonadora. Sobre la estructura metálica deberán estar colocados principalmente la mesa en donde se desplazada las láminas de metal y los ejes de desplazamiento que trasladan las mismas. Todos los elementos eléctricos y electrónicos están ubicados en un tablero de control, de esta manera se puede ubicar fácilmente cada uno de los elementos que controlan el funcionamiento de la máquina.

3.6.2. Objetivo

El objetivo del proceso de montaje e integración de todos los componentes es lograr el funcionamiento de una máquina punzonadora CNC mediante la interacción entre los sistemas eléctrico/electrónicos con los sistemas neumáticos e hidráulicos. Se desea obtener una estructura metálica robusta que sea capaz de soportar el peso de todos los elementos mecánicos que son parte de la máquina y que permita obtener el producto final en buenas condiciones. Además, se busca que el movimiento de los ejes sea fluido y que en su trayecto no tenga problemas, lo cual se ve reflejado en un correcto posicionamiento de las láminas que se van a perforar.

Cuando los ejes de desplazamiento han hecho su trabajo, viene otro proceso importante que es la perforación o punzonado. En esta parte será importante el correcto diseño del punzón y la matriz, para ello se deberá tomar en cuenta el material a utilizar, la holgura entre los dos elementos, la velocidad de avance del punzón, etc.

3.6.3. Descripción de los componentes de la máquina

- **Estructura metálica**

La estructura metálica debe ser capaz de sostener todos los componentes que son parte de la punzonadora; ejes de desplazamiento, actuadores, plancha base y las planchas que se van a perforar. Tomando en cuenta estos componentes, se diseñó la estructura de acero que se observa en la Figura 67, esta estructura mide 2.7m * 2.0m, el espesor de los tubos de acero es de 3mm y la longitud de lado de los tubos es de 10cm para los que requieren mayor esfuerzo (Armazón principal) y 5cm para los tubos que atraviesan la estructura (Transversales).

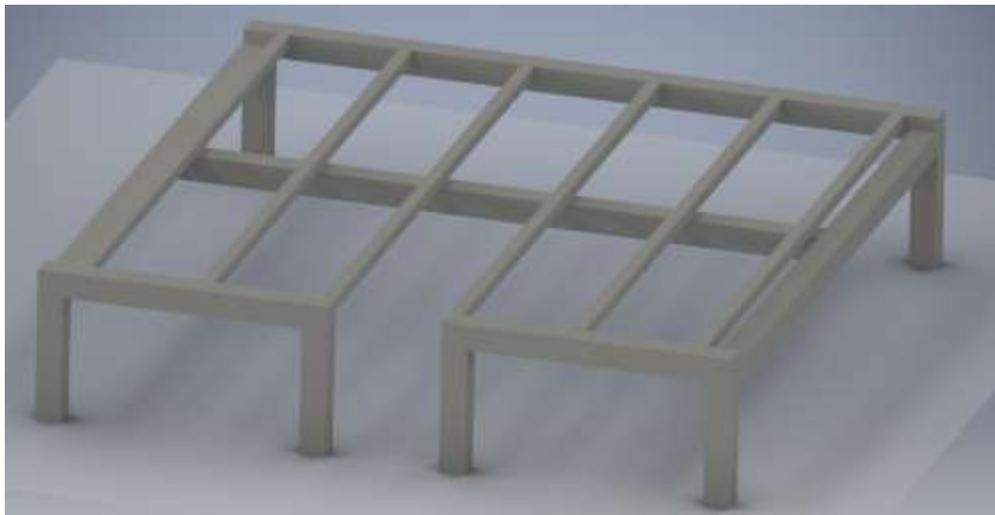


Figura 67. Estructura diseñada

En la Figura 68 se puede observar la estructura una vez construida físicamente.



Figura 68. Construcción física de la estructura metálica

- **Ejes de desplazamiento**

Estos elementos son los que permiten desplazar a las planchas metálicas hasta el punto en donde se va a perforar la lámina de metal. Inicialmente, se deseaba tener un área de trabajo de 2.5m de ancho por 2.5m de largo, por lo tanto, los ejes de desplazamiento deberían desplazar la plancha desde un extremo hasta el punto de perforación, es decir que debían un recorrido de 1.25. Pero debido a las características de la estructura metálica diseñada, se eligió ejes de desplazamiento de 2.7m de recorrido para el plano X y 2 ejes de 1.5m de recorrido para el plano Y. Los ejes que se pensaba utilizar son de correa dentada de goma, la cual va acoplada a un piñón que está unido al eje del motor a pasos, a continuación, en la Figura 69 se puede observar como se pensaba ubicar cada uno de los ejes de desplazamiento.

La complicada situación del país también afecto a la empresa ENERGOPETROL S.A. y por este motivo no se pudo adquirir los ejes de desplazamiento que se planteó inicialmente, pero se pudo adquirir ejes de menor tamaño. Los ejes más pequeños permiten conseguir el objetivo de posicionamiento de las planchas metálicas, pero la capacidad de carga y el área de trabajo se ve reducida considerablemente. Dada la situación que ya se había construido la estructura metálica y posteriormente se compró ejes más pequeños, fue necesario acoplar estos ejes en la estructura como se observa en la Figura 70. Estos ejes tienen un recorrido de 50 cm y giran mediante un tornillo sin fin que se encuentra acoplado al motor a pasos.

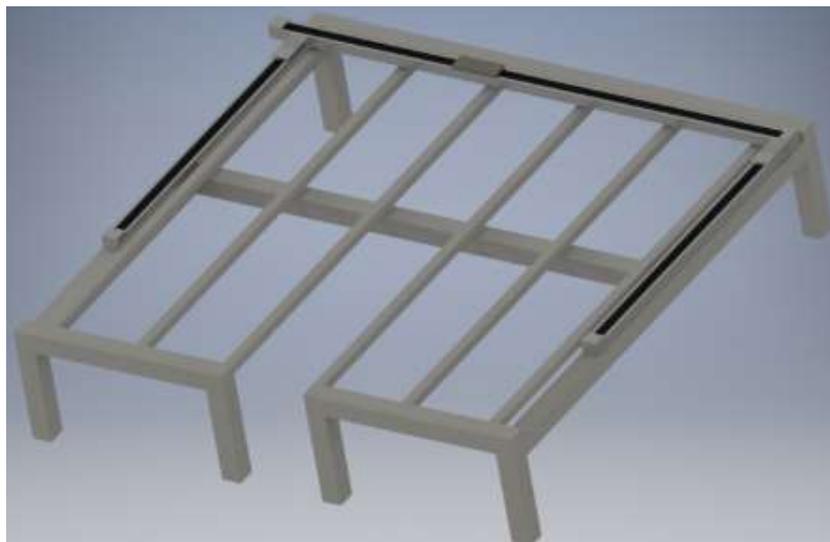


Figura 69. Ejes de desplazamiento con correa dentada

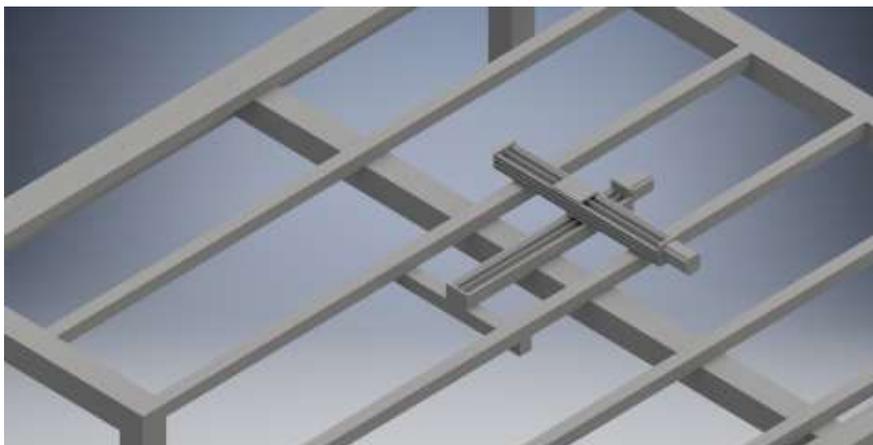


Figura 70. Ejes de desplazamiento con tornillo sin fin

- **Mesa de desplazamiento de planchas metálicas**

Como se había explicado anteriormente en el apartado 3.2, se pensaba implementar un sistema neumático que facilite el desplazamiento de las planchas que se van a trabajar, pero finalmente se optó por una opción diferente. La opción más viable, económica y práctica fue la utilización de bolas de transferencia (ver Tabla 14), estos dispositivos son bolas de acero que permiten desplazar sobre ellas cualquier tipo de elementos. En la Figura 71 se puede observar el tipo de bola de transferencia que fue utilizada en la estructura de la punzonadora.



Figura 71. Bola de transferencia

Estas bolas de transferencia fueron ubicadas sobre una plancha de acero de 3mm de espesor, la cual debe tener agujeros con el diámetro necesario para que quepan las bolas de transferencia. A continuación, en la Figura 72 se puede observar la mesa de desplazamiento, con las bolas de transferencia y también se encuentran los ejes de desplazamiento.



Figura 72. Estructura con mesa de desplazamiento y ejes de desplazamiento

- **Mordazas para sostener planchas metálicas**

Una vez que se tiene lista la mesa de desplazamiento de las planchas y los ejes de desplazamiento, se puede pensar en un elemento que sea capaz de sujetar las planchas metálicas mientras se las mueve en el proceso de punzonado. Existen muchas posibilidades para realizar esta tarea; una de ellas son mordazas neumáticas, las cuales tienen un costo elevado. Para este caso se diseñó una mordaza adaptando cilindros neumáticos en una estructura metálica de tal forma que es posible sujetar firmemente

las láminas de metal y desplazarlas en el área de trabajo de la punzonadora. En la Figura 73 se puede observar que en la parte posterior de la estructura existen agujeros que permiten sujetarla a uno de los ejes de desplazamiento.



Figura 73. Mordaza neumática

- **Cilindro para perforar**

Este elemento es uno de los más importantes en el proceso de punzonado, debido a que realiza el principal proceso de la máquina que es la perforación de las planchas metálicas. Inicialmente se diseñó una estructura que sea capaz de resistir a todo el esfuerzo que requiere la perforación de las planchas de acero, esta estructura estaba formada por 3 planchas de acero con un espesor de 15mm, las cuales estaban unidas para generar una mayor resistencia. A continuación, en la Figura 74 se puede observar el diseño de la estructura, se puede observar que la principal función de esta estructura es soportar la fuerza que ejerce el punzón sobre la matriz.



Figura 74. Estructura metálica para sostener cilindro de perforación

De manera similar a los ejes de desplazamiento, por el mismo motivo se debió desistir de la construcción de esta estructura y de la compra de un cilindro hidráulico con la capacidad planteada inicialmente. Por este motivo fue necesario plantear otra alternativa, para ello se utilizó un cilindro neumático, el cual tiene menor capacidad para perforar, pero es suficiente para demostrar el objetivo principal de este proyecto que es desarrollar un prototipo. Una opción rápida y sencilla es hacer una adaptación a la primera estructura que fue construida, como se puede ver en la Figura 75, se construyó una especie de arco que va entre los dos lados de la estructura y en el medio de este arco se encuentra una estructura que permite ubicar el cilindro que va a perforar las planchas metálicas.

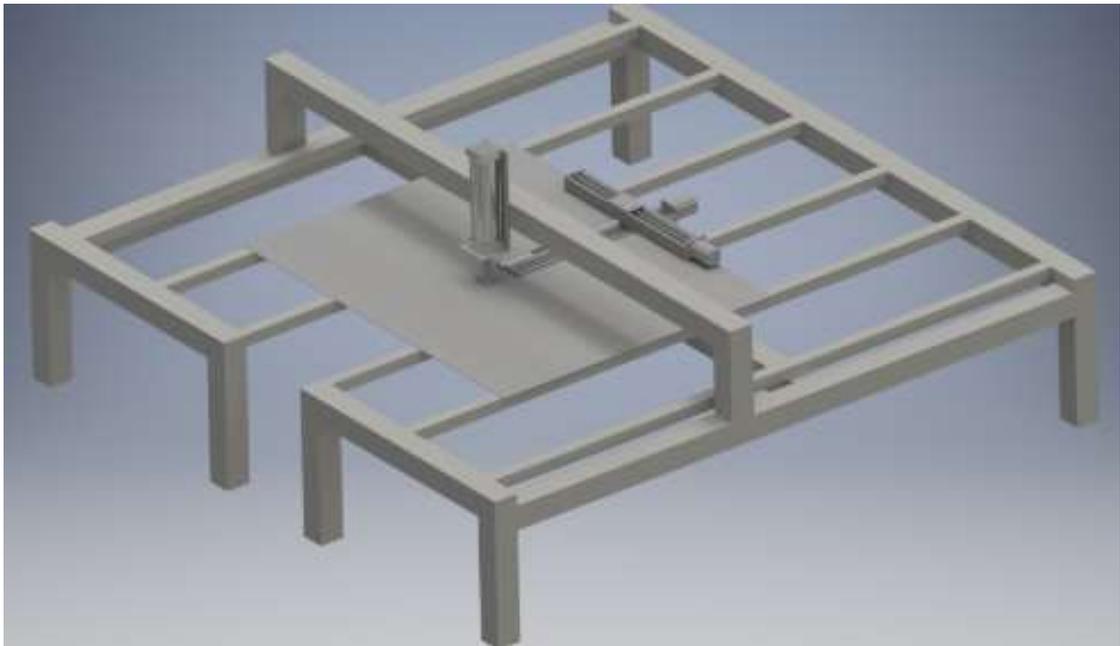


Figura 75. Diseño de la estructura que sostiene cilindro de perforación

En la Figura 76 se puede ver ya instalado el cilindro neumático en la estructura metálica que fue adaptada a la estructura que se construyó inicialmente, además se puede ver la plancha de acero que sirve de soporte para la matriz de perforación.



Figura 76. Estructura para cilindro de perforación construida físicamente

- **Punzón y matriz para perforación**

Una vez que se ha montado el cilindro neumático sobre la estructura construida, es necesario el diseño de los elementos que perforan el metal. Estos elementos se los puede comprar ya contruidos, pero debido a su alto costo y el tiempo de demora en su entrega, se optó por construir en la empresa con la ayuda del torno y fresadora que existe disponible. En la Figura 77 se puede observar el modelo que fue diseñado, el punzón cuenta con una rosca que permite colocar fácilmente en el eje del cilindro de perforación.



Figura 77. Punzón y matriz diseñados

En la Figura 78 se puede observar que se logró construir dos piezas muy similares al diseño plateado inicialmente.



Figura 78. Punzón y matriz construidos físicamente

- **Tablero de control del sistema**

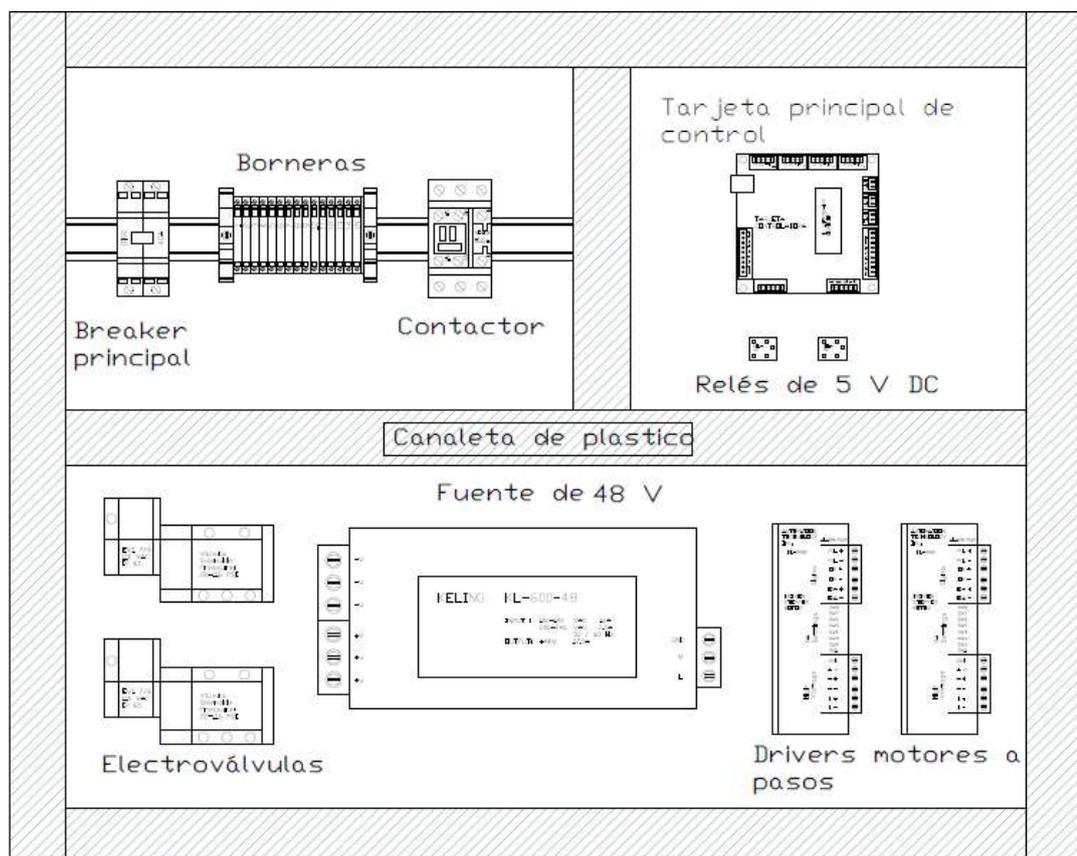


Figura 79. Distribución de los elementos en el tablero de control

Una vez construido físicamente todos los componentes estructurales y mecánicos de la máquina, se puede proceder a construir un tablero de control en el cual se encuentran todos los elementos eléctricos y electrónicos que son parte de la punzonadora. En este tablero se encuentran los componentes más importantes del proyecto, entre ellos; la tarjeta principal, los controladores de los motores a pasos, la fuente, los relés, las electroválvulas y todos los demás componentes eléctricos que son parte del sistema. Además, en este tablero se encuentran los mandos principales de la máquina, como son; botón de encendido, botón de apagado, botón de emergencia y un interruptor para encender la lámpara interna del tablero. A continuación, en la Figura 79 se puede observar cómo están distribuidos cada uno de los componentes que son parte del sistema eléctrico y electrónico de la punzonadora CNC.

En la Figura 80 se puede observar cómo se encuentran distribuidos cada uno de los elementos que son parte del sistema. En la parte superior derecha se encuentra la tarjeta principal de control y dos relés que permiten activar las electroválvulas que están ubicadas en la parte inferior izquierda. En la parte inferior en el centro se encuentra la fuente de alimentación de 48 V DC y a su lado derecho están los drivers para controlar los motores a pasos. Además, en la parte superior derecha se encuentra el elemento de protección (breaker) y unas borneras para la alimentación de 110 V AC. Finalmente se puede observar que alado de las borneras se encuentra un contactor que es utilizado para encender y apagar el sistema mediante pulsadores.



Figura 80. Ubicación física de los elementos eléctricos y electrónicos en el tablero

En la Figura 81 se puede observar la conexión de los pulsadores que permite encender, parar por emergencia y detener el sistema, también se encuentran luces piloto para cada uno de estos pulsadores.

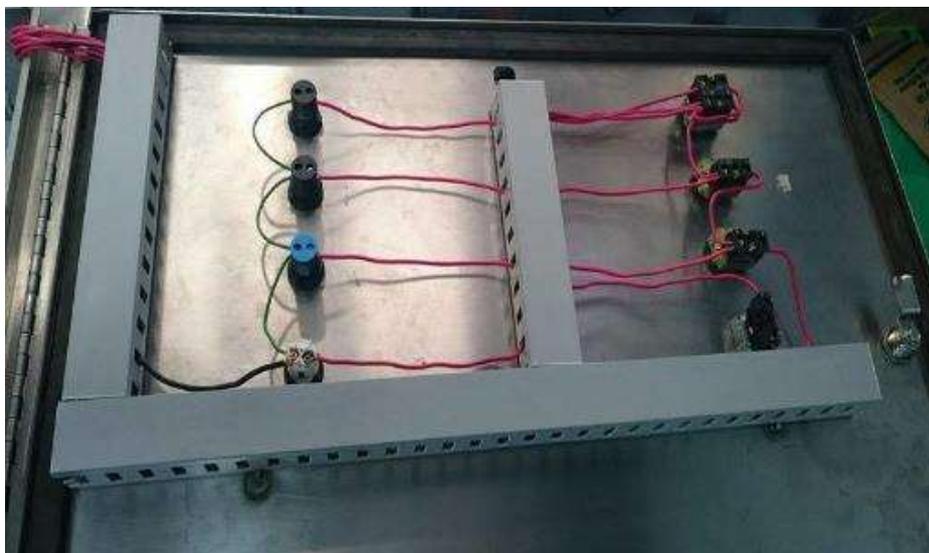


Figura 81. Conexión de elementos de mando en el lado frontal del tablero



Figura 82. Foto de la estructura exterior del tablero de control

CAPÍTULO IV

4. DESARROLLO DE SISTEMAS DE CONTROL

4.1. Sistema de Control de Posicionamiento

4.1.1. Objetivo

El objetivo de este sistema es generar movimientos precisos y coordinados para desplazar las planchas de metal que serán perforadas, los elementos que hacen este trabajo son los ejes de desplazamiento. Cada eje tiene acoplado un motor a pasos, estos motores requieren ser controlados para que puedan realizar un trabajo adecuado. Se debe controlar la velocidad con la que giran los motores y el tiempo que estos van a girar.

Debido a que ya existen muchos dispositivos para el control de motores a pasos, no es necesario desarrollar el diseño de un controlador para este tipo de motores. En el apartado 3.5.3 se describen los controladores para los motores a pasos y la tarjeta principal de control que se utilizará en el sistema.

4.1.2. Descripción del sistema

El sistema de control de este sistema funciona en base a una señal que es enviada por la tarjeta principal de control hacia los controladores de los motores a pasos, esta señal indica la dirección y a la velocidad que deberán girar los motores hasta que la tarjeta principal considere que haya llegado a su punto final. Es decir, no se requiere de una retroalimentación para saber que los ejes de desplazamiento han llegado al punto deseado, la precisión de esta tarea depende únicamente de la configuración de los parámetros de la tarjeta principal de control.

En resumen, la tarjeta principal de control recibe como set point una distancia de desplazamiento, posteriormente la señal de desplazamiento envía una señal de

dirección y los pulsos para los pasos de los motores hacia los controladores de los motores a pasos y finalmente estos controladores generan la secuencia de pasos que hace que los motores giren durante un tiempo determinado y a una velocidad determinada hasta que los ejes se desplacen hasta el punto correcto.

4.1.3. Diagrama de flujo del sistema de control

El diagrama de la Figura 83 se describe el proceso que sigue el sistema de control de posicionamiento.

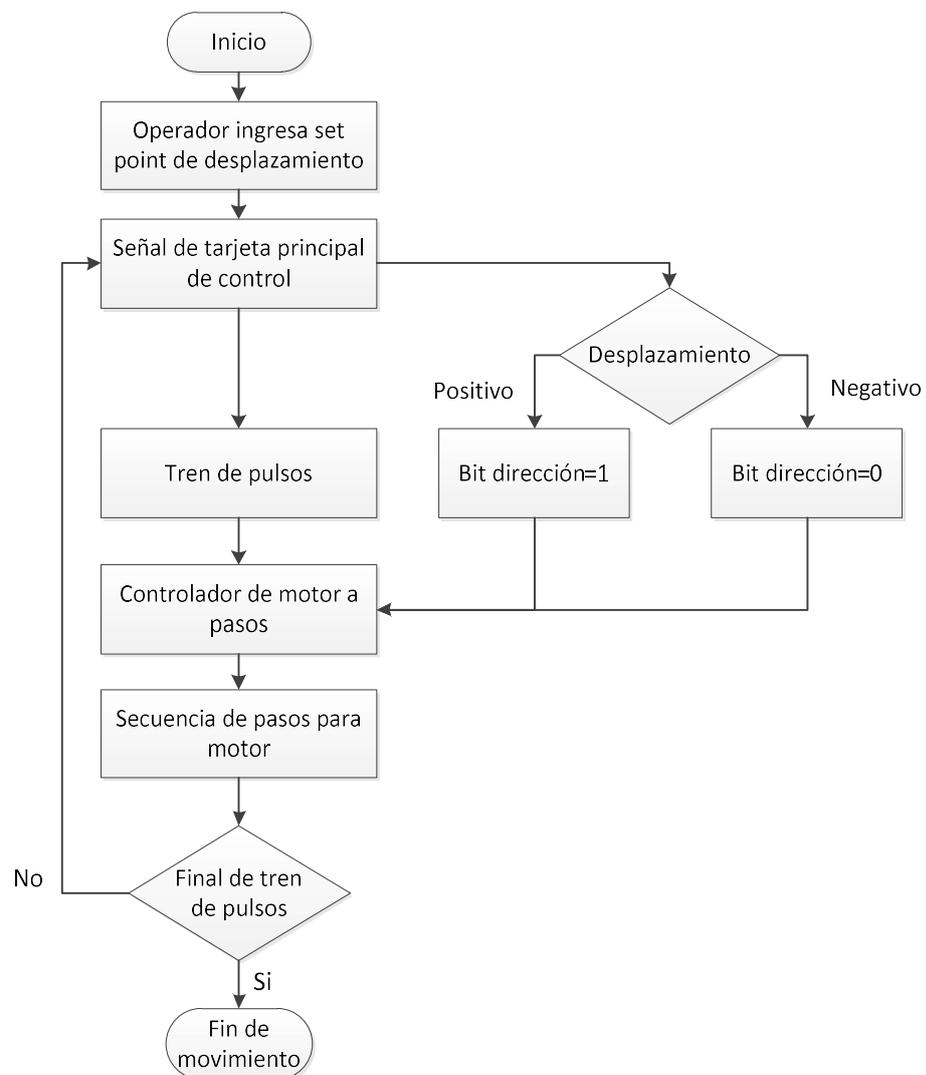


Figura 83. Diagrama de flujo sistema de control de posicionamiento

Primero es necesario que un operador ingrese manualmente o mediante programación la distancia que desea desplazar con un eje y a la velocidad que desea hacerlo. La tarjeta principal de control traduce esta información en datos digitales que son; un tren de pulsos cuya frecuencia define la velocidad a la que se desea girar el motor y un bit que indica la dirección de giro del motor. Con esta información generada por la tarjeta principal de control se envía datos hacia el controlador del motor a pasos y este genera la secuencia de pasos para provocar el movimiento de los motores a pasos. Este controlador funciona mientras exista el tren de pulsos, si esta información se detiene también se detendrán los motores.

4.1.4. Diagrama de bloques del sistema

Este sistema de control es de lazo abierto, como se puede ver en la Figura 84 no existe una señal de retroalimentación, es decir no existe un sensor que permita conocer en qué situación se encuentran los ejes de desplazamiento. En este caso la exactitud de los ejes de desplazamiento depende únicamente de la configuración de la tarjeta principal de control y de su interacción con los drivers de los motores a pasos. Es decir, el controlador de motor a pasos funciona como un amplificador de la señal que envía la tarjeta de control principal, y la señal de control es la secuencia de pasos que hacen que los motores a pasos giren y en consecuencia que los ejes de desplazamiento se muevan hacia adelante o hacia atrás.

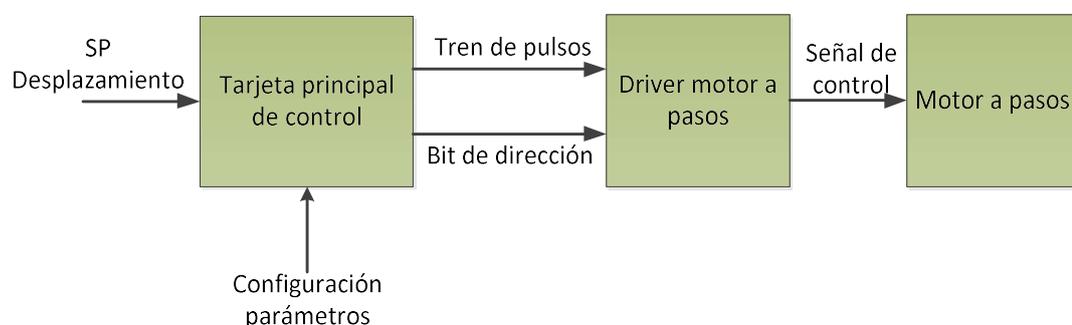


Figura 84 Diagrama de bloques del sistema de control de posicionamiento

4.2. Sistema de control del sistema neumático

4.2.1. Objetivo

Este sistema deberá controlar los actuadores neumáticos que son parte de la punzonadora, los actuadores neumáticos que sirven como mordaza para sujetar las láminas metálicas y el cilindro neumático que perfora las planchas de metal. Ambos actuadores serán controlados por electroválvulas directas que permiten el movimiento de los actuadores neumáticos. Para el caso de la electroválvula de los cilindros que sirven como mordazas se requiere controlar únicamente su activación y desactivación, una situación similar se tiene para el cilindro que perfora las planchas, solo se debe controlar su activación y desactivación, pero en este caso no será necesario que el cilindro recorra toda su carrera, por lo cual será necesario controlar el tiempo que va a estar activo.

4.2.2. Descripción del sistema

De manera similar al sistema de control anterior, este sistema basa su funcionamiento a la tarjeta de control principal. Pero en este caso es necesario controlar la activación y desactivación de electroválvulas, las cuales permiten el funcionamiento de los cilindros neumáticos que son parte de la punzonadora. Para activar las electroválvulas es necesario alimentarlas con 110 V AC, y uno de los cables conductores que las activan están conectados a un relé. La bobina del relé es activada mediante una señal digital de 5V DC que es generada por la tarjeta de control principal, esta conexión se puede observar en la Figura 66 de la sección 3.4.4.

La tarjeta principal de control es la que decide en que momento deben activarse y desactivarse las electroválvulas, no requiere de retroalimentación para saber cómo debe proceder, todo el comportamiento de este elemento es en base al programa que se está ejecutando.

4.2.3. Diagrama de flujo del sistema

Para este sistema se inicia el proceso en código del programa que se está ejecutando, este sistema no puede ser activado manualmente. En el transcurso del programa que se está ejecutando existirá una orden para que entre en funcionamiento el cilindro neumático, mientras tanto no podrá activarse bajo ninguna condición. La tarjeta principal de control enviará una señal de 5 V (nivel alto) para que se polarice el relé que activa la electroválvula del cilindro. Ahora la tarjeta de control en base a la programación define el tiempo que deberá estar activada la electroválvula y una vez que se haya cumplido el tiempo ordenado, el cilindro volverá a su posición inicial. A continuación, en la Figura 85 se puede observar una representación gráfica del funcionamiento lógico del sistema de control del sistema neumático.

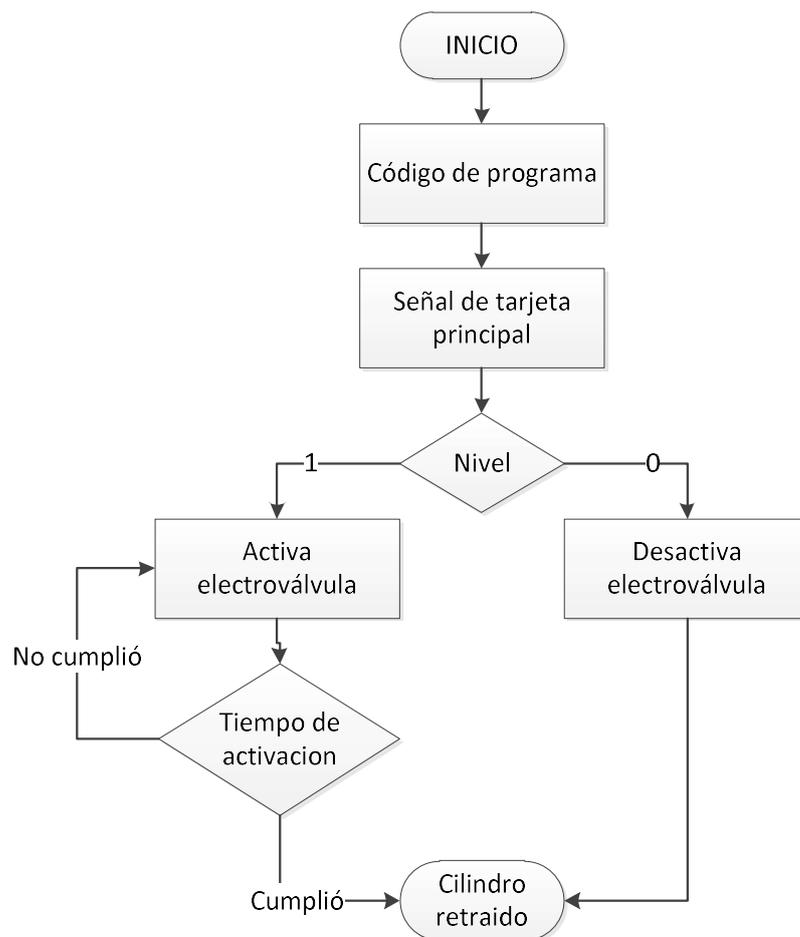


Figura 85. Diagrama de flujo control del sistema neumático

4.2.4. Diagrama de bloques del sistema

El sistema de control es de tipo ON/OFF con lazo abierto, como se puede ver en la Figura 86, no existe retroalimentación hacia la tarjeta principal de control. La tarjeta de control recibe como set-point el tiempo que deben activarse las electroválvulas, en base a esto se genera la señal digital durante el tiempo que ordene la tarjeta, y esta señal es relevada para activar las electroválvulas que controlan el funcionamiento del cilindro que sirven como mordaza y del cilindro que perfora las planchas metálicas.

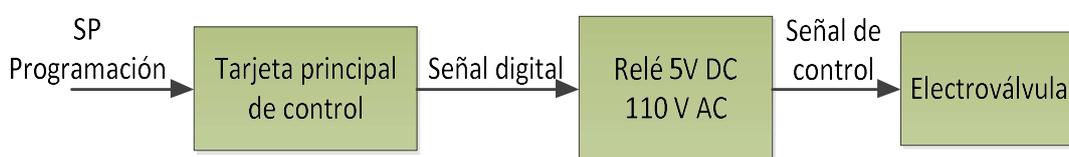


Figura 86. Diagrama de bloques control del sistema neumático

4.3 Sistema del Software de Control Numérico Computarizado (CNC)

4.3.1 Descripción

El control numérico computarizado es un sistema de automatización aplicable a la mayoría de máquinas-herramientas como fresadoras, tornos, taladros, punzonadoras, etc., cuyo objetivo es llevar al máximo nivel de rendimiento y precisión el proceso sobre el cual es ejecutado.

La punzonadora CNC desarrollada en el proyecto es capaz de realizar movimientos que no se pueden realizar fácilmente de forma manual como círculos, líneas diagonales, letras, entre otros, ya que, a diferencia de una punzonadora convencional o manual, una computadora mediante la tarjeta controladora “USB CNC Controller” es la encargada de controlar la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina.

Las órdenes de comandos de códigos numéricos a través del “código G” y código “M” enviados a la punzonadora son desarrollados a través de sistemas de Software CAD-CAM.

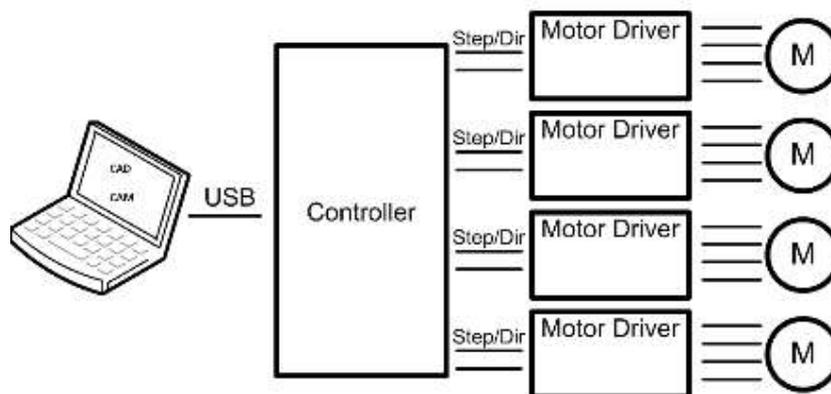


Figura 87. Diagrama de bloques referentes al control de los motores

4.3.2 Proceso CAD-CAM del sistema

4.3.2.1 Sistema de Software CAD

Existen una gran variedad de software CAD aplicables al proceso de punzonado que permiten realizar diferentes diseños de chapas metálicas. El mayor inconveniente de muchos de ellos es que tienen funciones o características predefinidas a fabricantes específicos, por lo que se decidió emplear a AutoCAD (ver Figura 88) como el software CAD de la punzonadora CNC desarrollada. Este software permitirá al usuario realizar mediante un dibujo el modelo de la chapa metálica a fabricar.

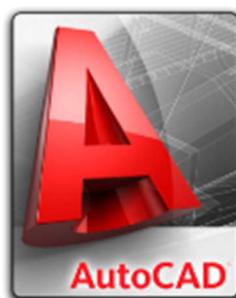


Figura 88. Software CAD usado en el proceso de punzonado

AutoCAD a más de ser el software CAD más usado por arquitectos, ingenieros, diseñadores industriales en el mundo por sus amplias capacidades de edición, posee una interfaz fácil de usar. Dentro de la principal funcionalidad que ofrece este programa es el poder exportar el dibujo desarrollado en formato .dxf que es el archivo requerido posteriormente para poder trabajar con la herramienta CAM.

4.3.2.2 Sistema de Software CAM

El software CAM permite importar los diseños dibujados anteriormente en el programa CAD para posteriormente generar las instrucciones numéricas detalladas conocido como “código G” que sirven para controlar los movimientos de ejes y ejecuciones de herramientas dependiendo del mecanizado que se vaya a ejecutar.

SheetCAM TNG (ver Figura 89) es un software CAM de bajo costo que permite importar dibujos con extensión .dxf para luego mecanizarlos en diferentes procesos como fresadora, plasma, oxicorte y taladrado mediante la generación de código G. Una característica principal de este software además de poder ser configurable por el usuario es que no tiene restricciones a configuraciones de tipos de máquinas de punzonado ya desarrolladas por fabricantes reconocidos mundialmente.

Por estos motivos se decidió usar este programa como software CAM de la punzonadora CNC implementada en el proyecto, la función más similar y adaptable al proceso de punzonado que ofrece SheetCam es el taladrado, por lo que se basó en este proceso cambiando algunas configuraciones en el programa para poder generar un bloque de código numérico que permita ejecutar el proceso de punzonado en la máquina desarrollada.



Figura 89. Software CAM usado para el proceso de punzonado

Después de haber creado el diseño de la chapa metálica en AutoCAD y haberlo guardado con extensión .dxf, se importa el dibujo, posteriormente se define la secuencia de perforación por parte de la punzonadora, y finalmente se genera el código G que estará guardado como un archivo con extensión .tap.

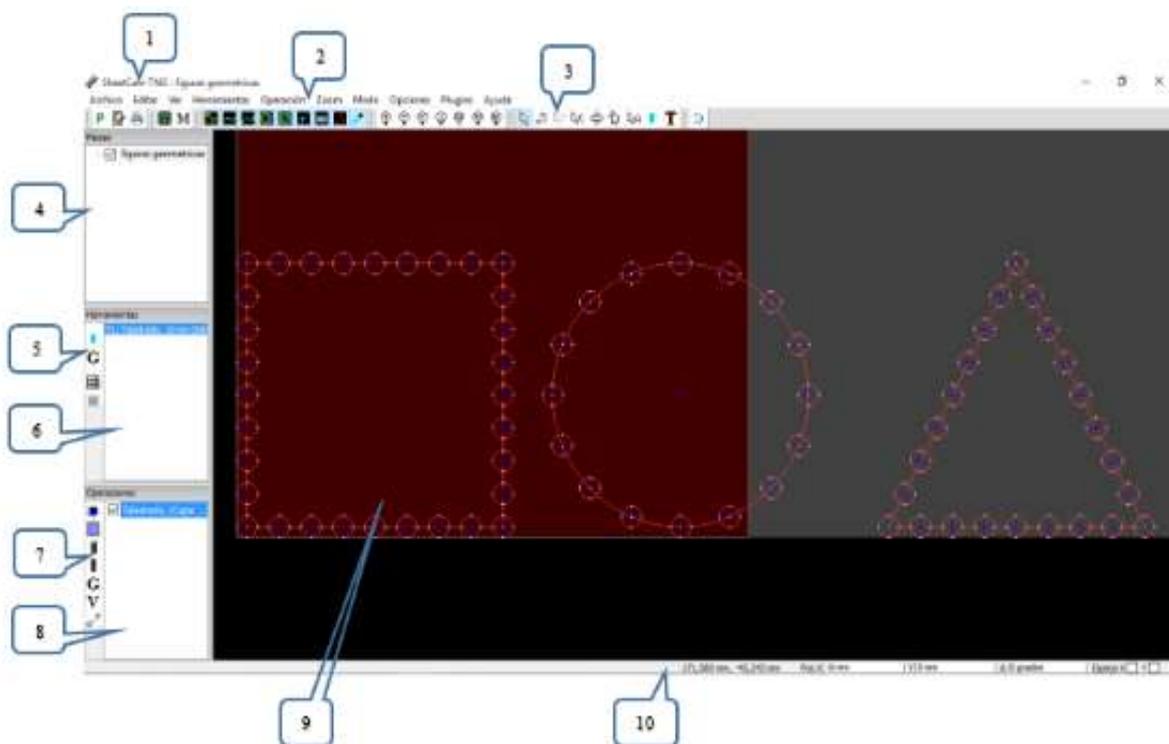


Figura 90. Entorno de la Interfaz Gráfica del software SheetCAM

Tabla 23.

Descripción de Entorno de la Interfaz Gráfica del Software SheetCAM

Nro. de Ítem	Nombre	Descripción
1.	Barra de Título	Esta barra indica el nombre del programa junto al nombre del archivo.
2.	Barra de Menú de Opciones	Esta barra proporciona todas las herramientas de SheetCAM, conformados en grupos con botones desplegables.
3.	Barra de Opciones Básicas	Esta barra contiene los botones más usados, permitiendo acceder a estos comandos de manera directa. Entre los botones más importantes se tiene:

Continúa ⇨

		 Este botón genera el “código G” del mecanizado previamente configurado.
		 Este botón permite indicar la secuencia de mecanizado desde su comienzo hasta el final del proceso.
4.	Cuadro Indicador de Piezas o Trabajos	Esta ventana indica los archivos que se encuentran activos, permitiendo hacerlos visibles u ocultarlos del área de trabajo.
5.	Barra de Comandos de Herramientas para el mecanizado.	Contiene botones relacionados a la creación y configuración de herramientas de mecanizado.
6.	Cuadro Indicador de Herramientas para el mecanizado.	Esta ventana muestra las herramientas activas con sus principales características.
7.	Barra de Comandos de Operaciones de Mecanizado.	Esta barra contiene botones relacionados a las operaciones de mecanizado permitiendo crear y configurar los diferentes procesos de mecanizado.
8.	Cuadro Indicador de Operaciones de mecanizado.	Muestra las operaciones creadas, permitiendo activarlas o desactivarlas.
9.	Área de Trabajo	En esta ventana se muestra el diagrama o dibujo del proceso de mecanizado con su respectiva secuencia de trabajo.
10.	Barra de Coordenadas.	Esta barra además de mostrar la posición del cursor respecto a el área de trabajo permite posicionar el diagrama a un punto específico.

4.3.3 Desarrollo de programación.

El programa de maquinado usado se basa en comandos de código de control numérico, los cuales son interpretados por la tarjeta controladora para realizar el proceso de punzonado en la máquina, estos pueden ser desarrollados de forma manual o generados automáticamente mediante las herramientas CAD-CAM mencionadas anteriormente.

La programación de forma manual consiste en ingresar instrucciones o desarrollar un bloque de instrucciones de código G que permitan movilizar y activar la herramienta de mecanización hacia el punto deseado permitiendo desarrollar el proceso de punzonado, es bastante útil cuando se mecaniza un solo modelo y se requieren movimientos básicos. Por estas razones no es muy aplicable en la industria ya que se requieren grandes volúmenes de producción en un tiempo mínimo.

La elaboración de código de control numérico de forma manual para el proceso de punzonado requiere el conocimiento de las diferentes instrucciones de código G, así como la manera de operación de la máquina, incluso cuando la programación sea de forma automática todo operador debería conocer las instrucciones ya que permite supervisar, controlar y corregir errores antes y durante la mecanización.

4.3.3.1 Instrucciones de códigos de control numérico

Código “G” y Código “M”

El bloque de comandos de control numérico generados para el correcto funcionamiento de la punzonadora consta de código “G” y código “M”, el código G es usado para el posicionamiento de la plancha en punto adecuado donde deberá realizarse el agujero mediante el movimiento de los ejes “X”, “Y” mientras que el código “M” o código Misceláneo, permite activar y desactivar los actuadores mediante las electroválvulas como son los cilindros que permiten sujetar las planchas y el cilindro de punzonado.

La descripción de un bloque de código numérico que permite realizar dos agujeros separados a una distancia de 30 mm, en línea recta horizontal mediante el proceso de punzonado para la máquina implementada se muestra a continuación, en donde se comenta la ejecución línea por línea del bloque de código.

Cabe mencionar que antes de ejecutar el programa se debe sujetar las planchas mediante la activación manual de la salida digital 2 y al finalizar el proceso se debe desactivar la misma salida, la activación y desactivación se la realiza haciendo clic en el botón M8 (O2) (ver Figura 91) que se encuentra en la barra de herramientas de la ventana principal del HMI.



Figura 91. Botón de activación y desactivación de los cilindros de sujeción de la plancha metálica

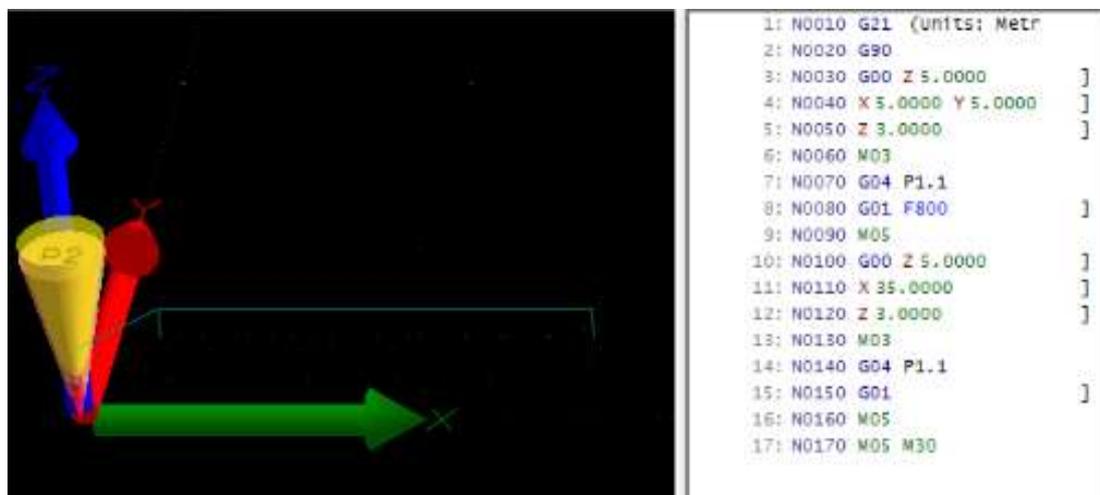


Figura 92. Simulación del punzonado de dos agujeros

Tabla 24.

Descripción del bloque de código que permite el punzonado de dos agujeros

Nro. de Línea	Código Numérico	Descripción
1.	G21 (Units: Metric)	Establece el sistema de unidades a trabajar. En este caso el sistema de unidades métrico.
2.	G90	G90 = Comando de posicionamiento absoluto.
3.	G00 Z5.0000	Eleva el eje "Z" a la posición Z=5mm, que en este caso es referencial para tener un retardo después de que el cilindro realice un agujero.
4.	X5.0000 Y5.0000	Mueve los ejes "X" y "Y" a la posición X=5mm Y=5mm. (Posición del primer agujero). Se recuerda que se realiza la instrucción ejecutada en la línea anterior la cual es G00.
5.	Z3.0000	Baja el eje "Z" a la posición Z=3mm, que servirá de referencia para que mediante la línea 10 proporcione un pequeño retardo para movilizar los ejes después de que el cilindro realice un agujero.
6.	M03	Activa la salida digital Nro1 de la tarjeta de control, es decir energiza la electroválvula que acciona el cilindro de punzonado.
7.	G04 P1.1	G04 = Genera una pausa de 1.1 segundos. El cuál es el tiempo estimado que se demora el cilindro de punzonado en realizar una perforación.

Continúa ⇨

8.	G01 F800	G01 Movimiento de interpolación lineal, F800 indica la velocidad de mecanización a 800.
9.	M05	Desactiva la salida digital Nro1, es decir hace que el vástago del cilindro de perforación se retraiga.
10.	G00 Z5.0000	Eleva el eje "Z" a la posición Z=5mm, que como se mencionó anteriormente sirve para que se produzca un retardo asegurándonos que el vástago del cilindro no se encuentre extendido al momento del desplazamiento de los ejes.
11.	X35.0000	Mueve el eje "X" a la posición X=35mm tomando en cuenta que Y permanece en Y=5mm. Se recuerda que se realiza la instrucción ejecutada en la línea anterior la cual es G00.
12.	Z3.0000	Baja el eje "Z" a la posición Z=3mm, que servirá de referencia producir un pequeño retardo para movilizar los ejes después de que el cilindro realice un agujero.
13.	M03	Activa la salida digital Nro1 de la tarjeta de control, es decir energiza la electroválvula que acciona el cilindro de punzonado.
14.	G04 P1.1	G04 = Genera una pausa de 1.1 segundos. El cuál es el tiempo estimado que se demora el cilindro de punzonado en realizar una perforación.
15.	G01 F800	G01 Movimiento de interpolación lineal, F800 indica la velocidad de mecanización a 800.

16.	M05	Desactiva la salida digital Nro1, es decir hace que el vástago del cilindro de perforación se retraiga.
17.	M05 M30	M05 Asegura que la salida digital Nro1, se encuentre desactivada. M30 Indica finalización del programa y pone el puntero de ejecución en su inicio.

4.3.4 Tarjeta Controladora CNC

La tarjeta controladora CNC USB controller MK1 considerada como el hardware del sistema CNC, es la encargada de recibir el conjunto de comandos numéricos o también llamado código “G” anteriormente generados por el programa SheetCAM, estas señales son recibidas a través de la computadora mediante comunicación serial “USB”, para después enviar las señales de control hacia los drivers de los motores y hacia las electroválvulas que accionan los cilindros usados en la punzonadora.



Figura 93. Logo Sistema CNC USB Controller.

4.3.5 Interfaz Humano – Máquina del Sistema

4.3.5.1 Introducción

La tarjeta controladora “CNC USB Controller MK1” viene incorporada con su respectivo software que permite cargar el código G y enviar las órdenes hacia la tarjeta. Este software tiene la funcionalidad de ser la Interfaz Humano-Máquina del sistema.

El software “CNC USB Controller” está diseñado para explotar al máximo todas las características y configuraciones que permite la tarjeta controladora. Además, permite realizar la simulación para poder verificar los diferentes programas NC que se ejecutarán en la tarjeta.

CNC USB Controller software es compatible con Windows XP, Vista, Windows 7, Windows 8, Windows 8.1 y Windows 10 (32 o 64 bits).

Requerimiento:

Microsoft.NET 3.5 SP1 Framework

4.3.5.2 Entorno de la Interfaz Humano – Máquina del Sistema

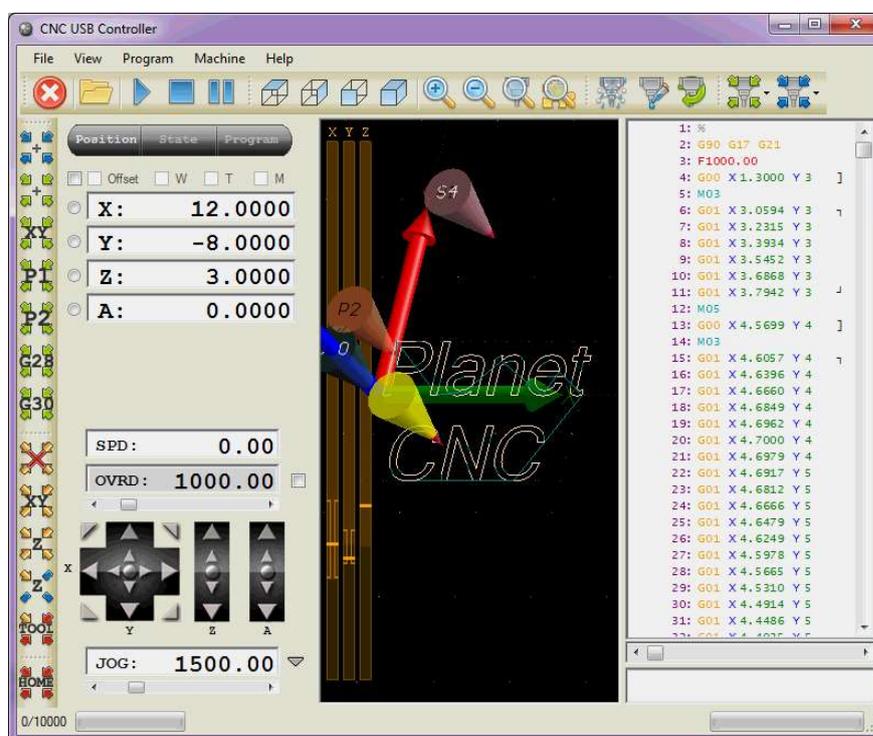


Figura 94. Entorno de la Interfaz Humano-Máquina

Fuente: (Planet CNC, 2016)

La interfaz Humano-Máquina (ver Figura 94) es de fácil uso, muchas funciones son de rápido acceso gracias a botones ubicados en la pantalla principal.

La ventana principal posee de 5 áreas o ventanas específicas.

- a) Panel de Posición, Estado y Programa.
- b) Ventana de simulación gráfica del programa.
- c) Panel del código G.

- d) Panel de entrada de comandos manual (MDI).
- e) Barra de Herramientas y Menús.

a) Panel de Posición

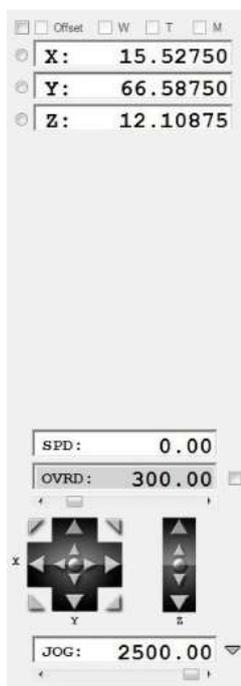


Figura 95. Panel de Posición del Entorno

El panel (ver Figura 95) muestra la posición actualizada de los ejes “X”, “Y” y “Z”, además de permitir activar el offset de cada eje.

Offset:

W – Offset de trabajo

T – Offset de herramienta

M – Matriz de transformación

En el panel además se encuentran los botones de movimiento manual de cada eje. También permite visualizar la velocidad de mecanización (SPD), así como permite configurar la velocidad máxima de trabajo cuando se mueve automáticamente los ejes, al hacer clic en la pestaña derecha (OVRD), y también se configura la velocidad cuando se mueve manualmente los ejes (JOG).

b) Panel de Estado

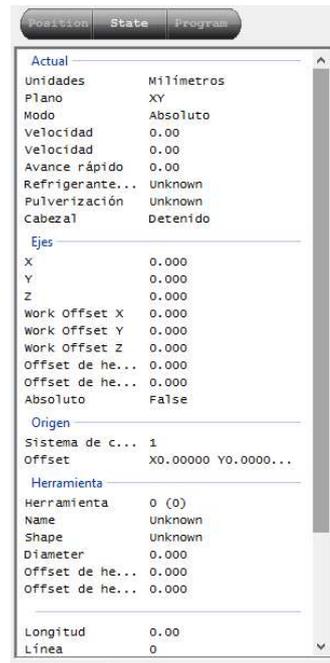


Figura 96. Panel de Estado del Entorno

La Figura 96 muestra la ventana de panel de estado, la cual indica todas las configuraciones principales del software respecto a los ejes, unidades, velocidad, offset, origen, herramienta y código G.

c) Panel de Programa

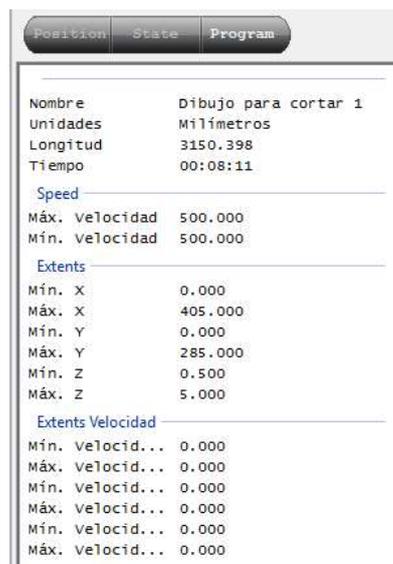


Figura 97. Panel de Programa del Entorno

La Figura 97 muestra el panel de programa, la cual indica todas las características y configuraciones establecidas en el programa cargado de código G como las unidades, tiempo de ejecución, las velocidades máximas y mínimas, las posiciones máximas de todos los ejes.

d) Ventana de Simulación del programa.

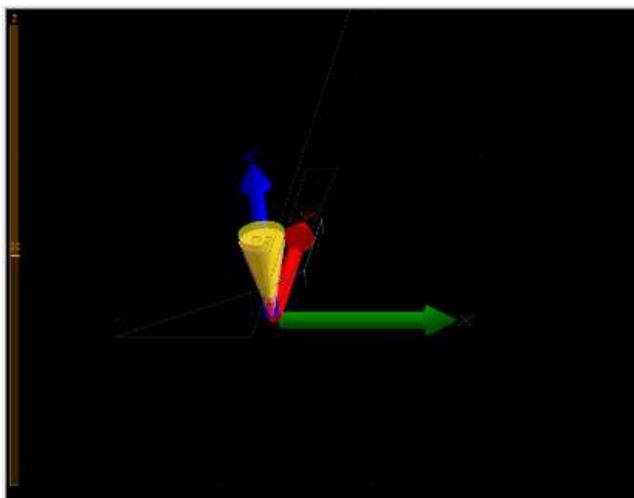


Figura 98. Ventana de Simulación del entorno

La Figura 98 muestra la ventana de simulación la cual permite observar en 3D la simulación de la mecanización del programa mediante el movimiento de la herramienta en el plano XYZ.

e) Panel de Código G

```

1: N0010 G21 (Units: Metric)
2: N0020 G90
3: N0030 G00 Z 5.0000 ]
4: N0040 X 5.0000 Y 5.0000 ]
5: N0050 Z 3.0000 ]
6: N0060 M03
7: N0070 G04 P1.1
8: N0080 G01 F800 ]
9: N0090 M05
10: N0100 G00 Z 5.0000 ]
11: N0110 X 35.0000 ]
12: N0120 Z 3.0000 ]
13: N0130 M03
14: N0140 G04 P1.1
15: N0150 G01 ]
16: N0160 M05
17: N0170 M05 M30

```

Figura 99. Panel de Código G dentro del entorno

El panel de código G (ver Figura 99) permite visualizar todas las líneas del código G descargado en el software y que se cargarán en la tarjeta.

f) Panel de Entrada de comandos manual

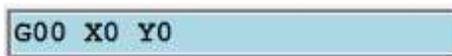


Figura 100. Panel de entradas manual de comandos.

Este panel permite ingresar una línea de comando por medio de código G manualmente para ejecutarse en el sistema.

g) Barra de Herramientas y Menús



Figura 101. Barra de Herramientas Horizontal

Tabla 25.

Descripción de Botones de la Barra de Herramientas del HMI

Dibujo del Botón	Nombre	Descripción
	Emergencia	Para el sistema inmediatamente
	Abertura de Programa	Permite abrir un programa de código G de las diferentes carpetas de la computadora.
	Comienzo de ejecución	Comienza a ejecutar el programa cargado
	Parada de ejecución	Para el programa ejecutado
	Pausa de ejecución	Pausa el programa que se encuentre en ejecución.
	Vista superior	Muestra el programa cargado desde una vista superior.
	Vista lateral	Muestra el programa cargado desde una vista lateral.

Continúa ⇨

	Vista frontal	Muestra el programa cargado desde una vista frontal.
	Vista de perspectiva	Muestra el programa cargado desde una vista perspectiva.
	Acercar	Permite acercar la imagen para observar con mayor detalle.
	Alejar	Permite alejar la imagen para tener un área de visión más grande.
	Centrar en herramienta	Enfoca instantáneamente la herramienta de trabajo.
	Vista Completa	Muestra toda la ventana de trabajo de forma extendida.
	Salida Digital 1	Permite activar o desactivar la salida 1 digital de la tarjeta.
	Salida Digital 2	Permite activar o desactivar la salida 2 digital de la tarjeta.
	Salida Digital 3	Permite activar o desactivar la salida 3 digital de la tarjeta.

Archivo Ver Programa Máquina Ayuda

Figura 102. Barra de Menú

Tabla 26.

Descripción Botones de Barra de Menú de la Interfaz HMI

Nombre	Descripción
Archivo	Tiene las opciones de crear un nuevo proyecto, abrir, cerrar, importar proyectos con extensión y abrir la ventana de configuraciones.
Ver	Permite cambiar a diferentes vistas del proyecto, así como centrar en la herramienta y activar o desactivar visualizaciones de botones en la barra de herramientas.

Continúa ⇨

Programa	Tiene todas las opciones referidas al programa cargado como cambiar la velocidad, editar el código g, saltos de línea entre otros.
Máquina	Ofrece las funciones relacionadas a la máquina CNC como comienzo, parada, parada de emergencia, pause, activación o desactivación de salidas entre otros.
Ayuda	Ofrece diferentes ayudas al usuario como manual de usuario, direccionamiento a la página Web, activaciones de licencia, acerca del producto, etc.

CAPÍTULO V

5. PRUEBAS Y RESULTADOS

5.1. Resultados de Fiabilidad del Prototipo

5.1.1. Precisión y Exactitud de desplazamiento.

Para poder determinar la fiabilidad del prototipo respecto al desplazamiento de sus ejes es necesario calcular la precisión y exactitud de los mismos, para esto se realizó 10 mediciones repetitivas a tres diferentes distancias ingresando la distancia a desplazarse en la interfaz HMI para después medir el desplazamiento realizado con un calibrador. Se realizaron 10 mediciones debido a que un proceso de punzonado sencillo de un agujero requiere por lo menos un desplazamiento, para este caso se realizaron pruebas de perforación con 10 agujeros, por este motivo se estableció un valor de pruebas de 10 desplazamientos. Además, se puede observar que en realidad no existe una variación considerable entre medidas por lo tanto sería inútil realizar más medidas porque no afectarían a los valores finales.

Prueba 1:

Tabla 27.

Valor deseado y medidos para desplazamiento de 100 mm eje X

Valor Deseado [mm]	Valor Medido [mm]
100.00	100.10
	100.12
	99.99
	100.10
	100.12
	100.11
	100.11

Continúa ⇨

100.13
100.09
99.99
100.05

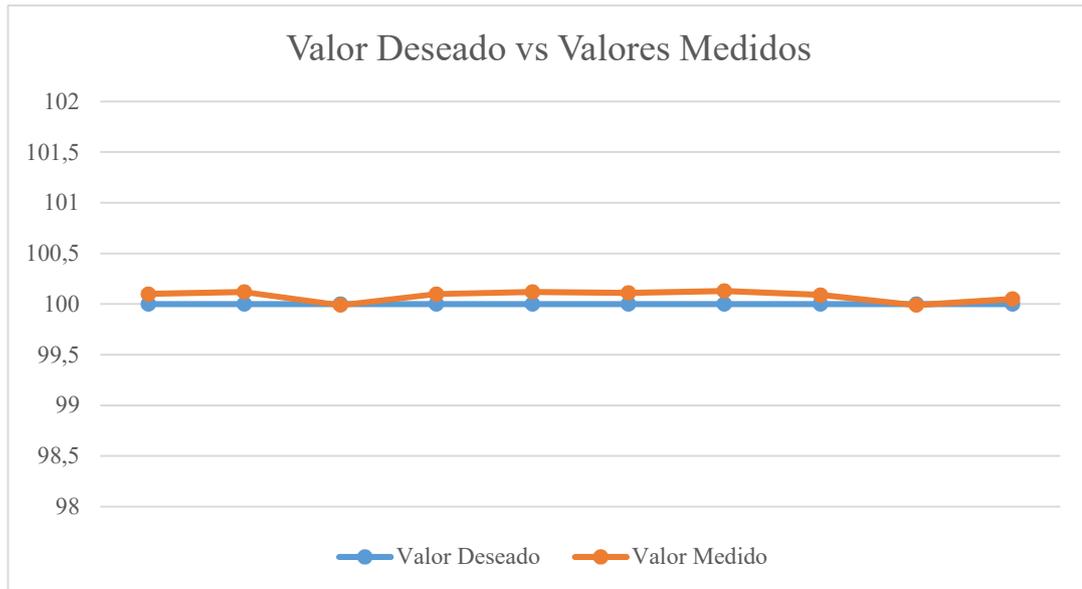


Figura 103. Valores medidos con un set-point de desplazamiento de 100 mm

- **Precisión**

Se calcula la media aritmética de los 10 valores tomados:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i$$

$$\bar{X} = \frac{1}{10} (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10})$$

$$\bar{X} = \frac{1}{10} (100.1 + 100.12 + 99.99 + 100.1 + 100.12 + 100.11 + 100.13 + 100.09 + 99.99 + 100.05)$$

$$\bar{X} = 100.08$$

Se calcula la desviación estándar:

$$6 = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}$$

$$6 = \sqrt{\frac{1}{10-1} \sum_{i=1}^{10} (x_i - 100.08)^2}$$

$$6 = \sqrt{\frac{1}{9} [(100.10 - 100.08)^2 + (100.10 - 100.08)^2 + \dots]}$$

$$6 = 0.05$$

Por lo tanto:

$$\text{Precisión} = \pm 0.05$$

- **Exactitud**

Sabiendo que:

$$\bar{X} = 100.08$$

$$\text{Exactitud} = 100.08 - 100.00$$

$$\text{Exactitud} = 0.08$$

Prueba 2:

Tabla 28.

Datos deseados y medidos para desplazamiento de 150 mm eje X

Valor Deseado	Valor Medido
150.00	149.99
	150.10
	150.08
	150.06
	150.05
	149.98
	149.99
	150.10
	150.09
	149.98

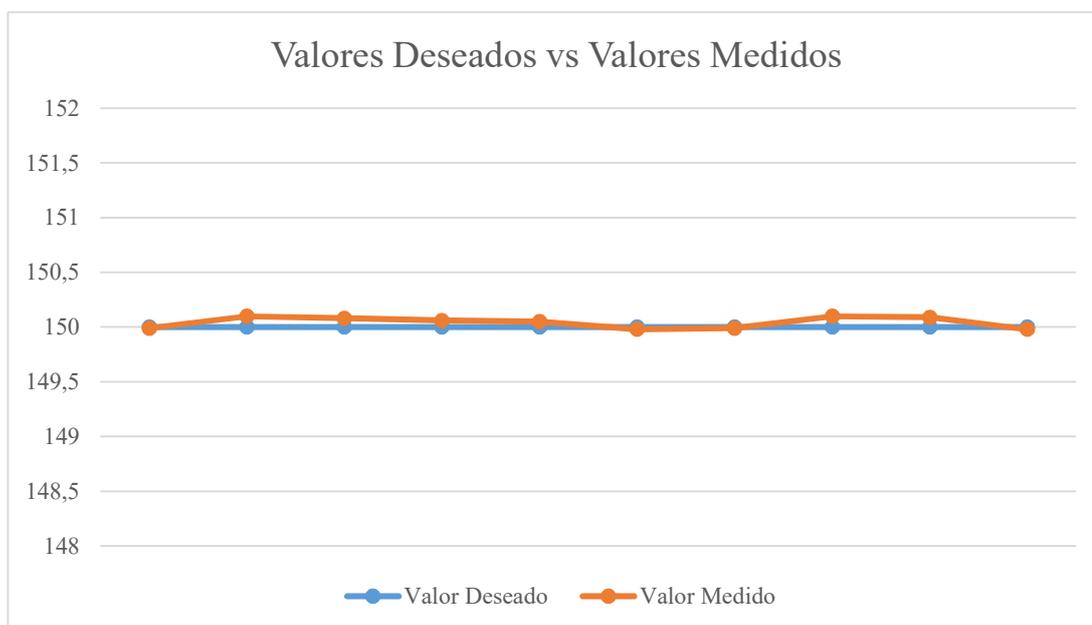


Figura 104. Valores medidos con un set-point de desplazamiento de 150 mm

- **Precisión**

Se calcula la media aritmética de los 10 valores tomados:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i$$

$$\bar{X} = \frac{1}{10} (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10})$$

$$\bar{X} = \frac{1}{10} (149.99 + 150.1 + 150.08 + 150.06 + 150.05 + 149.98 + 149.99 + 150.10 + 150.09 + 149.98)$$

$$\bar{X} = 150.04$$

Se calcula la desviación estándar:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}$$

$$6 = \sqrt{\frac{1}{10-1} \sum_{i=1}^{10} (x_i - 150.04)^2}$$

$$6 = \sqrt{\frac{1}{9} [(149.99 - 150.04)^2 + (150.1 - 150.04)^2 + \dots]}$$

$$6 = 0.05$$

Por lo tanto:

$$\text{Precisión} = \pm 0.05$$

- **Exactitud**

Sabiendo que:

$$\bar{X} = 150.04$$

$$\text{Exactitud} = 150.04 - 150.00$$

$$\text{Exactitud} = 0.04$$

Prueba 3:

Tabla 29.

Datos deseados y medidos para desplazamiento de 500 mm eje X

Valor Deseado	Valor Medido
500.00	500.10
	500.05
	500.11
	499.98
	500.05
	500.10
	500.07
	500.10
	499.97
	500.11

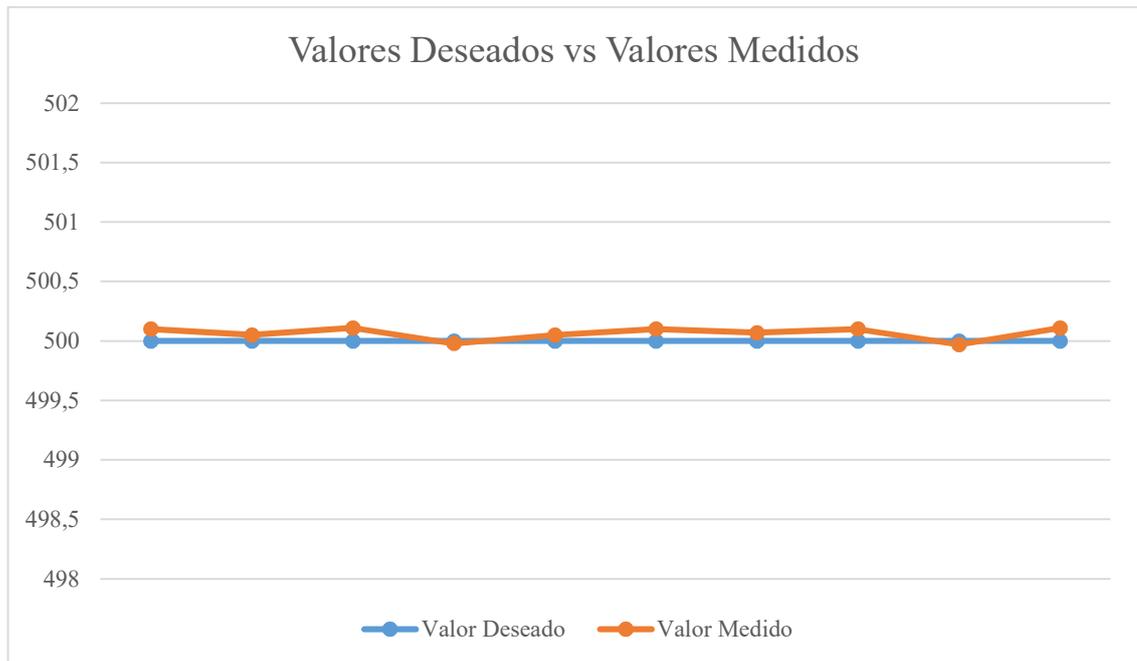


Figura 105. Valores medidos con un set-point de desplazamiento de 500 mm

- **Precisión**

Se calcula la media aritmética de los 10 valores tomados:

$$\bar{X} = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N X_i$$

$$\bar{X} = \frac{1}{10} \sum_{i=1}^{10} X_i$$

$$\bar{X} = \frac{1}{10} (X_1 + X_2 + X_3 + X_4 + X_5 + X_6 + X_7 + X_8 + X_9 + X_{10})$$

$$\bar{X} = \frac{1}{10} (500.1 + 500.05 + 500.11 + 499.98 + 500.05 + 500.1 + 500.07 + 500.1 + 499.97 + 500.11)$$

$$\bar{X} = 500.06$$

Se calcula la desviación estándar:

$$s = \sqrt{\frac{1}{n-1} \sum_{i=1}^n (x_i - \bar{X})^2}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{10-1} \sum_{i=1}^{10} (x_i - 100.08)^2}$$

$$s = \sqrt{\frac{1}{9} [(500.10 - 500.06)^2 + (500.05 - 500.06)^2 + \dots]}$$

$$s = 0.05$$

Por lo tanto:

$$\text{Precisión} = \pm 0.05$$

- **Exactitud**

Sabiendo que:

$$\bar{X} = 500.06$$

$$\text{Exactitud} = 500.06 - 500.00$$

$$\text{Exactitud} = 0.06$$

Finalmente, se calcula la precisión y exactitud final del prototipo respecto al desplazamiento de sus ejes, basados en las tres pruebas realizadas.

Precisión promedio:

$$\text{Precisión final} = \frac{0.05 + 0.05 + 0.05}{3}$$

$$\text{Precisión final} = \pm 0.05$$

Exactitud promedio:

$$\text{Exactitud final} = \frac{0.08 + 0.04 + 0.06}{3}$$

$$\text{Exactitud final} = 0.06$$

5.1.2. Velocidad de desplazamiento.

- **Velocidad máxima**

Tabla 30.

Cálculo de velocidad máxima de desplazamiento

Distancia = 500mm (50cm)			
1300 pulsos/rev			
Nº medida	Tiempo [s]	Velocidad [cm/s]	Promedio [cm/s]
1	27,55	1,815	1,815
2	27,60	1,812	
3	27,48	1,820	
4	27,52	1,817	
5	27,57	1,814	
6	27,70	1,805	
7	27,58	1,813	
8	27,61	1,811	
9	27,38	1,826	
10	27,54	1,816	

Por lo tanto, la velocidad máxima promedio que pueden movilizarse los ejes de desplazamiento de la punzonadora CNC es:

$$\text{Velocidad máx} = 1.815 \left[\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right]$$

- **Velocidad óptima**

Tabla 31.

Cálculo de velocidad óptima de desplazamiento

Distancia = 500mm (50cm)			
800 pulsos/rev			
Nº medida	Tiempo [s]	Velocidad [cm/s]	Promedio [cm/s]
1	39,51	1,266	1,267
2	39,48	1,266	
3	39,61	1,262	
4	39,56	1,264	

Continúa ⇨

5	39,37	1,270
6	39,29	1,273
7	39,32	1,272
8	39,56	1,264
9	39,42	1,268
10	39,38	1,270

Por lo tanto, la velocidad recomendada u óptima a la que pueden movilizarse los ejes de desplazamiento de la punzonadora CNC es:

$$\text{Velocidad óptima} = 1.267 \left[\frac{\text{cm}}{\text{s}} \right]$$

5.2. Comparación Punzonadora CNC y Dispositivos Semejantes

En la actualidad en la empresa ENERGOPETROL se requiere planchas de acero perforadas principalmente para la construcción de tableros eléctricos de acero inoxidable. Se realizan perforaciones para las salidas y entradas del cableado y para los agujeros en los que se ubican los pulsadores, interruptores y luces piloto. Este proceso actualmente se lo realiza mediante la utilización de una cortadora laser y un sacabocados perforador hidráulico. A continuación, en las siguientes secciones se realizan tablas comparativas en la que se describen las principales características que presenta el prototipo de Punzonadora CNC desarrollado en este proyecto y las máquinas que se utilizan en la empresa.

A continuación, en la Figura 106 se puede observar una foto de la cortadora láser CNC con la que cuentan en la empresa y en la Figura 107 también se puede observar todos los componentes que son parte de un sacabocados cortador hidráulico similar al que posee la empresa.



Figura 106. Estructura de la cortadora láser CNC



Figura 107. Sacabocados perforador hidráulico

En el mercado nacional no se puede encontrar a la venta punzonadoras CNC o equipos similares, por este motivo la mayoría de máquinas de este tipo son importadas de países como; Estados Unidos, China, Alemania, Francia, etc. En la empresa ENERGETROL no cuentan con una máquina de este tipo, pero se realizará una comparación entre una punzonadora comercial que se observa en la Figura 108, marca: Metform, modelo: WKC3000, de fabricación China y el prototipo de punzonadora construido en este proyecto.



Figura 108. Punzonadora Metform WKC3000

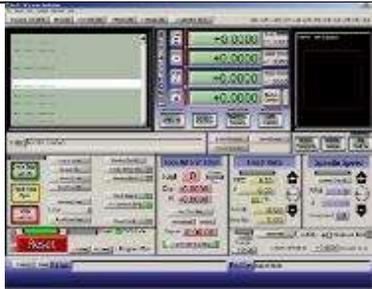
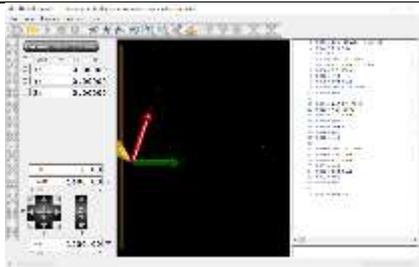
5.2.1. Comparación entre cortadora láser CNC vs Punzonadora CNC

Tabla 32.

Comparación entre cortadora láser CNC vs Punzonadora CNC

Características	Cortadora laser CNC	Punzonadora CNC
Aspectos generales		
Costo de máquina	~ \$75000,00	~ \$6000,00
Área de trabajo	3 m x 2 m	0.5 m x 0.5 m
Espesor máximo de material que puede cortar	6mm	0.5mm
Insumos necesarios para trabajar	<ul style="list-style-type: none"> • Aire comprimido • Oxigeno • Agua para enfriar módulo laser 	<ul style="list-style-type: none"> • Aire comprimido

Continúa ⇨

Elementos que requieren constante mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Módulo laser • Ejes de desplazamiento • Controlador principal • Compresor 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejes de desplazamiento • Compresor
Materiales que puede perforar	<ul style="list-style-type: none"> • Acero • Acero Inoxidable 	<ul style="list-style-type: none"> • Acero • Acero Inoxidable • Aluminio • Tol negro • Cobre • Plástico • Papel
Velocidad máxima de desplazamiento de los ejes	2.2 cm/s	1.8 cm/s
Fijación de la lámina de metal durante su trabajo	No	Si
Conexión con la tarjeta de control	Puerto paralelo o RS232	USB o Ethernet
Manejo del software de control de la máquina	Mayor complejidad en los comandos de la interfaz	Interfaz muy amigable y fácil de entender
Interfaz		
Cargas eléctricas de la máquina	<ul style="list-style-type: none"> • Motores a pasos • Módulo laser 200W-1kW • Electroválvulas para cilindros neumáticos 	<ul style="list-style-type: none"> • Motores a pasos • Electroválvulas para cilindros neumáticos
Prueba: Corte de 10 circunferencias de 1cm de diámetro		
Tiempo de trabajo	1 minuto 5 segundos	47 segundos
Error de desplazamiento	0.1 mm	0.05 mm

Error en el agujero	0.1 mm	0.2 mm
Estado final del material trabajado	Quemadura en el borde de los agujeros	Sin daños visibles
Evidencia del resultado		

5.2.2. Análisis comparativo Cortadora láser CNC vs Punzonadora CNC.

Los datos de la Tabla 32 muestran que el costo del prototipo de punzonadora CNC es mucho menor al de la cortadora láser CNC, esto se debe principalmente al área de trabajo y al espesor del material en el que puede trabajar la cortadora laser es mayor al de la punzonadora. También se puede afirmar que el costo de funcionamiento de la cortadora laser es mayor que el de la punzonadora, ya que la cortadora laser requiere de más insumos para su funcionamiento, tienes una mayor carga eléctrica y además requiere de mantenimiento constante de la mayoría de sus componentes.

El láser debido a sus características propias solo puede trabajar en materiales específicos (acero, acero inoxidable), no puede hacerlo en materiales brillantes, ya que se produce una reflexión de su haz y esto genera que no se pueda aplicar toda su potencia sobre el metal. En cambio, la punzonadora no tiene este inconveniente, es

capaz de trabajar en cualquier tipo de material, ya sean metales u otros como; plástico, cartón o papel

En lo referente al manejo de cada máquina, se puede decir que la interfaz de la punzonadora (CNC USB Controller) comparada con la interfaz de la cortadora láser (Mach3) es mucho más amigable y fácil de manejar. Además, el software Mach3 es mucho más costoso que el software que fue empleado en el prototipo desarrollado en el proyecto. Otro aspecto que depende del software que se utilice, es la comunicación entre la tarjeta de control de cada máquina y la computadora, para la punzonadora se tiene una conexión USB 3.0 y para el caso de la cortadora laser, se lo hace mediante un puerto paralelo. Lo cual le brinda una ventaja a la punzonadora porque es posible trabajar desde cualquier computadora que cuente con el software.

Respecto a la prueba de corte, se puede ver que el tiempo de trabajo de la punzonadora CNC es menor que el de la cortadora láser CNC y también se puede ver que el estado final de las láminas perforadas por la punzonadora es mejor que el de la cortadora láser, no existen daños visibles como quemaduras o roturas. En lo referente a la precisión de desplazamiento, se puede decir que tienen valores similares y esto se lo puede corregir únicamente en base a configuración de cada máquina. Un aspecto desfavorable para la punzonadora es el error en el agujero realizado, esto es debido a errores en el proceso de fabricación del punzón y de la matriz de perforación.

5.2.3. Comparación entre Sacabocados perforador hidráulico vs Punzonadora CNC

Tabla 33.

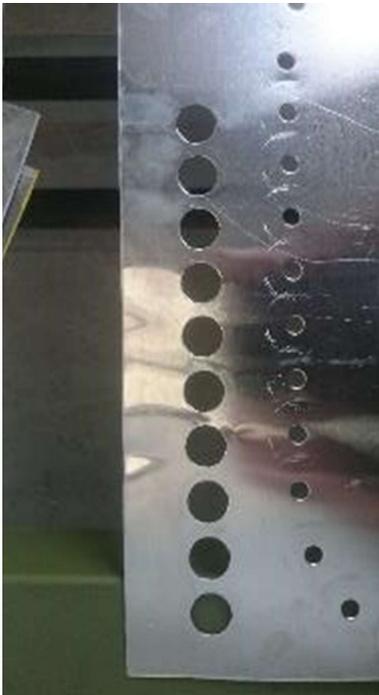
Comparación entre Sacabocados perforador hidráulico vs Punzonadora CNC

Características	Sacabocados perforador hidráulico	Punzonadora CNC
Aspectos generales		
Costo de máquina	~ \$180,00	~ \$6000,00
Área de trabajo	Libre	0.5 m x 0.5 m

Continúa ⇨

Capacidad del cilindro perforador	10 Toneladas	0.3 Toneladas
Espesor máximo de material que puede cortar	3mm	0.5mm
Ubicación de los puntos de perforación	Manual	Automático
Funcionamiento del elemento de perforación	Operador	Sistema CNC
Insumos necesarios para trabajar	<ul style="list-style-type: none"> • Ninguno 	<ul style="list-style-type: none"> • Aire comprimido
Elementos que requieren constante mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Gato hidráulico 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejes de desplazamiento • Compresor
Materiales que puede perforar	<ul style="list-style-type: none"> • Acero • Acero Inoxidable • Aluminio • Tol negro • Cobre 	<ul style="list-style-type: none"> • Acero • Acero Inoxidable • Aluminio • Tol negro • Cobre • Plástico • Papel
Fijación de la lámina de metal durante su trabajo	Si	Si
Necesita perforación de guía	Si	No
Figuras que puede perforar	<ul style="list-style-type: none"> • Círculos 	<p>Dependiendo del punzón y la matriz</p> <ul style="list-style-type: none"> • Círculo • Cuadrados • Triángulos • Rectángulos

Continúa ⇨

Diámetro mínimo del círculo que se desea perforar	22.5 mm	5 mm
Prueba: Corte de 10 circunferencias		
Tiempo de trabajo	7 minutos 31 segundos	47 segundos
Error de desplazamiento	2 mm	0.05 mm
Error en el agujero	0.05 mm	0.2 mm
Evidencia del resultado		

5.2.4. Análisis comparativo Sacabocados perforador hidráulico vs Punzonadora CNC.

Las diferencias entre estas dos máquinas son muy notorias en el funcionamiento, el sacabocados perforador es una máquina que necesariamente debe ser utilizada por un operario que realice manualmente el procedimiento necesario para perforar laminas metálicas. En cambio, la punzonadora CNC no requiere de un operario para realizar

las perforaciones, únicamente necesita de alguien que esté a cargo de la programación y que posteriormente supervise la ejecución del perforado de las planchas metálicas.

En el costo de cada máquina existe mucha diferencia, esto es debido a la diferencia principal que se explicó anteriormente. El costo de funcionamiento del sacabocados perforador es menor al de la punzonadora, ya que no requiere de ningún tipo de insumos. Además, el sacabocados perforador al estar compuesto únicamente por un cilindro hidráulico, no necesita demasiado mantenimiento, a diferencia de la punzonadora que cuenta con elementos más susceptibles a daños y que requieren mantenimiento frecuente.

Para el tipo de trabajo que pueden realizar estas máquinas, se puede observar que la punzonadora lleva ventaja en el tipo de material que puede trabajar y la variedad de figuras que puede perforar. El sacabocados perforador únicamente puede realizar círculos y lo puede hacer desde diámetros superiores a 22.5mm, lo que le resta versatilidad al equipo porque muchas veces es necesario realizar perforaciones de menor diámetro. El sacabocados debido a la alta capacidad de su cilindro, es capaz de perforar planchas de hasta 3mm de espesor de acero inoxidable, para el caso del prototipo de este proyecto existe una limitación considerable en el espesor de las láminas de metal.

Finalmente, se observa que los resultados de la prueba de producción son favorables para el prototipo de punzonadora CNC. El tiempo que se puede demorar un operario en hacer 10 agujeros es de alrededor de 7 minutos, esto es considerablemente mayor al tiempo que le toma a la punzonadora realizar esta misma tarea. Esta diferencia de tiempo se debe principalmente a que el proceso de perforación con el sacabocados, es mucho más largo y complicado que el proceso que realiza el prototipo del proyecto. Además, cuando se perfora con el sacabocados, al no ser un proceso automatizado, puede existir error en la ubicación de cada punto de perforación.

5.2.5. Comparación entre punzonadora CNC comercial y prototipo construido

Tabla 34.

Comparación entre Punzonadora CNC comercial vs prototipo de Punzonadora CNC.

Características	Punzonadora CNC comercial	Punzonadora CNC prototipo
Aspectos generales		
Costo de máquina	~ \$58000,00	~ \$6000,00
Área de trabajo	1.25 m x 2.50 m	0.5 m x 0.5 m
Espesor máximo de material que puede cortar	4mm	0.5mm
Tipo de actuador para perforación	Hidráulico	Neumático
Insumos necesarios para trabajar	<ul style="list-style-type: none"> • Aceite (Sistema hidráulico) 	<ul style="list-style-type: none"> • Aire comprimido
Elementos que requieren constante mantenimiento	<ul style="list-style-type: none"> • Ejes de desplazamiento • Bomba 	<ul style="list-style-type: none"> • Ejes de desplazamiento • Compresor
Materiales que puede perforar	<ul style="list-style-type: none"> • Acero • Acero Inoxidable • Aluminio • Tol negro • Cobre • Plástico • Papel 	<ul style="list-style-type: none"> • Acero • Acero Inoxidable • Aluminio • Tol negro • Cobre • Plástico • Cartón
Velocidad máxima de desplazamiento de los ejes	5 cm/s	1.8 cm/s
Fijación de lámina durante trabajo	Si	Si
Conexión con la tarjeta de control	Puerto paralelo o RS232	USB o Ethernet

5.2.6. Análisis Comparativo entre punzonadora CNC comercial y prototipo construido

Los dos equipos tienen características similares, pero en este caso la punzonadora comercial tiene una mayor área de trabajo, la velocidad de desplazamiento y su capacidad de perforación es mayor. Esto principalmente debido al tamaño de los ejes de desplazamiento y la capacidad del elemento de perforación.

Algo que existe mucha diferencia es en el costo de cada máquina, el costo de la máquina punzonadora comercial es relativamente bajo porque existen equipos de otras marcas que pueden alcanzar al doble del equipo que se mostró en la Figura 108. Cabe recalcar que si se le aumentaría el área de trabajo y la capacidad de perforación el costo de la punzonadora construida en este proyecto podría aumentar en alrededor de \$5000,00 para los ejes de desplazamiento y alrededor de \$3000,00; en total podría aumentar a alrededor de \$14000,00 el costo final de una punzonadora parecida a la que se encuentra en el mercado.

Entonces, se puede observar que el costo de construir una punzonadora en nuestro país es 4 veces menor al costo de una punzonadora adquirida en el exterior. Esto puede hacer muy atractiva la idea de empezar a ensamblar máquinas CNC, para lo cual no es necesario construir todas las piezas en nuestro país, es posible adquirir todas las partes y darle forma en nuestro país. Los demás aspectos técnicos como software o el tipo de controlador se los puede conseguir fácilmente y no es necesario un conocimiento superior para poder programar y configurar estos elementos.

CAPÍTULO VI

6. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

6.1. Conclusiones

- Se logró diseñar un dispositivo de levitación neumática el cual es capaz de crear una película de aire que facilita el desplazamiento de las planchas metálicas que se va a perforar con la punzonadora. Pero, se evidenció que esta no es la mejor opción para el desplazamiento de láminas metálicas dentro de la máquina, porque existen elementos mecánicos que son más útiles y adecuados para este tipo de aplicaciones.
- Se pudo implementar un sistema que es capaz de posicionar eficazmente la laminas metálicas que se van a perforar en la punzonadora. La precisión de los movimientos de la máquina está determinada por los ejes de desplazamiento y la configuración del sistema de control de cada eje. Se obtuvo un error de 0.06mm y una precisión de ± 0.05 mm para cada eje de desplazamiento.
- Se logró diseñar y construir un dispositivo capaz de sujetar firmemente las planchas metálicas mientras son desplazadas en la mesa de trabajo hasta el punto de perforación. A pesar de que existen en el mercado mordazas neumáticas para este tipo de trabajos, debido a su elevado costo se debió optar por un diseño propio el cual redujo a la 10^{ma} parte el costo del mecanismo de sujeción de las planchas metálicas.
- Se concluye que para el manejo de máquinas de tipo CNC existen muchos programas que se adaptan a este tipo de máquinas, por este motivo no fue necesario diseñar una interfaz, sino únicamente fue necesario la integración de un software que se ajuste a las necesidades de este proyecto. Se observó que el programa CNC USB Controller tiene los comandos y características necesarias y además es una interfaz muy amigable para cualquier operador de la punzonadora CNC.

- Se concluye que el control numérico computarizado es la mejor opción para la implementación de máquinas de mecanizado. Mediante este prototipo de punzonadora CNC se logró perforar en los puntos precisos que han sido ubicados en el dibujo o diseño inicial que se ha desarrollado en el software AutoCAD.
- Se pudo realizar pruebas de campo que permitieron demostrar que el prototipo de punzonadora CNC permite optimizar el proceso de perforación de planchas metálicas. Comparando con las otras técnicas de perforación que se emplean en la empresa Energypetrol S.A. la punzonadora presenta importantes ventajas como; el tiempo de trabajo, el costo, la versatilidad y la precisión.
- Se verificó la funcionalidad de la punzonadora CNC, mediante pruebas descritas en el capítulo 5, en las que se pudo observar que el resultado final era lo que se había diseñado inicialmente. Pero es evidente que el área de trabajo del prototipo es muy reducida debido al corto recorrido de los ejes de desplazamiento con que se contó para este proyecto
- Se concluye que, durante el desarrollo de este proyecto, en el área que existen mayores complicaciones, es en el diseño y construcción de partes mecánicas que fueron necesarias utilizar en el prototipo. Pero se logró diseñar y construir partes como el punzón y la matriz o la mordaza neumática, que cumplen aceptablemente con el proceso de perforación de las planchas metálicas.

6.2. Recomendaciones

- Antes de comenzar el proceso de punzonado por parte del prototipo implementado se recomienda verificar que la matriz se encuentre perfectamente alineada con el punzón del cilindro neumático encargado de la perforación, ya que si no fuera así podría ocasionar graves daños a la plancha metálica como a la mesa de desplazamiento de la máquina.
- Es muy importante realizar los cálculos de fuerza necesaria de punzonado dependientes del tamaño y forma del agujero, así como del espesor y

material de la lámina metálica a perforar para poder escoger el cilindro adecuado basado en su máxima capacidad.

- Se recomienda regular la presión de trabajo a 6 [Bar], tomando en cuenta el margen de seguridad que debe existir respecto a la presión máxima que soporta el cilindro de perforación la cuál es de 7 [Bar].
- Se recomienda realizar una simulación del proceso mediante el software “CNC USB Controller” sin encender el tablero de control para verificar el correcto funcionamiento de la mecanización del diseño de la plancha metálica evitando posibles errores y en consecuencia reduciendo costos.
- Una característica primordial respecto a la estructura de una punzonadora debe ser su robustez, ya que debe soportar toda la fuerza que ejerce el cilindro de perforación en el momento de punzonado.
- Respecto al desplazamiento de las planchas metálicas se recomienda implementar una mesa de desplazamiento mediante el uso de bolas de transferencia ya que, a más de ser una opción económica, es fácil de implementar.
- Es recomendable usar una tarjeta que permita comunicación USB, ya que hoy en día la mayoría de las computadoras tienen salida de puerto USB evitando tener restricciones en el uso de una computadora específica para el manejo de la máquina implementada.
- La calibración de los ejes de desplazamiento del prototipo es un factor importante respecto a la precisión y exactitud de funcionamiento del prototipo.
- Se recomienda capacitar a la persona encargada de manejar la punzonadora respecto a la operación y normas de seguridad de la misma.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Air Casters Machine Handling Equipment. (2016, 01 19). *www.aircasters.com*. Retrieved from <http://www.aircasters.com/air-casters-how-big-are-air-casters.html>
- Alibaba. (2016, 02 16). *www.alibaba.com*. Retrieved from <http://spanish.alibaba.com/product-gs/airtac-sc-standard-double-acting-pneumatic-cylinder-60104471994.html>
- Apex Dynamics Inc. (2013, 07 22). *Izaro Manufacturing Company*. Retrieved from Torreta de disco de cambio de herramienta de Apex: <http://www.izaro.com/contenidos/ver.php?id=es&se=5&su=52&co=1374226138>
- Automation Technology INC. (2016, 01 20). <http://www.automationtechnologiesinc.com/>. Retrieved from <http://www.automationtechnologiesinc.com/docs/manuals/KL-600-48.pdf>
- Automation Technology INC. (2016, 01 20). <http://www.automationtechnologiesinc.com/>. Retrieved from <http://www.automationtechnologiesinc.com/docs/manuals/KL-9082.pdf>
- Berkomat. (2015, 10 20). *Interempresas*. Retrieved from <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/Producto-Husillos-motorizados-GMN-Paul-Muller-92483.html>
- Del Castillo, I. F. (2008, 08). *Universidad Nacional Autonoma de Mexico*. Retrieved from Departamento de Ingenieria UNAM: http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m4/master_cam.pdf
- Escalona, I. I. (2016, 01 05). http://www.virtual.unal.edu.co/cursos/ingenieria/mecatronica/docs_curso/Anexos/TUTORIALcnc/DOCUMENTOS/TEORIA/CAD-CAM%20INTRODUCCION%20UPIISA.pdf. Retrieved 2016, from <http://www.virtual.unal.edu.co/>
- Esteban, D. A. (2013, 05 24). *Mecánica Industrial*. Retrieved from Salesiano CESCAL: <https://mecanicacescal.wordpress.com/2013/05/24/acoplamientos-para-herramientas-el-mandril-o-portabrocas/>
- Fernandez, A. (2016, 01 17). *International Sporting Event Consultant*. Retrieved from <http://www.fernandezantonio.com.ar/documentos%5c011.pdf>

- Fuentes de alimentacion. (2016, 01 16). *Tipos de fuentes de alimentacion*. Retrieved from <https://www.google.com.ec/imgres?imgurl=http://4.bp.blogspot.com/-wHXOIKMY2xE/TeWoDA5YQFI/AAAAAAAAADM/mhQZcnjZfmg/s640/1.gif&imgrefurl=http://tiposdefuentesdealimentacion.blogspot.com/2011/05/tipos-de-fuentes-de-alimentacion.html&h=172&w=548&tbnid=6sar-FG>
- Futurlec. (2016, 01 20). *www.futurlec.com*. Retrieved from <http://www.futurlec.com/Relays/JQC-3FF-12pr.shtml>
- Hovair Systems. (2016, 01 17). *www.hovair.com*. Retrieved from <http://www.hovair.com/products/air-bearing-caster-modules/round-steel-modules.htm>
- Hovair Systems. (2016, 01 17). *www.hovair.com*. Retrieved from <http://hovair.com/products/air-bearing-kits/air-bearing-kits.htm>
- HSM. (2015, 10 24). *China Quality Suppliers*. Retrieved from <http://spanish.hybridstepper-motors.com/sale-1832240-high-precision-nema-17-linear-stepper-motor-linear-actuator-motor-with-lead-screw-tr8x8-p2.html>
- Interinar Electronics. (2016, 01 20). *www.interinar.com*. Retrieved from http://www.interinar.com/public_docs/PK266-03A.pdf
- Inventable.eu. (2016, 01 14). *www.inventable.eu*. Retrieved from <http://www.inventable.eu/2010/12/24/driver-para-motor-step-con-entradas-fotoacopladas/>
- Jimenez, I. R. (2016, 01 19). *www.materias.fi.uba.ar*. Retrieved from Facultad de Ingenieria de la Universidad de Buenos Aires: <http://materias.fi.uba.ar/7565/U4-control-numerico-por-computadora.pdf>
- JVL Internacional APS. (2016, 01 13). *www.designworldonline.com*. Retrieved from <http://www.designworldonline.com/ac-servo-motor-with-built-in-drivercontroller/>
- Konopinski, B. (2015, 10 20). *The fabricator*. Retrieved from Estrategias de herramental óptimo para punzonar aceros avanzados de alta resistencia (AHSS): <http://www.thefabricator.com/article/Array/estrategias-de-herramental-ptimo-para-punzonar-aceros-avanzados-de-alta-resistencia-ahss->
- LEVITON. (2016, 04 21). *51000 Series Surge Protective Device Product Bulletin*. Retrieved from <file:///C:/Users/Carlos%20Ruiz/Downloads/51000%20Series%20Surge%20Protective%20Device%20Product%20Bulletin%20Q-687.pdf>

- Longhai. (2016, 01 17). *www.longhaihoist.com*. Retrieved from <http://www.longhaihoist.com/Products/Air-Casters/2014/0314/Air-Casters.html>
- Macua, E. (2016, 01 15). *Api Elisa Macua*. Retrieved from <http://macua-mate.blogspot.com/2012/03/clase-06032012-proceso-de-mecanizado-el.html>
- Máquinas y herramientas. (2013, 05 03). *De máquinas y herramientas*. Retrieved from <http://www.demaquinasyherramientas.com/mecanizado/fresadoras-cnc> CNC:
- Mateos, C. V. (2015, 10 20). *Interempresas*. Retrieved from Aspectos analíticos y tecnológicos del proceso de punzonado: [http://www.interempresas.net/Medicion/Articulos/1825-Aspectos-analiticos-y-tecnologicos-del-proceso-de-punzonado-de-chapa-\(1-parte\).html](http://www.interempresas.net/Medicion/Articulos/1825-Aspectos-analiticos-y-tecnologicos-del-proceso-de-punzonado-de-chapa-(1-parte).html)
- Mecalux Logismarket. (2016, 01 13). *www.logismarket.com.ar*. Retrieved from <https://www.logismarket.com.ar/cocchiola/maquina-de-electroerosion-de-corte-por-hilo-de-laton/2690986461-1449258950-p.html>
- Mercury. (2015, 10 24). *Tech make electronics*. Retrieved from Motor a pasos: <http://www.techmake.com/00011.html>
- Merlin Gerin. (2015, 01 25). *www.stevenengineering.com*. Retrieved from http://stevenengineering.com/tech_support/pdfs/45mulit960n120n.pdf
- Merlin Gerin. (2016, 01 25). *www.stevenengineering.com*. Retrieved from http://stevenengineering.com/tech_support/pdfs/45mulit960n120n.pdf
- Neumaic. (2015, 12 02). <http://www.neumaic.com/>. Retrieved from <http://www.neumaic.com/files/Cilindros-Neumaticos-y-Actuadores-Rotativos/12%20Cilindros%20Redondos%20en%20Aluminio.pdf>
- Planet CNC. (2016, 01 25). *www.planet-cnc.com*. Retrieved from <http://www.planet-cnc.com/index.php?page=hardware>
- Ramos, D. (2015, 10 24). *Monografias.com*. Retrieved from Panel solar con motor paso a paso: <http://www.monografias.com/trabajos94/panel-solar-motor-paso-paso/panel-solar-motor-paso-paso.shtml>
- Roon, A. V. (2015, 10 24). *Servo Dirver IC*. Retrieved from <http://vs-musics.jimdo.com/2016/01/01/servo-driver-ic/>
- Siemens. (2016, 01 25). *www.plc-trade.com*. Retrieved from <http://plc-trade.com/media/pdf/3RT2024-1AG20-datasheet-en.pdf>
- Taller de Tecnología Universidad Nacional de la Plata. (2016, 01 11). *www.gulmi.com.ar*. Retrieved from <http://www.gulmi.com.ar/iso.pdf>

Taller de Tecnología Universidad Nacional de la Plata. (2016, 01 11). *www.gulmi.com.ar*. Retrieved from <http://www.gulmi.com.ar/iso.pdf>

Universidad Politécnica de Valencia. (2015, 10 24). *Departamento de Ingeniería Electrónica - UPV*. Retrieved from <http://server-die.alc.upv.es/asignaturas/lсед/2002-03/MotoresPasoaPaso/tipos.htm>