



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y
MECÁNICA**

CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

**TRABAJO DE TITULACIÓN, PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO MECATRÓNICO**

**TEMA: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PUNZONADORA CNC
PARA PLANCHAS METÁLICAS EN LA EMPRESA ENERGYPETROL
S.A.**

AUTOR: ALVAREZ NARANJO, ANDRÉS ALBERTO

DIRECTOR: ING. CORTEZ PAZMIÑO, BYRON HERNÁN

SANGOLQUÍ

2019



ESPE

UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

CERTIFICACIÓN

Certifico que el trabajo de titulación, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PUNZONADORA CNC PARA PLANCHAS METÁLICAS EN LA EMPRESA ENERGOPETROL S.A. ", fue realizado por el señor ALVAREZ NARANJO ANDRÉS ALBERTO, el mismo que ha sido revisado en su totalidad, analizado por la herramienta de verificación de similitud de contenido; por lo que cumple con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, razón por la cual me permito acreditar y autorizar para que lo sustente públicamente.

Sangolquí, 24 de julio de 2019

Firma:

Ing. BYRON HERNÁN CORTEZ PAZMIÑO

DIRECTOR

CC: 171447108-1



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

**DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA**

AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD

Yo, ALVAREZ NARANJO ANDRÉS ALBERTO, declaro que el contenido, ideas y criterios del trabajo de titulación: "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PUNZONADORA CNC PARA PLANCHAS METÁLICAS EN LA EMPRESA ENERGOPETROL S.A.", es de mi autoría y responsabilidad, cumpliendo con los requisitos teóricos, científicos, técnicos, metodológicos y legales establecidos por la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE, respetando los derechos intelectuales de terceros y referenciando las citas bibliográficas.

Consecuentemente el contenido de la investigación mencionada es veraz.

Sangolquí, 24 de julio de 2019

Firma:

Alvarez Naranjo

Andrés Alberto

CC: 1804615860



ESPE
UNIVERSIDAD DE LAS FUERZAS ARMADAS
INNOVACIÓN PARA LA EXCELENCIA

DEPARTAMENTO DE CIENCIAS DE LA ENERGÍA Y MECÁNICA
CARRERA DE INGENIERÍA MECATRÓNICA

AUTORIZACIÓN

Yo, ALVAREZ NARANJO ANDRÉS ALBERTO, autorizo a la Universidad de las Fuerzas Armadas ESPE publicar el trabajo de titulación, "DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA PUNZONADORA CNC PARA PLANCHAS METÁLICAS EN LA EMPRESA ENERGOPETROL S.A.", en el Repositorio Institucional, cuyo contenido, ideas y criterios son de mi responsabilidad y autoría.

Sangolquí, 24 de julio de 2019

Firma:

Alvarez Naranjo

Andrés Alberto

CC: 1804615860

DEDICATORIA

Dedico este proyecto a mi abuelita “Mamachavi”, quién me ha brindado su amor y su apoyo incondicional a lo largo de toda su vida y sé que desde el cielo está muy orgullosa de mi.

A mis padres, Patricio y Lorena, por estar a mi lado brindándome su apoyo incondicional, por darme todo lo que he necesitado a lo largo de mi carrera, quienes son mi motor para salir adelante, por inculcarme valores y buenos principios para conseguir todo lo que me proponga.

A mi hermano, Patricio, quien me apoya siempre, teniéndole como un ejemplo de profesional y persona a seguir.

A toda mi familia en general, por brindarme su apoyo en cada paso de mi vida.

AGRADECIMIENTO

Principalmente agradezco a Dios y al Divino Niño por dame la sabiduría y fuerzas necesarias para seguir adelante, para afrontar la vida, los problemas, las tristezas, y sobre todo por bendecirme cada día.

A mi abuelita “Mamachavi”, por apoyarme y darme las fuerzas necesarias, por cada consejo que me diste, por cada lección que me ensañaste, por las llamadas de todos los días dándome apoyo incondicional, por eso y mucho más.

A mi hermano Patricio, por inculcarme con sus conocimientos, por ayudarme en todo lo que necesitaba a lo largo de mi carrera.

A mis tíos y tías, que me han apoyado a lo largo de mi carrera, dándome consejos y su sabiduría.

A mis amigos Andrés, Francisco, Jonathan y Carlos, quienes siempre me han apoyado durante toda mi carrera y me han dado consejos que me han servido en mi vida universitaria y vida personal.

A mi Director de Tesis, Ing. Byron Cortez, por brindarme su apoyo y conocimientos fundamentales para la culminación de este trabajo.

A los docentes Ing. Guerrero, Ing. Naranjo, Ing. Mariño, Ing. Loza, quienes me han ayudado en la realización de este proyecto.

A mis docentes, quienes me han compartido sus conocimientos y han puesto un granito de arena para mi formación profesional.

A la empresa ENERGYPETROL S.A. en especial al Ing. Gustavo Cevallos por brindarme la oportunidad y poner en mis manos la confianza, facilitándome todos los recursos necesarios para desarrollar este gran proyecto.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN	i
AUTORÍA DE RESPONSABILIDAD.....	ii
AUTORIZACIÓN.....	iii
DEDICATORIA.....	iv
AGRADECIMIENTO.....	v
ÍNDICE DE CONTENIDOS	vi
ÍNDICE DE FIGURAS	ix
ÍNDICE DE TABLAS	xii
SIMBOLOGÍA.....	xiii
RESUMEN.....	xv
ABSTRACT	xvi
CAPÍTULO I.....	1
GENERALIDADES.....	1
1.1 Antecedentes	1
1.2 Justificación e Importancia	1
1.3 Alcance	3
1.4 Objetivos	4
1.4.1 Objetivo General.....	4
1.4.2 Objetivos Específicos.....	5
CAPÍTULO II	6
MARCO TEÓRICO.....	6
2.1 Características básicas de la máquina punzonadora	6
2.1.1 Tipos de punzonadoras	6
2.1.2 Partes de una punzonadora.....	7
2.1.3 Punzón y Matriz	9
2.1.3.1 Punzón.....	9
2.1.3.2 Matriz.....	10
2.1.4 Mecánica de Corte del Punzonado.....	11
2.1.5 Tolerancia de corte de la matriz.....	12
2.1.6 Fuerza de Corte	14
2.1.7 Tipos de Sistemas para Punzonar	15
2.1.7.1 Sistema Hidráulico.....	15
2.1.7.2 Sistema Neumático	16
2.1.8 Sistema de accionamiento de avance	18

2.1.8.1	Transmisión por tornillo de bolas recirculantes (Ballscrew)	18
2.1.8.2	Transmisión por piñón y cremallera	19
2.1.8.3	Transmisión por correa de caucho	20
2.1.9	Guías de movimiento	21
2.1.9.1	Guías cuadradas	21
2.1.9.2	Guías lineales tipo Rodillo	22
2.1.9.3	Guías lineales tipo Bola	23
2.2	Resumen	24
CAPÍTULO III		25
DISEÑO MECATRÓNICO		25
3.1	Despliegue de la función de calidad (QFD)	25
3.1.1	Requerimientos de calidad en términos del cliente (Voz del Usuario)	25
3.1.2	Definición de características técnicas (Voz del ingeniero)	26
3.1.3	Resultados	26
3.2	Análisis Funcional	28
3.2.1	Determinación Modular	30
3.2.2	Solución Modular	31
3.2.3	Módulo 1 – Sujeción de planchas metálicas	31
3.2.3.1	Poner la plancha en la mesa de trabajo	31
3.2.3.2	Agarre de plancha	32
3.2.4	Módulo 2 – Sistema de movimiento	33
3.2.4.1	Accionamiento de actuador para movimiento	33
3.2.4.2	Selección del tipo de actuadores	33
3.2.4.3	Transmisión de movimiento	34
3.2.4.4	Selección del tipo de transmisión	35
3.2.4.5	Desplazamiento de plancha	36
3.2.4.6	Selección del tipo de guías de desplazamiento	37
3.2.5	Módulo 3 – Sistema de control	38
3.2.6	Módulo 4 – Sistema de punzonado	38
3.2.6.1	Selección del tipo de sistema de punzonado	39
3.3	Diseño del Sistema	40
3.3.1	Diseño del Sistema de Punzonado	40
3.3.1.3	Diseño de juntas apernadas en la unión de la cabeza del sistema de punzonado con el cuerpo de la estructura	45
3.3.2	Diseño Estructural	48
3.3.2.1	Análisis de deflexión al momento de punzonar	51
3.3.2.2	Análisis del factor de seguridad	54
3.3.2.3	Soldadura de la Estructura	58
3.3.3	Diseño del mecanismo de movimiento	59
3.3.4	Diseño de un sistema para sujeción de planchas metálicas	62
3.4	Diseño del Sistema Eléctrico	66

3.5	Software de Control Mach3 y Tarjeta de control Apollo III	69
3.6	Resumen.....	71
CAPÍTULO IV		72
CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTación.....		72
4.1	Construcción de la estructura de la punzonadora CNC	72
4.2	Implementación del Sistema de Movimiento	74
4.3	Construcción e Implementación del sistema de sujeción de plancha metálicas	76
4.4	Implementación del sistema hidráulico	78
4.5	Implementación del sistema de punzonado	79
4.6	Instalación del panel de control	80
4.7	Instalación del Control.....	81
4.8	Resumen.....	82
CAPÍTULO V		83
PRUEBAS Y RESULTADOS		83
5.1	Especificaciones de la punzonadora CNC	83
5.2	Pruebas de Ensayos No Destructivos.....	84
5.3	Pruebas de precisión	84
5.4	Pruebas de velocidad de punzonado	88
5.5	Pruebas de velocidad de desplazamiento	90
5.6	Pruebas de fuerza de punzonado.....	91
5.7	Resumen.....	92
CAPÍTULO VI.....		93
ANÁLISIS ECONÓMICO		93
6.1	Costos de materiales importados	93
6.2	Costos de materiales locales	94
6.3	Costos de servicios.....	95
6.4	Comparación de costos con máquina comercial.....	95
6.5	Resumen.....	96
CAPÍTULO VII.....		97
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....		97
7.1	Conclusiones	97
7.2	Recomendaciones	98
7.3	Trabajos futuros	98
Bibliografía.....		100

ÍNDICE DE FIGURAS

<i>Figura 1.</i> Máquina dobladora incorporado un sistema de punzonado.	2
<i>Figura 2.</i> Deformación de una placa metálica.....	3
<i>Figura 3.</i> Punzonadora de Torreta.....	6
<i>Figura 4.</i> Punzonadora Monopunzón	7
<i>Figura 5.</i> Partes de una punzonadora CNC	8
<i>Figura 6.</i> Punzón y Matriz.....	9
<i>Figura 7.</i> Punzón	10
<i>Figura 8.</i> Matriz.....	11
<i>Figura 9.</i> Espacios típicos en el punzonado	12
<i>Figura 10.</i> Efectos de espacios inapropiados	12
<i>Figura 11.</i> Tolerancia Ajustada y Excesiva.....	13
<i>Figura 12.</i> Parámetros para cálculo de una superficie de corte.....	15
<i>Figura 13.</i> Alimentación hidráulica.....	16
<i>Figura 14.</i> Funcionamiento de un sistema neumático.....	17
<i>Figura 15.</i> Transmisión por tornillo de bolas recirculantes.....	19
<i>Figura 16.</i> Transmisión por piñón y cremallera	20
<i>Figura 17.</i> Transmisión por correa de caucho	21
<i>Figura 18.</i> Guías cuadradas	22
<i>Figura 19.</i> Guía lineal tipo Rodillo	23
<i>Figura 20.</i> Guía lineal tipo Bola.....	24
<i>Figura 21.</i> Matriz QFD.....	27
<i>Figura 22.</i> Nivel 0: Diagrama Primario.....	29
<i>Figura 23.</i> Nivel 1: Diagrama primario 1	29
<i>Figura 24.</i> Nivel 2: Diagrama primario 2.....	30
<i>Figura 25.</i> Determinación Modular.....	31
<i>Figura 26.</i> Mecanismo de sujeción de planchas metálicas.....	32
<i>Figura 27.</i> Control lazo abierto de la punzonadora	38
<i>Figura 28.</i> Funcionamiento general del Sistema Hidráulico.....	43

Figura 29. Esquema General de la junta apernada (a) Partes; (b) Número pernos	45
Figura 30. Distribución de cargas en la viga hiperestática.....	49
Figura 31. Simulación en Vigas Online	49
Figura 32. Diagrama de Cortantes en software Xvigas.....	50
Figura 33. Diagrama Momento Flector en Xvigas.....	50
Figura 34. Deformación total es soportes de estructura de punzonadora	51
Figura 35. Fuerza aplicada al momento de punzonar	52
Figura 36. Diagrama de deflexión como una viga en voladizo con carga externa	52
Figura 37. Diagrama de cortante y momento flector al momento del punzonado.....	53
Figura 38. Deformación máxima al momento del punzonado.....	54
Figura 39. Esfuerzo de Von Misses en análisis CAE.....	56
Figura 40. Ubicación del Esfuerzo Máximo	57
Figura 41. Factor de seguridad de la estructura de soporte.....	57
Figura 42. Lugar donde se produce mayor esfuerzo en estructura	58
Figura 43. Diseño del mecanismo de movimiento.....	60
Figura 44. Sistema de movimiento.....	62
Figura 45. Pinzas de sujeción de chapas	63
Figura 46. Ubicación del tablero de control de la punzonadora	66
Figura 47. Circuito General del sistema.....	67
Figura 48. Pantalla principal software Mach3	70
Figura 49. Conexión entre Mach3, Apollo3 y servomotores	70
Figura 50. Ubicaciones planchas 1 y 2 pulgadas	72
Figura 51. Ensamble de la estructura de la punzonadora CNC.....	73
Figura 52. Pintura de la estructura de la punzonadora CNC.....	74
Figura 53. Instalación de los servomotores con sus reductores	74
Figura 54. Instalación de piñón y cremallera	75
Figura 55. Instalación de las guías lineales.....	76
Figura 56. Construcción e instalación de las mesas de bolas de desplazamiento	76
Figura 57. Resorte utilizado en las pinzas.....	77
Figura 58. Construcción e instalación de las pinzas de sujeción	77

<i>Figura 59.</i> Actuadores hidráulicos	78
<i>Figura 60.</i> Procedimiento de purgado del sistema	79
<i>Figura 61.</i> Sistema de acople entre cilindro y punzón macho.....	79
<i>Figura 62.</i> Base Principal del sistema de punzonado	80
<i>Figura 63.</i> Instalación del panel de control	81
<i>Figura 64.</i> Instalación de la computadora de control	81
<i>Figura 65.</i> Diagrama de procesos de construcción de la punzonadora	82
<i>Figura 66.</i> Ensayo No Destructivo	84
<i>Figura 67.</i> Pruebas de precisión	85
<i>Figura 68.</i> Análisis estadístico eje “Y”	87
<i>Figura 69.</i> Análisis estadístico eje “X”	88
<i>Figura 70.</i> Prueba de velocidad de punzonado.....	89
<i>Figura 71.</i> Pruebas de fuerza en planchas	91
<i>Figura 72.</i> Punzonadoras CNC comerciales.....	95

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1 <i>Tolerancias de corte para diferentes tipos de materiales y espesores</i>	14
Tabla 2 <i>Parámetros iniciales de la punzonadora CNC</i>	25
Tabla 3 <i>Alternativas para poner la plancha en la mesa de trabajo</i>	32
Tabla 4 <i>Alternativas para tipo de accionamiento de actuador para movimiento</i>	33
Tabla 5 <i>Matriz de Hales para selección del tipo de actuadores</i>	34
Tabla 6 <i>Alternativas para transmisión de movimiento</i>	35
Tabla 7 <i>Matriz de Hales para selección del tipo de transmisión</i>	35
Tabla 8 <i>Alternativas para tipo de desplazamiento de plancha</i>	36
Tabla 9 <i>Matriz de Hales para selección del tipo de guías de desplazamiento</i>	37
Tabla 10 <i>Alternativas para el tipo de sistema de punzonado</i>	39
Tabla 11 <i>Matriz de Hales para selección del tipo de sistema de punzonado</i>	39
Tabla 12 <i>Datos a considerar del sistema de punzonado</i>	41
Tabla 13 <i>Reacciones en Apoyos</i>	49
Tabla 14 <i>Tamaños mínimos de soldadura a filete según la norma AWS D14.1</i>	58
Tabla 15 <i>Características principales del servomotor</i>	59
Tabla 16 <i>Características principales de piñón y cremallera</i>	61
Tabla 17 <i>Características principales de las guías lineales</i>	62
Tabla 18 <i>Elementos del tablero de Control</i>	67
Tabla 19 <i>Especificaciones reales de la punzonadora CNC</i>	83
Tabla 20 <i>Pruebas de precisión</i>	86
Tabla 21 <i>Pruebas de velocidad de punzonado</i>	89
Tabla 22 <i>Pruebas de velocidad de desplazamiento</i>	90
Tabla 23 <i>Pruebas de fuerza de punzonado</i>	91
Tabla 24 <i>Costos de materiales importados</i>	93
Tabla 25 <i>Costos de materiales locales</i>	94

SIMBOLOGÍA

A	Área
l	Línea de corte
s	Espesor de chapa
M	Momento
V	Fuerza cortante
F	Fuerza
I	Inercia
dy	Deflexión máxima
σ_{max}	Esfuerzo normal máximo
σ	Esfuerzo flector
y	Distancia del centro de gravedad hacia el centro
$\sigma_{1,2}$	Esfuerzos principales de Von Misses
n	Factor de seguridad
σ_{perm}	Esfuerzo permisible
$\sigma_{von\ misses}$	Esfuerzo de Von Misses
Sy	Límite de fluencia
τ	Esfuerzo a la tracción
τ_B	Resistencia de corte
v	Velocidad
d	Distancia
t	Tiempo
Q_t	Caudal teórico
Q_r	Caudal real
P	Presión
Pot	Potencia
n_{mec}	Eficiencia mecánica

F_p	Fuerza de punzonado
F_i	Fuerza de precarga
P'	Tensión directa
$\sigma t''$	Esfuerzo de tracción en el perno
T	Torque
E	Módulo de Elasticidad
G	Módulo de rigidez
S_{ut}	Resistencia última a la tensión
S_{sy}	Esfuerzo cortante a la fluencia
C	Índice del resorte
D	Diámetro exterior
d	Diámetro del alambre
K_s	Tasa del resorte
F_i	Fuerza inicial
K	Constante del resorte
N_a	Número de espiras activas
N_t	Número de espiras totales
p	Paso
F_c	Fuerza del cilindro
I	Corriente
V	Voltaje

RESUMEN

El presente documento detalla el diseño, construcción e implementación de una máquina punzonadora CNC para la empresa ENERGOPETROL S.A., con una capacidad para perforar o deformar planchas de acero inoxidable de 3 milímetros de espesor y 6 milímetros de acero normal. Los elementos principales para realizar el punzonado es el punzón y la matriz, en donde el punzón se acopla a un actuador lineal, el cual entra en funcionamiento perforando o deformando lo que se encuentre entre estos dos elementos. La punzonadora CNC permite perforar o deformar las planchas metálicas de acuerdo a un diseño previo realizado en un programa CAD, el cual se transforma a un código G o código numérico mediante cualquier programa de software CAM, después cargar en el software Mach3 y ejecutar el programa mediante la interfaz que posee. La tarjeta de control Apollo III envía señales a los drivers de los servomotores para que éstos empiecen el movimiento, también envía señales a los solenoides para la activación de los cilindros de sujeción de planchas y para el cilindro de punzonado. Con la construcción de la punzonadora CNC se demuestra que es posible construir máquinas de este potencial en nuestro país, las cuales ofrecen ventajas como mayor precisión de trabajo, reducción en tiempos de producción y menor peligro para los operarios.

PALABRAS CLAVE

- **PUNZONADORA**
- **MATRIZ**
- **PUNZÓN**
- **CONTROL**

ABSTRACT

This document details the design, construction and implementation of a CNC hole punching machine; made for the company ENERGOPETROL S.A., with a capacity to perforate or deform stainless steel plates of 3 millimeters thick and 6 millimeters of normal steel. The main elements for the punching process are the bradawl and the mold; the bradawl is coupled to a linear actuator which, after activation, deforms what is between the main elements. The CNC hole punching machine works by following a CAD design previously made, which is then converted into G code or numerical code with help of a CAM program. Finally, it gets loaded in the Mach3 software and then is executed through the interface it has. The Apollo III control card sends signals to the servomotor controllers so that they start the movement, it also sends the signals to the solenoids for the activation of the cylinders of the ironing capacity and the punching cylinder. With the construction of the CNC punching machine it is shown that it is possible to build machines of this potential in our country, the advantages that are offered such as greater precision in the work, reduction in production times and less danger for operators.

KEYWORDS

- **PUNCHING MACHINE**
- **DIE**
- **PUNCH**
- **CONTROL**

CAPÍTULO I

GENERALIDADES

1.1 Antecedentes

ENERGYPETROL S.A. es una compañía Ecuatoriana Fundada en 1998, la empresa procura atender a clientes que necesiten de ingenierías especializadas en las que se requiera soluciones innovadoras, con las más recientes y avanzadas tecnologías. Entre los trabajos que realizan está: separadores bifásicos y trifásicos, unidades de medición de petróleo, manifolds de producción y prueba, skid de aire comprimido, skid de filtración, entre otros.

Entre varios de los procesos que Energypetrol S.A. maneja, se encuentra la producción de tableros y estructuras para diferentes máquinas, en donde para dicho fin utilizan una gran variedad de maquinaria, entre ellas se encuentran máquinas CNC, para diferentes funciones como son: cortes, perforaciones y deformaciones a planchas metálicas.

La empresa ENERGYPETROL S.A. cuenta con máquinas CNC que son desarrolladas por la empresa MachMotion y utiliza el software Mach3 para su funcionamiento. Anteriormente, en la empresa se ha realizado una punzonadora para planchas de pequeños espesores hasta 1 milímetro y solo para chapas de aluminio de pequeñas medidas. Actualmente, la empresa desea diseñar y construir una punzonadora CNC para su implementación y funcionamiento, esta máquina deberá tener un mayor rango de trabajo, que perfore o deforme mayores espesores de chapas metálicas y a materiales con mayor dureza

1.2 Justificación e Importancia

Hoy en día la globalización obliga cada vez más a la industria local y nacional a competir en cuanto a la producción y comercialización de sus productos, para que éstos sean de calidad, por lo que deben buscar alternativas que les permitan enfrentar grandes desafíos y asegurarse de una producción de calidad y en menor tiempo, para satisfacer las expectativas del cliente.

La mayoría de industrias se ve en la necesidad de invertir en tecnología que permita agilizar las operaciones y sobre todo facilitar al personal que realiza un determinado proceso, por lo que, en los últimos años, la industria del país ha optado por la adquisición de tecnología importada, la que en muchos casos excede la capacidad real de producción, generando altos costos en amortizaciones de dichos equipos y por ende pérdidas económicas. Por esta razón se ve la necesidad de innovar sus procesos y la calidad de sus servicios en función de las necesidades requeridas por dicha industria.

La empresa ENERGETROL S.A. tiene una debilidad al no poseer punzonadoras, los trabajadores se ven en la necesidad de adaptarle a una máquina dobladora un sistema de punzonado como se muestra en la Figura 1. Se acomoda la matriz y el punzón a la dobladora y así realizar deformaciones en chapas metálicas que tienen perforaciones previamente hechas en el plasma.



Figura 1. Máquina dobladora incorporado un sistema de punzonado.

Este proceso implementado por la empresa no garantiza una buena deformación en las chapas metálicas, por lo que al tener una punzonadora CNC se realizarían deformaciones y perforaciones en planchas metálicas, como se muestra en la Figura 2:



Figura 2. Deformación de una placa metálica

La empresa ENERGETROL S.A. al tener la necesidad de mejorar las perforaciones en planchas metálicas, tomó la decisión de diseñar y construir una punzonadora CNC. La importancia de este proyecto radica en impulsar mejoras en la matriz productiva, teniendo en cuenta que la punzonadora CNC va a ser fabricada en el Ecuador sin necesidad de buscar alternativas en otros países.

1.3 Alcance

Para el proyecto se busca desarrollar una máquina punzonadora CNC de nivel industrial que sea capaz de punzonar planchas de acero inoxidable, acero y aluminio, con un espesor máximo de 3 milímetros en inoxidable y 6 milímetros en acero normal. Para desarrollar la máquina será necesario trabajar en las etapas que se explican a continuación:

1. En la parte mecánica la máquina estará formada por tres partes principales:

- Estructura de la punzonadora
- Sistema para punzonar
- Sistema de movimiento de la mesa de la máquina

Se realizará el diseño de la estructura de la punzonadora, el cual tiene como función dar el soporte a todos los elementos que conformará la punzonadora; se seleccionará un sistema para punzonar planchas que sea el más adecuado para satisfacer las necesidades de la empresa; se realizará el diseño del sistema de movimiento en los ejes X-Y de la mesa de la punzonadora; por último, se diseñará un mecanismo capaz de sujetar la plancha metálica al momento de ser puesta sobre la mesa de trabajo.

2. Se implementará un sistema eléctrico que permita la activación de los actuadores dentro de la máquina, mismo que cuenta con 3 tipos de actuadores:
 - El sistema que va a sostener la plancha metálica
 - Los motores que permiten el movimiento de los ejes X-Y
 - El sistema de punzonado.
3. Se diseñará e implementará un sistema de control CNC que permita el movimiento de los actuadores a fin de que la placa sea perforada en las coordenadas que el sistema ordene.

1.4 Objetivos

1.4.1 Objetivo General

- Diseñar y construir una punzonadora CNC que permita realizar deformaciones en planchas metálicas, a fin de que la empresa automatice las labores de mecanizado y optimice sus recursos.

1.4.2 Objetivos Específicos

- Definir una estructura y sistema de punzonado, mecanismos de movimiento de la mesa y sujeción de las planchas metálicas para que las perforaciones y deformaciones se realicen con precisión y seguridad.
- Establecer un control automático para que la punzonadora pueda efectuar deformaciones y perforaciones sobre planchas metálicas.
- Entregar una punzonadora CNC que realice deformaciones en planchas metálicas, de manera que la empresa reduzca la intervención del operador y otros recursos.

CAPÍTULO II

MARCO TEÓRICO

En el capítulo se describirá las máquinas punzonadoras, referentes a las características, función que cumplen, finalidad, tipos existentes en el mercado industrial, partes, componentes, procedimientos de punzonado con sus respectivas etapas y qué sistema sería el más adecuado para el trabajo que se realizará.

2.1 Características básicas de la máquina punzonadora

Una punzonadora es una máquina que realiza perforaciones o deformaciones en planchas metálicas de diferentes materiales utilizando un punzón y una matriz, teniendo una buena precisión de medidas, un buen acabado superficial y una gran resistencia al desgaste. (HERRERA, 2013)

2.1.1 Tipos de punzonadoras

Existen dos tipos de punzonadoras:

- Punzonadora de Torreta:

En la Figura 3 se muestra una punzonadora de tipo torreta, posee un doble tambor en donde ingresan los utillajes del punzonado, también tiene un contenedor integrado por: guías, punzón pisador y muelle. (ALTOMAR, 2017)



Figura 3. Punzonadora de Torreta

Fuente: (EUROMAC, 2018)

- Punzonadora Monopunzón:

En la Figura 4 se muestra una punzonadora tipo monopunzón, poseen un almacén de utillaje, cada posición que tiene el almacén cuenta con un cassette, donde va el punzón, el separador, la matriz y un anillo de orientación. (ALTOMAR, 2017)



Figura 4. Punzonadora Monopunzón

Fuente: (DURMA, 2018)

2.1.2 Partes de una punzonadora

En la Figura 5, se muestran los componentes de una punzonadora CNC:



Figura 5. Partes de una punzonadora CNC

Fuente: (ULHI, s.f.)

1. Control Numérico:

Es la parte más importante de una punzonadora CNC, aquí se da las instrucciones necesarias para un cambio de herramienta, para posicionar la plancha metálica, para el agarre de las pinzas, para la activación del sistema de punzonado, etc.

2. Mesa:

Es donde se desliza la plancha metálica, este movimiento puede realizarse mediante sistemas diferentes, por ejemplo, sobre bolas de acero, escobillas, etc.

3. Bastidor:

Es una estructura rígida donde se montan los distintos elementos que va a formar parte de una punzonadora.

4. Cabezal punzonador:

Aquí se apoyará la torreta de punzones en la parte superior y en la parte inferior la torreta matriz. Aquí también va el sistema (mecánico, neumático o hidráulico) para la realización del punzonado.

5. Torrete portapunzones:

Aquí van montadas las herramientas que serán utilizadas dependiendo el tipo de aplicación a realizarse.

6. Carro portagarras:

Es aquella que va a sujetar la chapa, dándole el movimiento en el eje “X” y eje “Y”.

2.1.3 Punzón y Matriz

La Figura 6 muestra el punzón y la matriz que son dos elementos muy indispensables en una máquina punzonadora, porque de estos dos depende la forma y la aplicación que se requiera.

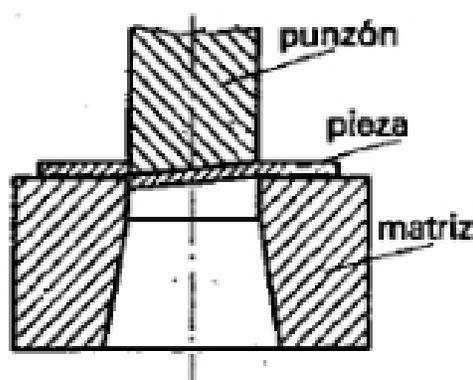


Figura 6. Punzón y Matriz

Fuente: (DEDUCETU, 2014)

2.1.3.1 Punzón

La Figura 7 muestra diferentes tipos de porta punzones y punzones, en donde tiene como función realizar el corte introduciéndose en los huecos de la matriz, para producir el corte o deformación de la plancha metálica. (DEDUCETU, 2014)

Entre algunas consideraciones que se debe tomar en cuenta acerca de los punzones, tenemos:

- Los punzones están hechos de un material de acero de alta resistencia.
- Los punzones deben ir templados y rectificados.
- Los punzones pueden tener varias terminaciones, como son: plana y perpendicular al movimiento del punzón, puede ser oblicua o puede tener otros perfiles según las necesidades del cliente.



Figura 7. Punzón

Fuente: (Mate, 2018)

2.1.3.2 Matriz

La Figura 8 muestra la matriz de una punzonadora CNC, en donde trabaja conjuntamente con el punzón, la matriz está hecha de un material de acero templado, tiene agujeros que corresponden exactamente en tamaño, forma y disposición a los punzones y distribución para la placa portapunzones. (DEDUCETU, 2014)

La matriz tiene las siguientes características:

- La parte superior de la matriz, que es la superficie de corte, está rectificada y totalmente plana.

- La forma de la matriz depende de: dimensiones de la pieza, contorno de la misma y del tipo de punzonadora.

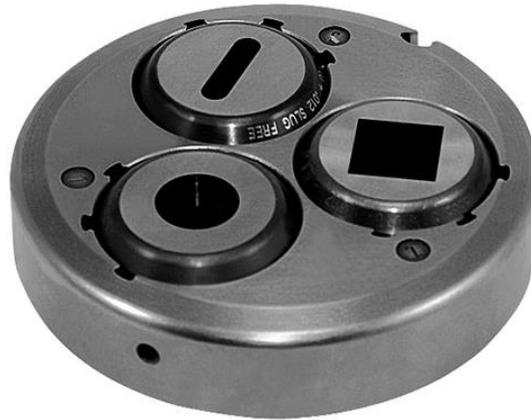


Figura 8. Matriz

Fuente: (Mate, 2018)

2.1.4 Mecánica de Corte del Punzonado

La Figura 9 muestra la mecánica de corte de láminas metálicas, en donde los espacios típicos de punzonado fluctúan entre el 4 y 8% del espesor de la chapa metálica, para esto se siguen los siguientes pasos:

- 1) Antes de que el punzón entre en contacto con el material
- 2) El punzón comienza a oprimir
- 3) El punzón penetra
- 4) Se inicia la fractura entre los bordes de corte opuestos.

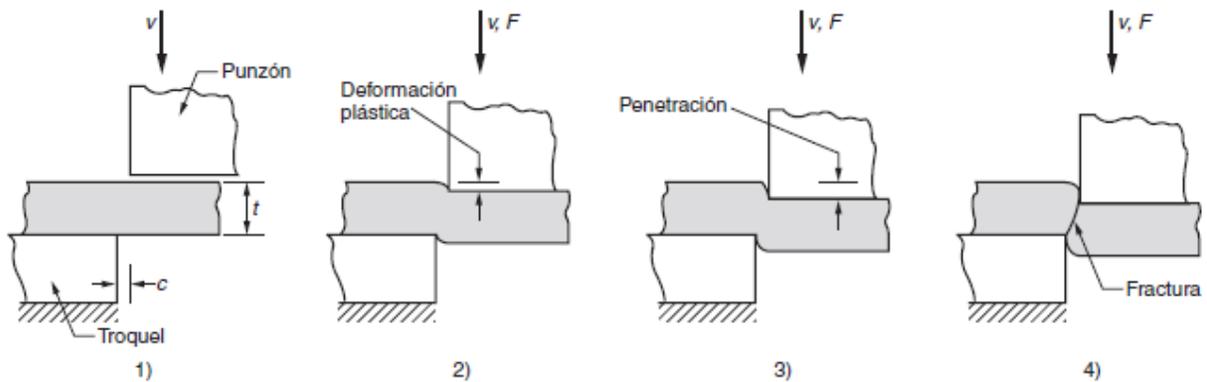


Figura 9. Espacios típicos en el punzonado

Fuente: (Groover, 2007)

En la Figura 10, se muestra el efecto de espacios inapropiados, a) si el espacio es demasiado pequeño, las líneas de fractura pasan una sobre otra causando un bruñido y requiriendo mayor fuerza de punzonado, b) si el espacio es demasiado grande los bordes de corte pellizcan el metal y da una rebaba excesiva.

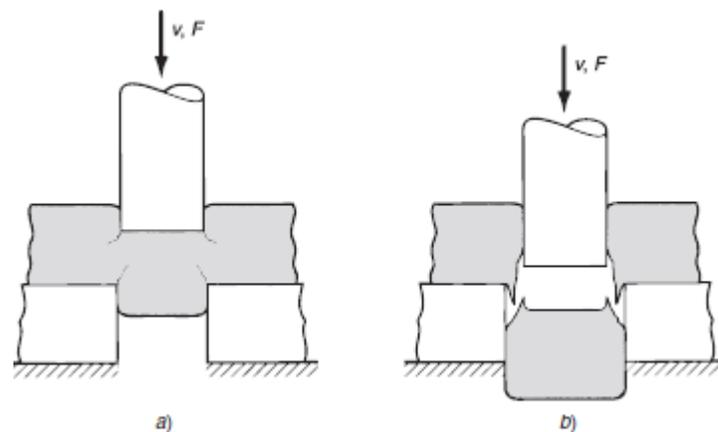


Figura 10. Efectos de espacios inapropiados

Fuente: (Groover, 2007)

2.1.5 Tolerancia de corte de la matriz

La tolerancia de corte de la matriz es cuando el punzón debe tener la misma dimensión que el agujero deseado y la matriz deberá tener una dimensión un poco mayor. La tolerancia que es

adecuada (Figura 11) es donde hace coincidir las fracturas de corte generadas por el punzón y por la matriz. Este proceso ocurrirá cuando las fracturas se encuentren a $1/3$ o $1/2$ del espesor de la plancha metálica. (Molinero, 2017)

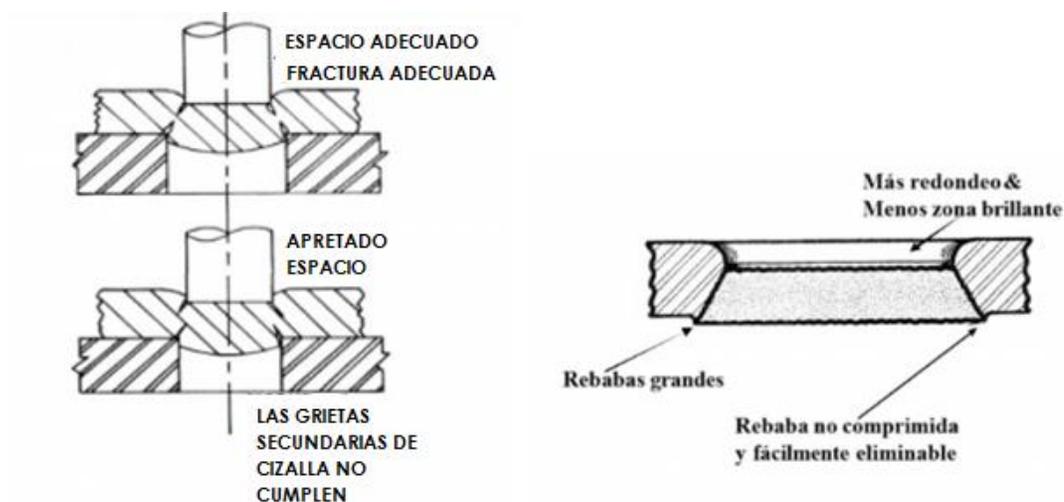


Figura 11. Tolerancia Ajustada y Excesiva

Fuente: (Molinero, 2017)

Por ejemplo, para planchas de un mismo espesor se necesitará una tolerancia de corte mayor para el acero inoxidable que para un acero normal o el aluminio. En cambio, para una plancha de 6 mm de espesor necesitará más tolerancia que una plancha de 1 mm de espesor. Los valores de la tolerancia pueden variar en un rango de 15 a 25% del espesor del material en función del espesor y del tipo de material. Se puede aplicar como regla general las siguientes tolerancias de corte:

- 15% para el aluminio.
- 20% para un acero normal.
- 20-25% para el acero inoxidable.

La Tabla 1 muestra unas tolerancias de corte orientativas para el punzonado de diferentes materiales.

Tabla 1

Tolerancias de corte para diferentes tipos de materiales y espesores

Esesor (mm)	Alum (20-25 kg/mm ²)	Fe (37-45 kg/mm ²)	Inox (60-70 kg/mm ²)
0.6	0.10-0.15	0.12-0.20	0.12-0.20
1.2	0.20-0.25	0.25-0.30	0.25-0.35
2.0	0.30-0.40	0.40-0.50	0.45-0.60
3.0	0.45-0.50	0.60-0.70	0.70-0.80
4.0	0.70-0.80	0.80-1.0	0.90-1.2
5.0	0.9-1.0	1.0-1.2	1.2-1.4
6.0	1.1-1.2	1.2-1.5	1.5-1.8

Fuente: (Molinero, 2017)

2.1.6 Fuerza de Corte

La fuerza de corte F es la fuerza necesaria que se requiere para realizar una perforación o deformación en una chapa metálica, para esto es indispensable saber la resistencia del material τ_B y la superficie de corte A , se calcula mediante la Ecuación 1: (JUTZ, 2004)

$$F = l \times s \times \tau_B \quad (1)$$

La Figura 12 muestra los parámetros que se necesitan para calcular la superficie de corte y estos son:

- Línea de corte
- Espesor de la chapa metálica

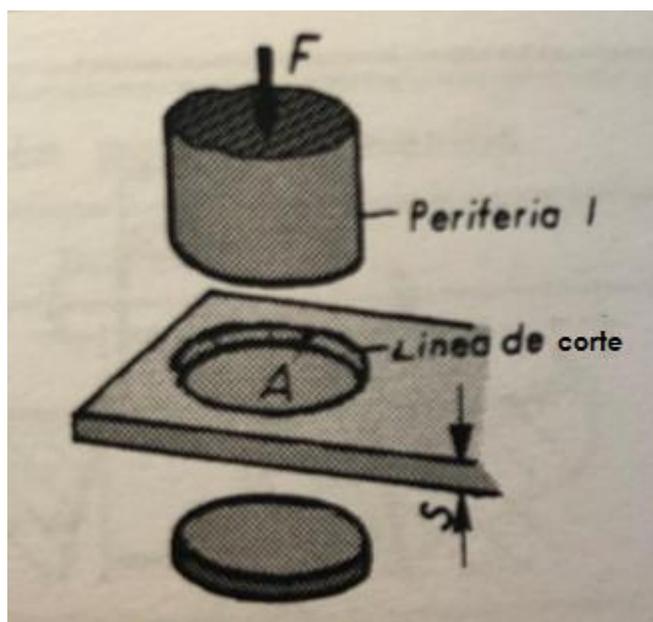


Figura 12. Parámetros para cálculo de una superficie de corte

Fuente: (JUTZ, 2004)

2.1.7 Tipos de Sistemas para Punzonar

Entre los diferentes tipos de sistemas para punzonar encontramos: los sistemas neumáticos y los sistemas hidráulicos que, dependiendo de la aplicación, la fuerza y la velocidad será seleccionado el más adecuado.

2.1.7.1 Sistema Hidráulico

Los sistemas hidráulicos se utilizan en dispositivos de control donde se requiera mucha potencia, pero estos son más costosos que los sistemas neumáticos, puede existir riesgos asociados con fugas de aceite, lo que no existen en una fuga de aire.

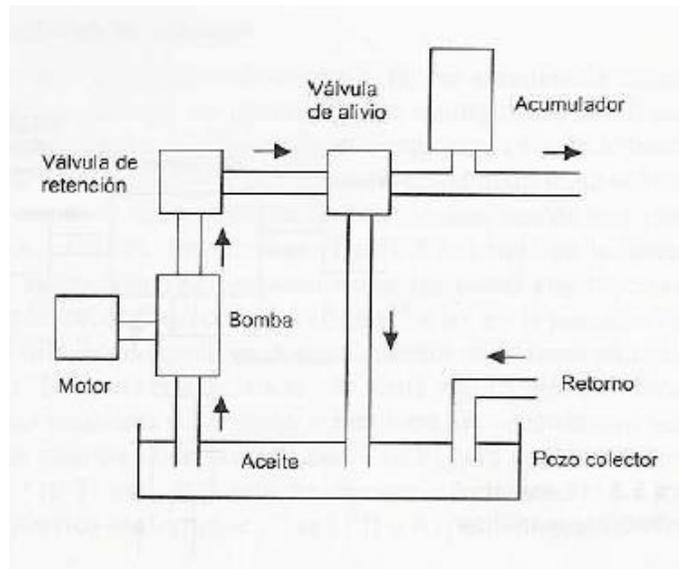


Figura 13. Alimentación hidráulica

Fuente: (BOLTON, 2002)

La Figura 13 muestra, el funcionamiento de un sistema hidráulico, se necesita una presurización de aceite y esto se consigue mediante una bomba hidráulica accionada por un motor eléctrico, después el aceite recorre el camino desde el pozo colector donde se almacena el líquido y pasa a través de una válvula de retención y un acumulador, donde la válvula de alivio es quién libera presión cuando ésta rebasa determinado nivel (es por seguridad de todo el sistema para proteger a los diferentes equipos que se encuentran en él) y por última pasa por una válvula de control para accionar un actuador dependiendo de las aplicaciones que se requiera.

2.1.7.2 Sistema Neumático

El sistema neumático utiliza aire comprimido u otro gas que se obtiene de una fuente y así por medio de unos ductos se produce un trabajo útil, por ejemplo, al momento que necesitamos una fuerza o desplazar objetos. (HERRAMIENTAS, 2014)

Dicho tipo de sistemas son empleados en la industria donde se requiera velocidades altas, por ejemplo, en: plataformas elevadoras, abrir y cerrar puertas o válvulas, embalaje y envasado, taladrado, en robots industriales, etiquetado, prensas, máquinas herramientas, entre otros.

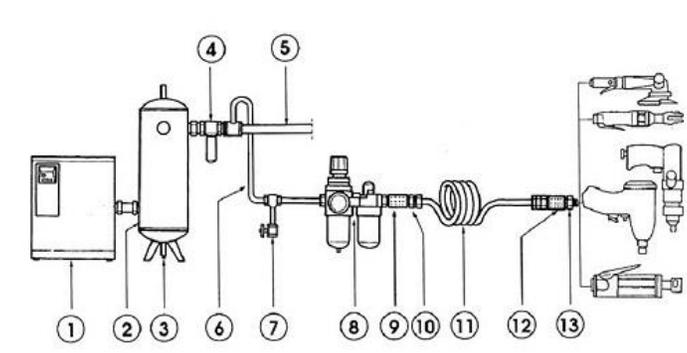


Figura 14. Funcionamiento de un sistema neumático

Fuente: (HERRAMIENTAS, 2014)

En la Figura 14 podemos observar el funcionamiento de un sistema neumático teniendo en cuenta sus respectivos componentes.

1. Compresor
2. Tanque de almacenamiento de aire
3. Drenaje del condensado
4. Filtro principal
5. Tubería principal
6. Línea de suministro
7. Drenaje del condensado
8. Filtro regulador lubricador
9. Acoplador
10. Acoplador
11. Manguera
12. Acoplador
13. Acoplador

2.1.8 Sistema de accionamiento de avance

Existen diferentes tipos de sistemas de accionamiento de avance para el movimiento de una máquina CNC, su diferencia principalmente radica en la precisión y el costo de las mismas. Entre los diferentes sistemas tenemos:

- Transmisión por tornillo de bolas recirculantes (Ballscrew)
- Transmisión por piñón y cremallera
- Transmisión por correa de caucho

2.1.8.1 Transmisión por tornillo de bolas recirculantes (Ballscrew)

La Figura 15 muestra una transmisión por tornillo de bolas recirculantes, este sistema es un componente transmisor de una fuerza mecánica mediante la transformación de un movimiento rotativo a uno lineal. (Castiglione, 2017)

Presenta las siguientes características:

- El rozamiento durante los movimientos es insignificante, por ende, no existe pérdida de potencia por fricción.
- Tiene una marcha suave.
- Este componente es muy liviano y no posee juego.
- Tiene una aceptable velocidad de trabajo.
- Este componente es diseñado para una prolongada vida útil.

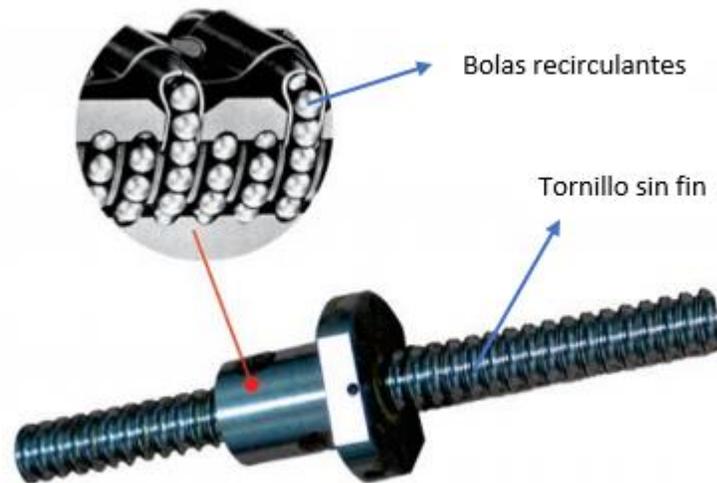


Figura 15. Transmisión por tornillo de bolas recirculantes

Fuente: (Castiglione, 2017)

2.1.8.2 Transmisión por piñón y cremallera

La Figura 16 muestra la transmisión por piñón y cremallera, muestra las siguientes características según (Castiglione, 2017):

- Es ideal para instalar en máquinas de robusta estructura.
- Cuando se tiene largos desplazamientos este sistema ofrece solidez y precisión.
- El piñón y cremallera helicoidal supera en calidad al recto porque posee mayor superficie de apoyo y así se generan movimientos más suaves para reducir las vibraciones.
- La aleación metálica de la cremallera tiene una mayor dureza que la del piñón.
- Si se considera la ecuación costo-precisión-potencia, se coloca al piñón y cremallera en primer lugar porque este sistema permite movilizar con alta velocidad grandes y pesados volúmenes con menos potencia a comparación del sistema a tornillo.



Figura 16. Transmisión por piñón y cremallera

Fuente: (Castiglione, 2017)

2.1.8.3 Transmisión por correa de caucho

La Figura 17 muestra la transmisión por correa de caucho, posee las siguientes características según (Castiglione, 2017):

- Más económico que los sistemas de tornillo y piñón-cremallera.
- Sencillez en su diseño.
- No necesita ser engrasada.
- Rapidez para su acople y desacople.
- Sufren más deterioro que el tornillo o piñón-cremallera, ante el polvo, la luz solar, los lubricantes, la humedad, etc.
- Están limitados para superar temperaturas altas.
- Induce a la fatiga del material y puede ocasionar rotura del eje del motor, por la fuerza que ejerce el continuo tensado de la correa sobre la punta de eje del motor, sumada a las vibraciones cuya influencia es directamente proporcional al largo de la correa.



Figura 17. Transmisión por correa de caucho

Fuente: (Anckaerts, 2018)

2.1.9 Guías de movimiento

Las guías de movimiento, son aquellas que conducen a la mesa de un centro de maquinado por el camino a seguir, existen tres tipos: (FAMASSA, 2018)

- Guías cuadradas
- Guías lineales tipo Rodillo
- Guías lineales tipo Bola

2.1.9.1 Guías cuadradas

La Figura 18 muestra una guía cuadrada, esta tiene un área más amplia a comparación que otras guías por lo que proporciona estabilidad y rigidez, también gran resistencia sobre fuerzas de impacto, carga y vibración, el desplazamiento del carro es más lenta y menos fluida. (FAMASSA, 2018)

Posee las siguientes características:

- Tiene una mayor resistencia a impactos y durabilidad

- Tiene gran rigidez y estabilidad
- Posee menor vibración comparado a otras guías
- Tiene estabilidad de corte
- Ideales para máquinas con carga y piezas pesadas sujetas a mucho esfuerzo



Figura 18. Guías cuadradas

Fuente: (FAMASSA, 2018)

2.1.9.2 Guías lineales tipo Rodillo

La Figura 19 muestra una guía lineal tipo rodillo, este tipo de guía tiene 2 hileras de rodillo permitiendo el desplazamiento de los carros y la distribución de la carga más uniforme. (FAMASSA, 2018)

Posee las siguientes características:

- Posee un costo más elevado a comparación a la guía lineal tipo bola
- Utiliza poco lubricante y requiere menor mantenimiento
- Posee una baja fricción por lo que tiene un mayor tiempo de vida que la de tipo bolas
- Tiene buena precisión con tolerancias menos estrechas
- Son ideales para avances y maquinados con una alta velocidad de corte, para piezas que requieran mayor absorción de vibraciones y mayor estabilidad.

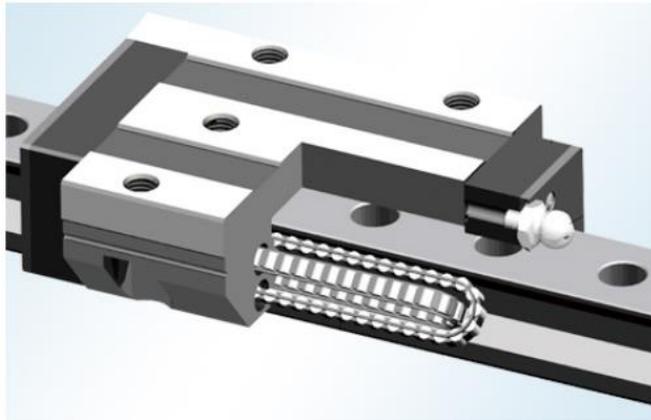


Figura 19. Guía lineal tipo Rodillo

Fuente: (FAMASSA, 2018)

2.1.9.3 Guías lineales tipo Bola

La Figura 20 muestra una guía lineal tipo bola, es uno de los más utilizados gracias a su bajo costo, buena precisión y desplazamiento suave. (FAMASSA, 2018)

Posee las siguientes características:

- El movimiento es suave y preciso
- Es de bajo costo
- Desplazamiento rápido del carro
- Es de fácil mantenimiento y reemplazo
- Son ideales para piezas que requieran mucha precisión y maquinados rápidos a grandes velocidades.



Figura 20. Guía lineal tipo Bola

Fuente: (FAMASSA, 2018)

2.2 Resumen

La punzonadora es una máquina que sirve para realizar perforaciones o deformaciones en planchas metálicas, se utiliza un punzón macho y una hembra para realizar este trabajo. Entre los tipos de punzonadoras que existen son la punzonadoras de torreta y las punzonadoras monopunzón. Debe existir un juego entre el punzón macho y hembra para que exista un punzonado perfecto y así no se dañe ni la plancha metálica, ni el punzón.

Existen diferentes sistemas de punzonado, entre ellos se tiene el sistema hidráulico y el neumático. El primero ejerce una mayor fuerza y el segundo tiene una mayor velocidad; la utilización de estos sistemas depende de la aplicación que se requiera.

Entre los tipos de avance para el movimiento de una punzonadora se tiene el mecanismo de tornillo sin fin ideales para mayor precisión, piñón – cremallera para grandes distancia y transmisión por correa que es la menos utilizada.

CAPÍTULO III

DISEÑO MECATRÓNICO

El capítulo trata sobre el diseño mecatrónico que consta de un análisis de las necesidades de la empresa y mediante el despliegue de la función de calidad (QFD), se determinará las distintas prioridades del diseño. Se realiza un análisis para determinar la solución más óptima de cada función que realiza la punzonadora. También se realizará los cálculos de diseño de la estructura, del sistema de movimiento, sujeción de las planchas metálicas, el sistema de punzonado y el control total de la máquina.

3.1 Despliegue de la función de calidad (QFD)

El despliegue de la función de calidad (QFD) tiene como propósito dar prioridad a las necesidades expresadas de los clientes, traducir esas necesidades en términos de características y especificaciones técnicas y finalmente diseñar, producir y entregar el producto de calidad, centrándose en la satisfacción de los clientes. Para ello se desarrolla los siguientes pasos: (MUSO, 2018)

3.1.1 Requerimientos de calidad en términos del cliente (Voz del Usuario)

La primera etapa de análisis consiste en describir las necesidades y requerimientos del producto a desarrollar, dando un valor de importancia a cada uno de ellos así en una escala de 1 al 5, en donde 1 es la de menor importancia, cada necesidad se indica en la Tabla 2, en cuanto a los requerimientos de la máquina punzonadora CNC.

Tabla 2

Parámetros iniciales de la punzonadora CNC

Número	Enunciado de Necesidad	Importancia
1	La máquina realiza de manera autónoma el punzonado en planchas metálicas	5
2	La máquina puede desplazarse en un área de 4.88 x 2.44 m	4
3	Capacidad de corte del material de hasta 3mm en acero inoxidable, 6mm en acero y aluminio	3

CONTINÚA →

4	El punzonado realizado por la máquina debe tener un error en precisión que no sea superior a 0.1 mm	3
5	La forma de punzonado son circunferencias de hasta 2cm de diámetro	3
6	La máquina tiene una capacidad de punzonado de plancha de 1.22 x 2.44 m	4
7	Los elementos de la máquina deben ser de fácil adquisición para sus repuestos	3

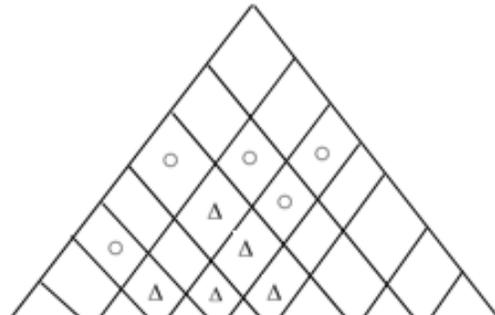
3.1.2 Definición de características técnicas (Voz del ingeniero)

Tomando en cuenta las necesidades de la empresa mencionadas anteriormente y previa a una investigación de las máquinas industriales existentes en el mercado, se nombra algunas características técnicas que la punzonadora debe tener.

- Mesa de trabajo: 4.88 x 2.44 m
- Precisión de corte esperada: 0.1 mm de error
- Velocidad de punzonado: 2.5 cm/s
- Espesores: mínimo de 1 mm y máximo de 6 mm
- Movimiento en X: alta velocidad
- Movimiento en Y: alta velocidad
- Sujeción de la chapa metálica: mediante pinzas

3.1.3 Resultados

La Figura 21 muestra la matriz QFD, teniendo como prioridad del 1 al 7 según el peso que tienen cada una de las características para la empresa ENERGOPETROL S.A.



Dirección de mejora: Maximizar(▲) Minimizar(▼) No aplica(x)		1	2	3	4	5	6	7
Requerimientos Del Cliente	Importancia	Área de trabajo 4.88 x 2.44 m	Espesor de corte	Velocidad de punzonado	Estética	Precisión de la punzonadora	Fuerza de punzonado	Facilidad de manufactura del material
1	La máquina realiza de manera autónoma el punzonado en planchas metálicas	○		●		●		
2	La máquina puede desplazarse en un área de 4.88 x 2.44 m	●		○				○
3	Capacidad de corte del material de hasta 3mm en acero inoxidable, 6mm en acero y aluminio		●	○			●	
4	El punzonado realizado por la máquina debe tener un error en precisión que no sea superior a 0.1 mm		Δ	○		●		
5	La forma de punzonado son circunferencias de hasta 2cm de diámetro		●	○		Δ	●	
6	La máquina tiene una capacidad de punzonado de plancha de 1.22 x 2.44 m	●				Δ		
7	Los elementos de la máquina deben ser de fácil adquisición para sus repuestos				Δ			●
Importancia Técnica Absoluta		87	57	84	3	79	54	39
Importancia Técnica Relativa		21	14	21	1	20	13	10
Prioridad		1	4	2	7	3	5	6

Figura 21. Matriz QFD

Como resultado de la matriz de calidad se ha identificado los parámetros técnicos de mayor importancia y que se deben tomar en cuenta:

- **El área de trabajo de 4.88 x 2.44 m:** Es de mucha importancia puesto que las planchas que se van a punzonar son de 1.22 x 2.44 metros, por ende, el punzonado debe cubrir a toda el área de trabajo de la chapa metálica.
- **La velocidad de punzonado:** Se diseña a una velocidad de punzonado óptima que cubra las necesidades de la empresa y producción que se quiere tener.
- **La precisión de la punzonadora:** Es importante para los distintos trabajos que se requiere realizar, que no puede fallar más de la tolerancia que se impuso.

3.2 Análisis Funcional

En el apartado se realiza un análisis de los niveles teniendo en cuenta las funciones primarias y secundarias solicitadas por la empresa. Se realiza el proceso de punzonado desde la materia prima que se ingresa hasta el producto final.

Nivel 0

La función primaria que se va a realizar es punzonar la plancha metálica y para cumplir con los objetivos se necesita:

- Materia prima: 
- Fuerza o energía 
- Señal de control 

La Figura 22 muestra el diagrama funcional primario de Nivel 0.

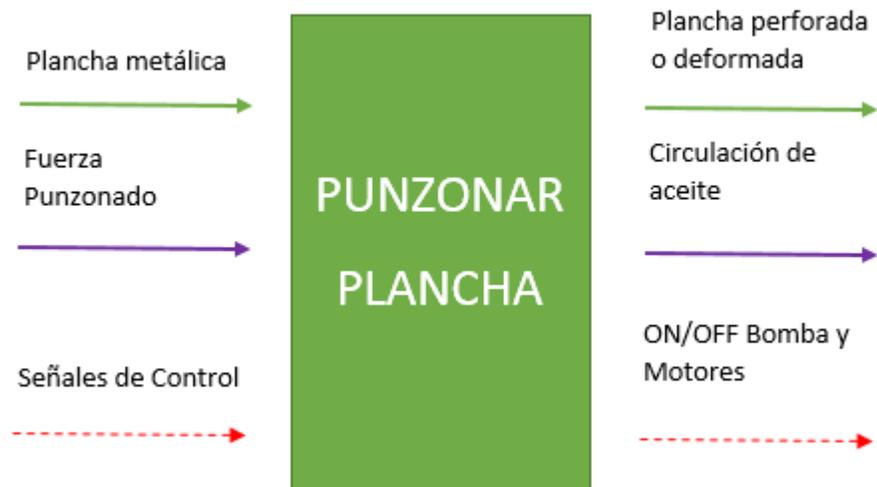


Figura 22. Nivel 0: Diagrama Primario

Nivel 1

El nivel 1 muestra las funciones secundarias de una manera general para la plancha final punzonada. La Figura 23 muestra el Diagrama funcional de Nivel 1, con su proceso.

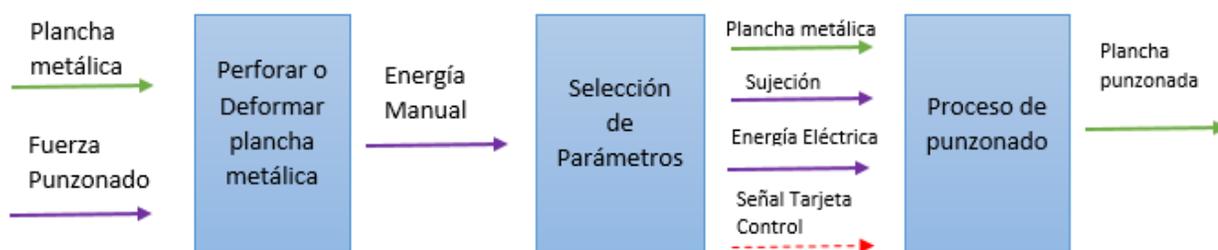


Figura 23. Nivel 1: Diagrama primario 1

Nivel 2

El nivel 2 muestra las funciones secundarias con más detalle, son de gran importancia para que la punzonadora funcione adecuadamente, como se muestra en la Figura 24.

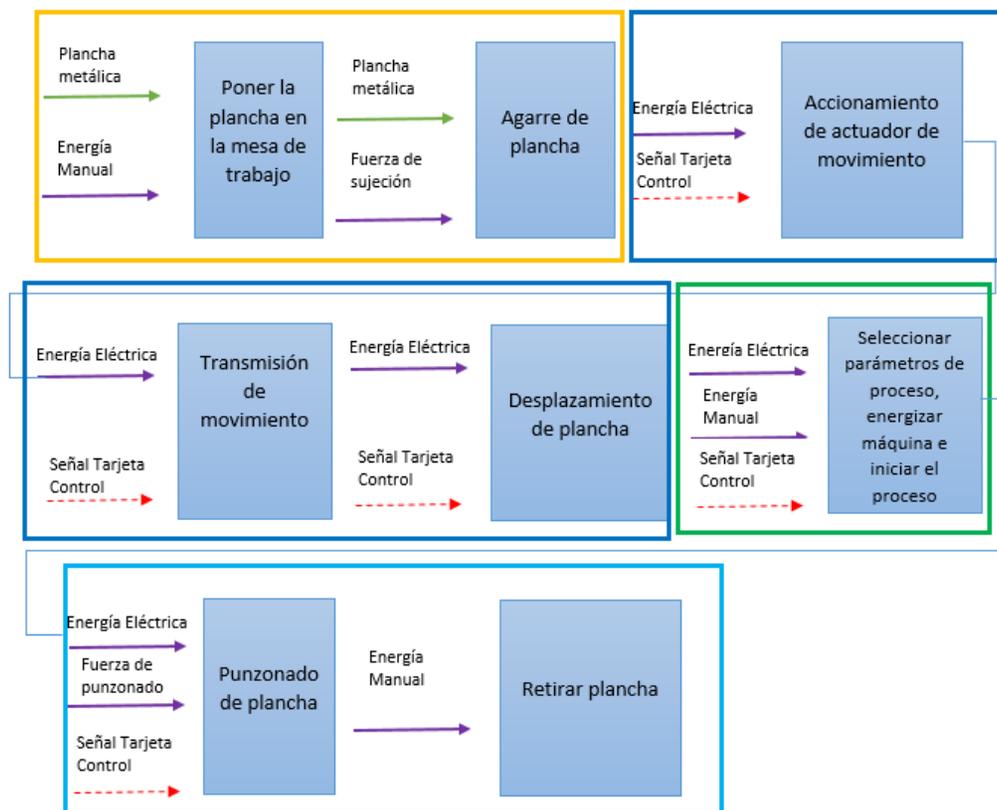


Figura 24. Nivel 2: Diagrama primario 2

3.2.1 Determinación Modular

En esta etapa se divide al sistema en módulos funcionales, para la punzonadora a partir del nivel 2 se tiene 4 módulos, como se muestra en la Figura 25; sirviéndonos este análisis para optimizar recursos.

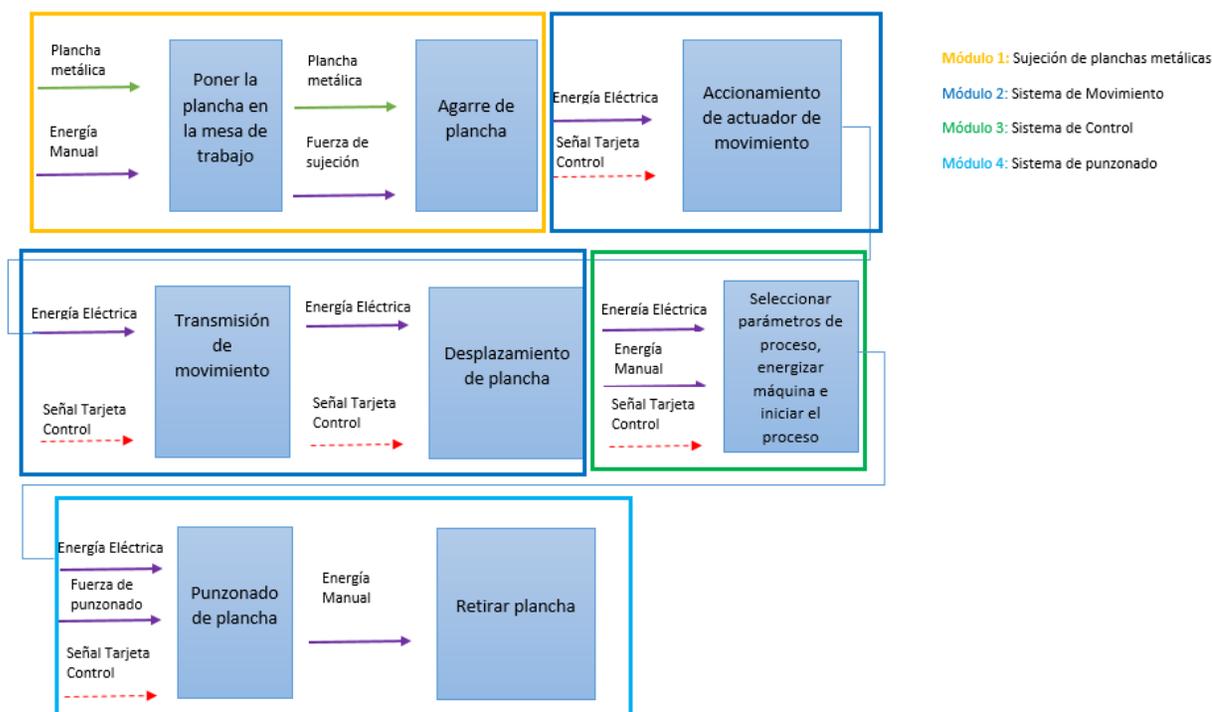


Figura 25. Determinación Modular

3.2.2 Solución Modular

En el apartado se establecen algunas alternativas, con sus ventajas y desventajas, para dar solución a cada módulo que existe.

3.2.3 Módulo 1 – Sujeción de planchas metálicas

Este módulo comprende las siguientes funciones:

- Poner la plancha en la mesa de trabajo.
- Agarre de plancha.

3.2.3.1 Poner la plancha en la mesa de trabajo

Antes de iniciar el proceso de punzonado primeramente se debe colocar la chapa metálica en la mesa de trabajo de la máquina. A continuación, la Tabla 3 muestra dos posibles soluciones:

Tabla 3*Alternativas para poner la plancha en la mesa de trabajo*

Alternativas	Ventajas	Desventajas
1. Manual	<ul style="list-style-type: none"> • Bajo costo • No ocupa espacio 	<ul style="list-style-type: none"> • Requiere de personal (mínimo 4 personas dependiendo peso de la plancha) • Proceso que requiere más tiempo
2. Automática	<ul style="list-style-type: none"> • Proceso mucho más rápido • Más preciso 	<ul style="list-style-type: none"> • Elevado costo • Ocupa mucho espacio

Como es el objetivo principal, diseñar y construir una máquina punzonadora CNC no se ve necesario adquirir o construir un sistema automático de posicionamiento de planchas en la mesa de trabajo. Por lo tanto, se opta por la alternativa 1.

3.2.3.2 Agarre de plancha

Una vez que la plancha se haya colocado en la mesa de trabajo, se necesita algo que le sostenga para que al momento que empiece el movimiento y punzonado la chapa metálica no se mueva. Por lo que el método más frecuente es la utilización de unas pinzas de sujeción. La Figura 26 muestra el mecanismo de sujeción, el cual permitirá sostener a la plancha.

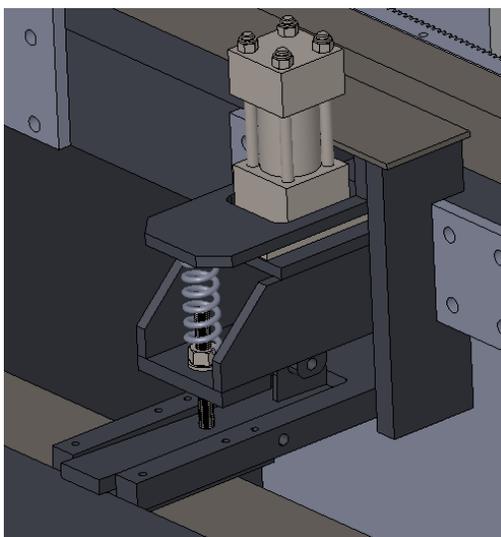


Figura 26. Mecanismo de sujeción de planchas metálicas

3.2.4 Módulo 2 – Sistema de movimiento

El Módulo 2 posee tres funciones:

- Accionamiento de actuador de movimiento.
- Transmisión de movimiento.
- Desplazamiento de plancha.

3.2.4.1 Accionamiento de actuador para movimiento

Para el tipo de actuador para el movimiento de la punzonadora en los ejes “X” y “Y”; se tiene las siguientes alternativas: motor paso a paso y servomotor. En donde en la Tabla 4 muestra dos posibles soluciones, con sus ventajas y desventajas.

Tabla 4

Alternativas para tipo de accionamiento de actuador para movimiento

Alternativas	Ventajas	Desventajas
1. Motor paso a paso	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil de configurar y usar • Par de velocidad baja • Excelente repetibilidad • Motor no puede ser dañado por sobrecarga mecánica 	<ul style="list-style-type: none"> • Baja eficiencia • Baja precisión • Bajo torque • El motor se calienta mucho en configuraciones de alto rendimiento • Baja potencia
2. Servomotor	<ul style="list-style-type: none"> • Para condiciones de trabajo de alta velocidad • Posee mucho torque • No consume mucha energía • Mayor precisión • Potencia proporcional para cargas mecánicas 	<ul style="list-style-type: none"> • Precio más elevado • No se puede operar directamente de la red, se necesita de un drive

3.2.4.2 Selección del tipo de actuadores

Para seleccionar adecuadamente el tipo de actuadores se utilizará la matriz de Hales como muestra la Tabla 5, tomándose en cuenta los siguientes parámetros de torque, precisión, consumo de energía, menor costo y la controlabilidad.

Tabla 5
Matriz de Hales para selección del tipo de actuadores

a) *Porcentaje de importancia de los parámetros que intervienen en el tipo de actuador para el movimiento*

Parámetro						$\Sigma+1$	Porcentaje
	Torque	Precisión	Consumo de energía	Menor Costo	Controlabilidad		
Torque	-	2.5	5	2.5	0	11	21%
Precisión	5	-	2.5	5	2.5	16	30%
Consumo de energía	0	0	-	2.5	0	3.5	7%
Menor Costo	0	0	2.5	-	0	3.5	7%
Controlabilidad	5	2.5	5	5	-	18.5	35%
					Total	52.5	100%

b) *Matriz para selección del tipo de actuador para el movimiento*

Parámetro de selección	Porcentaje de importancia	Motor Paso a Paso		Servomotor	
		Valor	Total	Valor	Total
Torque	21%	3	0.63	5	1.05
Precisión	30%	3	0.9	5	1.5
Consumo de energía	7%	1	0.07	3	0.21
Menor Costo	7%	5	0.35	3	0.21
Controlabilidad	35%	3	1.05	5	1.75
		Total	3	Total	4.72

Se concluye que, para el diseño del tipo de actuador para el movimiento, se va a utilizar la alternativa 2, por lo que proporciona mayor precisión, un mayor torque y tiene una controlabilidad más fácil.

3.2.4.3 Transmisión de movimiento

Para el tipo de transmisión de movimiento de la punzonadora en los ejes “X” y “Y”; se tiene las siguientes alternativas: tornillo sin fin y piñón – cremallera. En donde en la Tabla 6 muestra dos posibles soluciones, con sus ventajas y desventajas.

Tabla 6*Alternativas para transmisión de movimiento*

Alternativas	Ventajas	Desventajas
1. Tornillo sin fin	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil instalación • Soportes y apoyos simples 	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene una marcha suave. • No grandes tamaños • Costo elevado
2. Piñón – Cremallera	<ul style="list-style-type: none"> • Es ideal para instalar en máquinas de robusta estructura. • Si se considera la ecuación costo-precisión-potencia, se coloca al piñón y cremallera en primer lugar porque este sistema permite movilizar con alta velocidad grandes y pesados volúmenes con menos potencia. 	<ul style="list-style-type: none"> • Necesita lubricación

3.2.4.4 Selección del tipo de transmisión

Para seleccionar adecuadamente se utilizará una matriz de Hales como muestra la Tabla 7, tomándose en cuenta los siguientes parámetros de velocidad. Precisión, menor vibración, menor costo y transmisión de potencia.

Tabla 7*Matriz de Hales para selección del tipo de transmisión*

a) Porcentaje de importancia de los parámetros que intervienen en el tipo de transmisión

Parámetro	Velocidad	Precisión	Menor vibración	Menor Costo	Transmisión de potencia	$\Sigma+1$	Porcentaje
Velocidad	-	5	2.5	5	5	18.5	33.5%
Precisión	0	-	0	2.5	2.5	6	11%
Menor vibración	2.5	5	-	5	5	18.5	33.5%
Menor Costo	0	2.5	0	-	2.5	6	11%
Transmisión de potencia	0	2.5	0	2.5	-	6	11%
					Total	55	100%

CONTINÚA →

b) Matriz para selección del tipo de transmisión

Parámetro de selección	Porcentaje de importancia	Piñón-cremallera		Tornillo sin fin	
		Valor	Total	Valor	Total
Velocidad	33.5%	5	1.675	1	0.335
Precisión	11%	1	0.11	5	0.11
Menor vibración	33.5%	5	1.675	1	0.335
Menor Costo	11%	5	0.55	1	0.11
Transmisión de potencia	11%	3	0.33	3	0.33
		Total	4.34	Total	1.22

Se concluye que, para el diseño la mejor opción es la alternativa 2, debido a que proporciona mayor velocidad, posee menor vibración en grandes distancias y es de menor costo.

3.2.4.5 Desplazamiento de plancha

Para el tipo de desplazamiento de la plancha metálica; se tiene las siguientes alternativas: guía de carril cuadrado y guía de carril redondo. En donde en la Tabla 8 muestra dos posibles soluciones, con sus ventajas y desventajas.

Tabla 8

Alternativas para tipo de desplazamiento de plancha

Alternativas	Ventajas	Desventajas
1. Guía de carril cuadrado	<ul style="list-style-type: none"> • Tiene una mayor resistencia a impactos y durabilidad • Tiene gran rigidez y estabilidad • Posee menor vibración comparado a otras guías • Tiene estabilidad de corte • Ideales para máquinas con carga y piezas pesadas sujetas a mucho esfuerzo • Mayor precisión 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor costo
2. Guía de carril redondo	<ul style="list-style-type: none"> • Fácil mantenimiento y reemplazo • Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> • Mayor vibración

3.2.4.6 Selección del tipo de guías de desplazamiento

Para seleccionar adecuadamente el tipo de guías de desplazamiento se utilizará la matriz de Hales como muestra la Tabla 9, tomándose en cuenta los siguientes parámetros de velocidad, carga elevada, precisión, ruido y facilidad de montaje:

Tabla 9

Matriz de Hales para selección del tipo de guías de desplazamiento

a) *Porcentaje de importancia de los parámetros que intervienen en el tipo de guías para el desplazamiento*

Parámetro						$\Sigma+1$	Porcentaje	
	Velocidad	Carga elevada	Precisión	Ruido	Facilidad de montaje			
Velocidad	-	2.5	5	2.5	5	16	28%	
Carga elevada	2.5	-	2.5	5	5	16	28%	
Precisión	5	2.5	-	5	5	18.5	32%	
Ruido	0	0	0	-	2.5	3.5	6%	
Facilidad de montaje	0	0	0	2.5	-	3.5	6%	
						Total	57.5	100%

b) *Matriz para selección del tipo de guías para el desplazamiento*

Parámetro de selección	Porcentaje de importancia	Guía de carril redondo		Guía de carril cuadrado	
		Valor	Total	Valor	Total
Velocidad	21%	3	0.63	3	0.63
Carga elevada	30%	3	0.9	5	1.5
Precisión	7%	3	0.21	5	0.35
Ruido	7%	3	0.21	3	0.21
Facilidad de montaje	35%	3	1.05	3	1.05
		Total	3	Total	3.74

Se concluye que, para el diseño del tipo de guías para el desplazamiento, se va a utilizar la alternativa 1, por lo que proporciona facilidad de montaje, sirve para cargas elevadas y nos da mayores velocidades.

3.2.5 Módulo 3 – Sistema de control

El Módulo 3 posee una función:

- Seleccionar parámetros de proceso, energizar la máquina e iniciar el proceso

Se realiza un control en lazo abierto como se indica en la Figura 27. Tenemos como entrada a la plancha metálica, luego pasa por un elemento de control que en este caso es la Tarjeta Apollo III, luego tenemos los servomotores y la bomba, realiza el proceso de punzonado y finalmente tenemos como salida una plancha perforada o deformada.

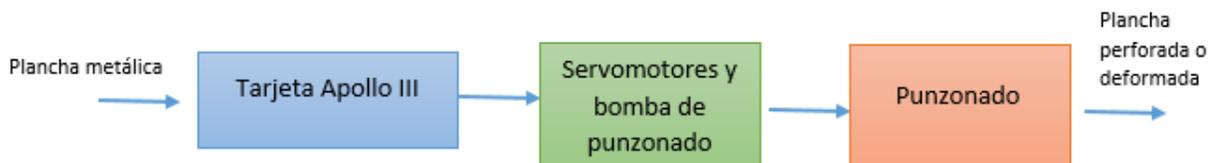


Figura 27. Control lazo abierto de la punzonadora

Como los componentes básicos para el control, la empresa dispone de la tarjeta Apollo III y el software Mach 3. Para encender o apagar todo el sistema se dispone de un interruptor. Para el encendido y apagado de la bomba de punzonado se dispone de pulsadores ON/OFF y para el control de los servomotores se dispone de drives.

3.2.6 Módulo 4 – Sistema de punzonado

En el Módulo 4 se realiza el punzonado de la plancha metálica.

Para el tipo de sistema de punzonado; se tiene las siguientes alternativas: sistema neumático y sistema hidráulico. En donde en la Tabla 10 se muestra dos posibles soluciones, con sus ventajas y desventajas.

Tabla 10*Alternativas para el tipo de sistema de punzonado*

Alternativas	Ventajas	Desventajas
1. Sistema neumático	<ul style="list-style-type: none"> • El aire puede ser transportado fácilmente en las tuberías • El aire no posee propiedades explosivas • Velocidades altas • El aire sin lubricante es limpio • Bajo costo 	<ul style="list-style-type: none"> • Poca fuerza • Altos niveles de ruido • No siempre se mantiene el pistón a una velocidad uniforme y constante con el aire comprimido
2. Sistema hidráulico	<ul style="list-style-type: none"> • Se tiene una fuerza mayor • Tiene gran flexibilidad • Los elementos se pueden frenar en marcha <p>Las fuerzas pueden regularse de manera continua</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Posee bajas velocidades • Limpieza • Exige un buen mantenimiento por manejo de altas presiones • Elevado costo

3.2.6.1 Selección del tipo de sistema de punzonado

Para seleccionar adecuadamente el tipo de sistema de punzonado se utilizará una matriz de Hales como muestra la Tabla 11, tomándose en cuenta los siguientes parámetros velocidad, fuerza y menor costo:

Tabla 11*Matriz de Hales para selección del tipo de sistema de punzonado*

a) Porcentaje de importancia de los parámetros que intervienen en el tipo de sistema de punzonado

Parámetro				$\Sigma+1$	Porcentaje
	Velocidad	Fuerza	Menor costo		
Velocidad	-	0	2.5	3.5	19.5%
Fuerza	5	-	5	11	61%
Menor costo	2.5	0	-	3.5	19.5%
			Total	18	11%

CONTINÚA →

b) Matriz para selección del tipo de sistema de punzonado

Parámetro de selección	Porcentaje de importancia	Sistema neumático		Sistema Hidráulico	
		Valor	Total	Valor	Total
Velocidad	19.5%	5	0.975	1	0.195
Fuerza	61%	1	0.61	5	3.05
Menor costo	19.5%	5	0.975	1	0.195
		Total	2.56	Total	3.44

Se concluye que, para el diseño del tipo de sistema de punzonado, la alternativa 2 es el más óptimo, por lo que proporciona una mayor fuerza de punzonado.

3.3 Diseño del Sistema

En el diseño de la máquina punzonadora CNC, se detallará cada uno de los subsistemas, empezando por el diseño estructural, luego el diseño del sistema de punzonado, seguido el diseño del mecanismo de movimiento y sujeción de las planchas metálicas. Dentro de cada etapa del diseño se describe de manera general el funcionamiento de cada subsistema con el objetivo que debe cumplir cada uno, para identificar los elementos necesarios en base a características específicas y cálculos realizados.

3.3.1 Diseño del Sistema de Punzonado

Para la parte de punzonado, se diseña el sistema hidráulico para punzonar o deformar planchas de 3 milímetros en acero inoxidable y 6 milímetros en acero normal, se realiza un cálculo de la fuerza que se necesita para hacer deformaciones en dichas chapas metálicas, la velocidad que se necesita y se hace un análisis de las juntas apernadas que tiene la estructura que une la cabeza del punzonado con el cuerpo de la estructura.

3.3.1.1 Cálculo de la Fuerza de Corte

Para cumplir los requerimientos de la empresa referente al sistema de punzonado, el material que se toma en cuenta es el acero inoxidable, en donde la Tabla 12 muestra los datos a considerar en el cálculo.

Tabla 12*Datos a considerar del sistema de punzonado*

Características	
Material	Inoxidable
Espesor de chapa máxima	3 mm
Diámetro de punzón	2 cm
Resistencia al corte	$850 \frac{N}{mm^2}$

Fuente: (JUTZ, 2004)

En la Ecuación 2 se observa que la fuerza de corte F depende tanto de la resistencia de corte τ_B y también de la superficie de corte A : (JUTZ, 2004)

$$F = A \times \tau_B \quad (2)$$

En la Ecuación 3 se observa que el área que se necesita es igual al perímetro de corte (perímetro circular) por el espesor de la chapa:

$$A = \text{Perímetro de corte} \times \text{Espesor de chapa} \quad (3)$$

$$A = 188.5 \text{ mm}^2$$

La fuerza de punzonado es:

$$F = 18 \text{ toneladas}$$

Según el trabajo realizado por (BARRAGÁN, 2016) se suma un 20% adicional por seguridad, teniendo la fuerza final de punzonado:

$$F_f = 22 \text{ toneladas}$$

3.3.1.2 Diseño del Sistema Hidráulico

El sistema hidráulico es el encargado de la perforación o deformación y de la sujeción de las chapas metálicas, en donde el cilindro hidráulico es el elemento más importante. Se requiere de un cilindro para el punzonado en donde este va a tener un acople para el punzón y dos cilindros para

la sujeción de las planchas, por lo que se va a utilizar dos pinzas. Se debe tomar en cuenta la velocidad de punzonado que está en función del caudal máximo de la bomba.

El objetivo del sistema hidráulico es abastecer la suficiente fuerza capaz de perforar o deformar planchas de acero inoxidable de 3 milímetros de espesor y 6 milímetros en acero normal.

Entre los requerimientos de la empresa tenemos:

- Una carrera de 25 milímetros del cilindro hidráulico.
- La máquina debe realizar 30 punzonadas por minuto.

Los datos de fuerza de punzonado y caudal de la bomba hidráulica, servirán para buscar en el mercado los equipos hidráulicos necesarios para la punzonadora.

3.3.1.2.1 Funcionamiento general del sistema hidráulico

En la Figura 28, se muestra un diagrama de bloques que indica la secuencia del sistema hidráulico para activar los cilindros de punzonado y de sujeción de las chapas metálicas. Contiene un depósito de aceite, cuando la bomba se active genera la presión necesaria del sistema, pasa por una válvula de alivio o seguridad, va a dos líneas de presión, la primera es para el accionamiento de los dos cilindros de sujeción de las chapas, posee una válvula reguladora de presión y de control; la segunda línea activa el cilindro de punzonado que al igual tiene una válvula de control; todo este sistema tiene un filtro cada vez que el líquido hidráulico recircule al depósito.

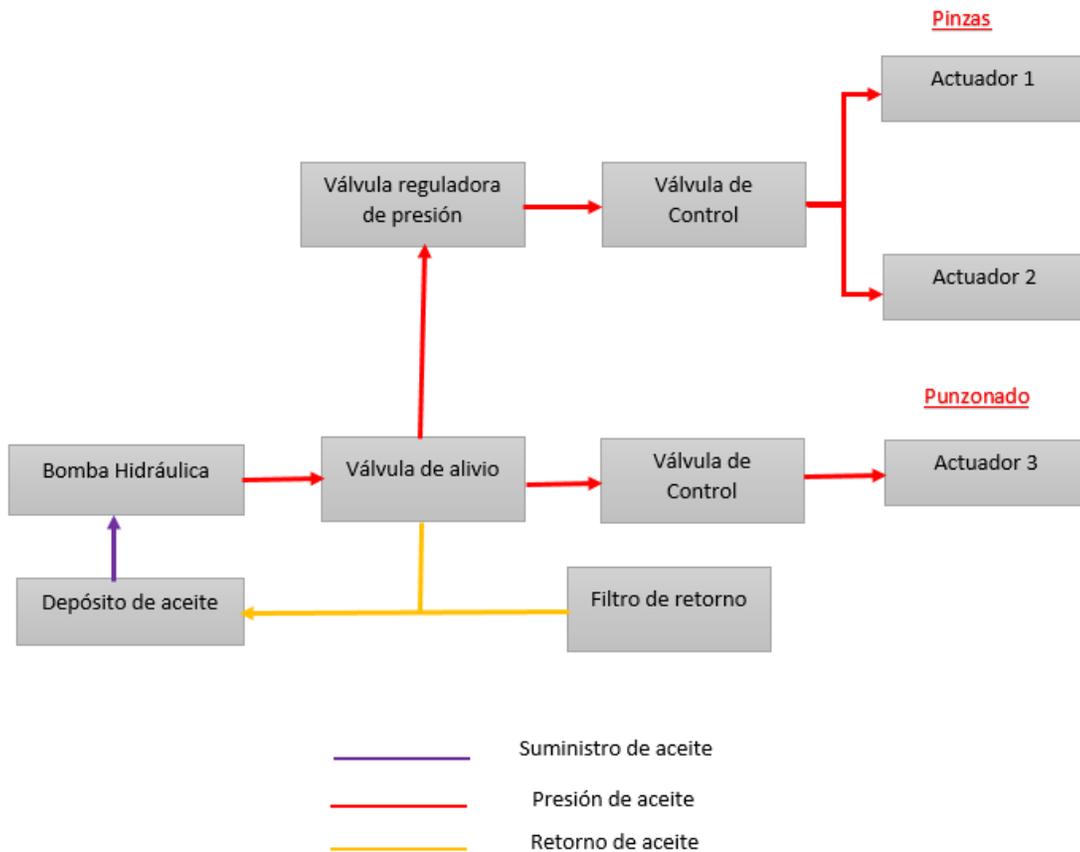


Figura 28. Funcionamiento general del Sistema Hidráulico

3.3.1.2.2 Cálculos

- Velocidad de punzonado

Para determinar el caudal para ejercer la fuerza necesaria de punzonado, debemos determinar la velocidad mediante la Ecuación 4.

$$v = \frac{d}{t} \quad (4)$$

El tiempo se determinó partiendo de los datos de requerimiento que se dio por la empresa, teniendo en cuenta que en un minuto se debe realizar 30 punzonadas y sabiendo que tiene el pistón tiene una carrera de 25 milímetros, el tiempo será de:

$$t = 1 \text{ seg}$$

Reemplazando los valores en la Ecuación 9, se calcula la velocidad:

$$v = 2.5 \frac{cm}{seg}$$

Con los datos anteriormente calculados se selecciona el modelo CCA/D30 del catálogo (SACAPOL, 2017) que es un cilindro de doble efecto y tiene una fuerza de 30 toneladas, que se necesita para realizar las perforaciones o deformaciones en planchas metálicas. El diámetro de émbolo del cilindro es de 127 milímetros.

Para la selección del caudal de la bomba, se realiza el cálculo de un caudal teórico mediante la Ecuación 5, teniendo los datos del diámetro del émbolo y la velocidad del caudal del sistema previamente calculados.

$$Q_t = \left(\frac{\pi d^2}{4} \right) \times V \quad (5)$$

$$Q_t = 19 \frac{lt}{min}$$

Según (AMBIENTAL, 2009) para bombas de cuidadosa ejecución y pequeños caudales el rendimiento volumétrico varía del 94% al 96%. Para el diseño se escoge un rendimiento volumétrico de la bomba del 95%, por lo tanto, el caudal real será:

$$\text{Caudal Real} = \text{Caudal teórico} \times \frac{1}{\eta_{vol}}$$

$$Q_r = 20 \frac{lt}{min}$$

Con la Ecuación 6, se calcula la presión necesaria para ejercer una fuerza de 22 toneladas, en un área de 126.68 cm^2 :

$$P = \frac{F}{A} \quad (6)$$

$$P = 2240.85 \text{ Psi}$$

Con la Ecuación 7 se calcula la potencia del motor hidráulico necesaria para ejercer una fuerza de 22 toneladas. Según (AMBIENTAL, 2009) la eficiencia mecánica para bombas directamente acopladas al motor es de 0.9, así:

$$Pot = \frac{P \times Q}{\eta_{mec}} \quad (7)$$

$$Pot = 7.6 \text{ HP}$$

3.3.1.3 Diseño de juntas apernadas en la unión de la cabeza del sistema de punzonado con el cuerpo de la estructura

Para el diseño de las juntas apernadas, tenemos la unión de dos placas de Acero A36 de 25 milímetros de espesor, lo cual determina la fuerza de punzonado máxima. En la Figura 29 se procede a determinar la carga máxima a ser soportada por los pernos en la junta y así determinar el diámetro de los pernos requeridos. Se tiene en cuenta que los pernos soportan una carga a flexión y a corte (JUVINALL, 2012).

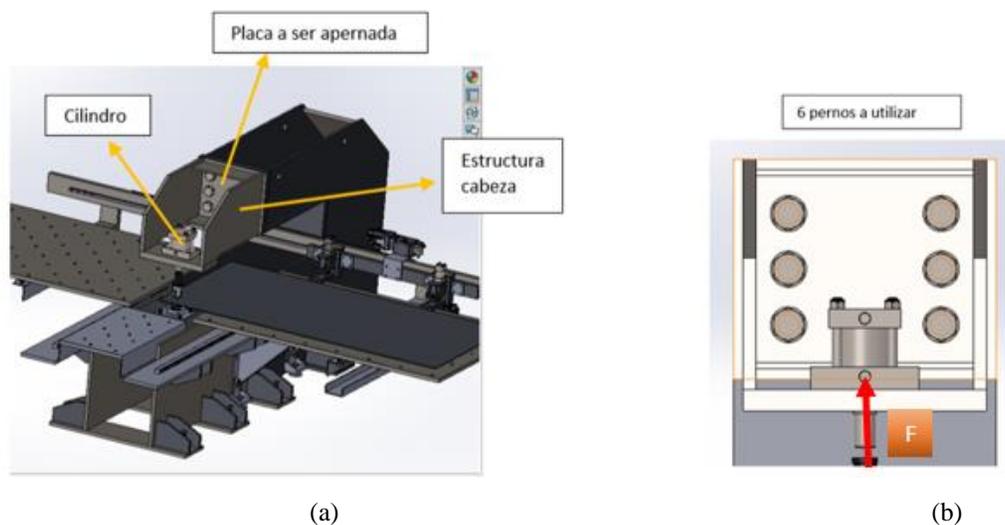


Figura 29. Esquema General de la junta apernada (a) Partes; (b) Número pernos

Datos que se tiene: $m_{cilindro} = 5.27 \text{ kg}$

$m_{cabeza} = 229.81 \text{ kg}$

$F_p = 215746 \text{ N}$

Perno: $1 \frac{3}{4} - 5 \text{ UNC}$

De (BUDYNAS, 2008) se obtiene las siguientes especificaciones para pernos de acero:

$$S_p = 55 \text{ Kpsi}$$

$$S_t = 90 \text{ Kpsi}$$

$$S_y = 58 \text{ Kpsi}$$

Para calcular la F total que será soportada, tenemos la Ecuación 8.

$$F = F_i + F_p \quad (8)$$

Para la precarga se tiene:

$$F_i = 3193.06 \text{ N}$$

En donde se obtiene la fuerza total que va a ser soportada:

$$F = 49219.3 \text{ lbf}$$

- Selección del factor de seguridad

Para escoger el factor de seguridad, tenemos en cuenta que la unión entre la estructura de la cabeza y la placa de 25 milímetros se utiliza un tipo de soldadura a tope, donde AISC recomienda que para el tipo de carga que es a flexión el factor de seguridad tiene un rango desde 1.52 hasta 1.67. Por lo tanto, se escoge el factor de seguridad de:

$$nd = 1.67$$

Se escoge el factor de seguridad más alto considerando este tipo de carga y debido a la fuerza que se va a aplicar.

- Se calcula el esfuerzo permisible mediante la Ecuación 9:

$$\tau = \frac{S_y}{nd} \quad (9)$$

$$\tau = 16.47 \text{ Kpsi}$$

- Se calcula la tensión directa de corte en el perno mediante la Ecuación 10:

$$P' = P1' + P2' + P3' \quad (10)$$

$$P' = 8203.22 \text{ lbf}$$

- Se calcula el esfuerzo de tracción en el perno mediante la Ecuación 11:

$$P1'' = \frac{F * e * l1}{2 (l1^2 + l2^2 + l3^2)} \quad (11)$$

$$P1'' = 32494.3 \text{ lbf}$$

El perno 1 se somete a un esfuerzo máximo.

El esfuerzo a tensión en este perno está dado por la Ecuación 12:

$$\sigma t'' = \frac{P1''}{A} \quad (12)$$

El esfuerzo de corte principal en el perno está dado por la Ecuación 13:

$$\tau_{max} = \sqrt{\left(\frac{\sigma t}{2}\right)^2 + \tau^2} \quad (13)$$

$$\tau_{max} = \frac{17875}{A} \frac{lbf}{in^2}$$

Reemplazando los datos se obtiene:

$$A = 1.085 \text{ in}^2$$

En donde:

$$A = \frac{\pi}{4} d^2$$

$$d = 1.175 \text{ in}$$

Por lo tanto, el perno que se va a utilizar es:

$$\text{Perno} = 1 \frac{1}{2}$$

3.3.2 Diseño Estructural

Previo al diseño de la estructura para el soporte de toda la máquina, se debe tomar en cuenta todos los pesos de los elementos que van actuar sobre él. En donde estos elementos son:

- Plancha completa de 1.22 x 2.44 metros
- Servomotores
- Guías lineales y carros de desplazamiento
- Base para las planchas metálicas
- Soportes
- Piñón y cremallera

Entre todos estos elementos nombrados anteriormente y tomando en cuenta que existe una carga distribuida en una distancia de 2 metros, la fuerza que actúa es de 1163.44 N/m. Se hace el análisis de una viga hiperestática, posee una distancia de 2.98 metros, posee seis apoyos fijos a diferentes

distancias. La Figura 30 muestra la viga hiperestática para el análisis, con sus respectivas cargas, y distancias entre apoyos, así:

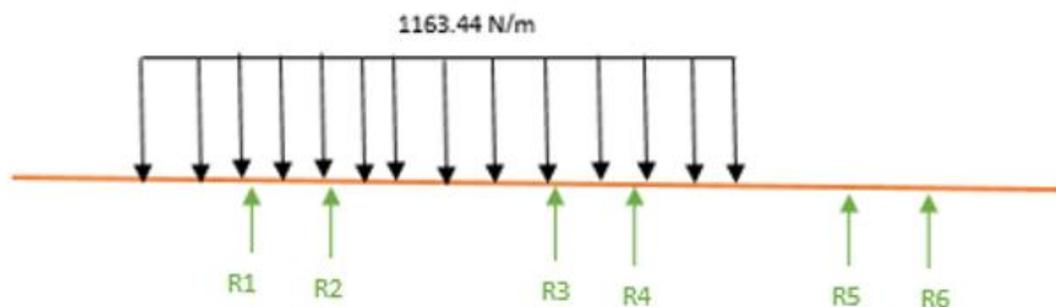


Figura 30. Distribución de cargas en la viga hiperestática

La Figura 31 muestra la viga para el análisis, simulado en el programa Vigas Online, en donde a partir de ahí se procede a sacar los datos de interés para su respectivo análisis.

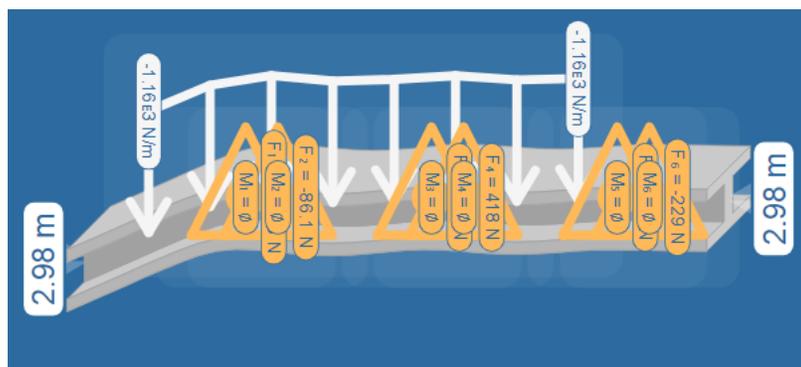


Figura 31. Simulación en Vigas Online

La Tabla 13 muestra los valores de las reacciones de los apoyos, calculados del programa Xvigas:

Tabla 13
Reacciones en Apoyos

Reacciones en apoyos	
Apoyo 1	1185.3 [N]
Apoyo 2	-86.072 [N]

CONTINÚA →

Apoyo 3	580.58 [N]
Apoyo 4	418.49 [N]
Apoyo 5	457.69 [N]
Apoyo 6	-229.11 [N]

Obteniendo la gráfica de esfuerzo cortante del software Xvigas con sus respectivos valores como muestra la Figura 32.

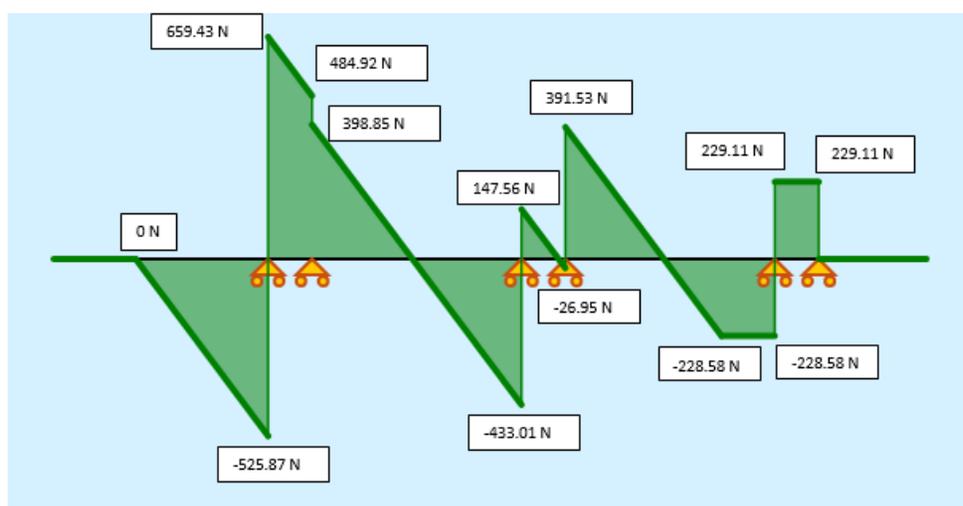


Figura 32. Diagrama de Cortantes en software Xvigas

La Figura 33 muestra el diagrama correspondiente al momento flector, simulado en el software Xvigas, mostrando así sus valores y su momento más crítico.

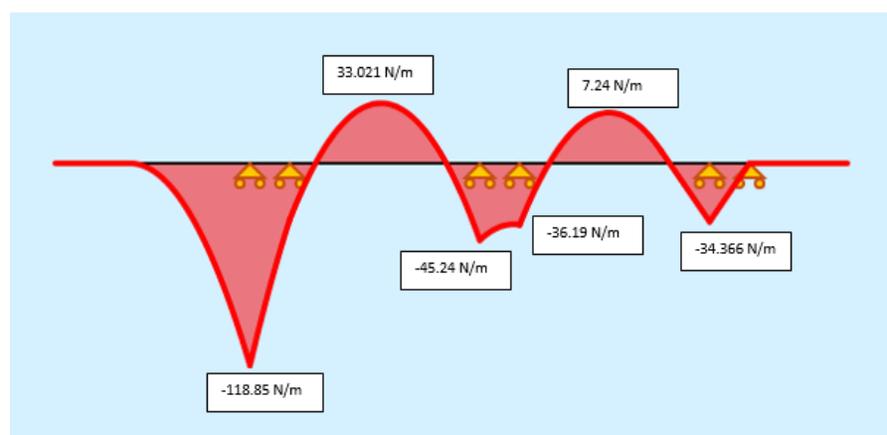


Figura 33. Diagrama Momento Flector en Xvigas

En los diagramas anteriores se puede observar que la cortante máxima se da en el apoyo 1 con un valor de 659.43 N, y el momento flector máximo también se da en el apoyo 1 con un valor de -118.85 N/m.

La Figura 34 muestra el análisis CAE de los soportes de la estructura de la punzonadora, la deformación máxima que se tiene es de 0.23 mm en la parte última de recorrido, se debe tomar en cuenta que estos soportes sirven como apoyo del sistema de movimiento y aguantan el peso de la base y de las planchas metálicas. Los movimientos de los carros no llegan hasta el punto crítico, por lo que la deformación que se produce no es significativa, como muestra la simulación.

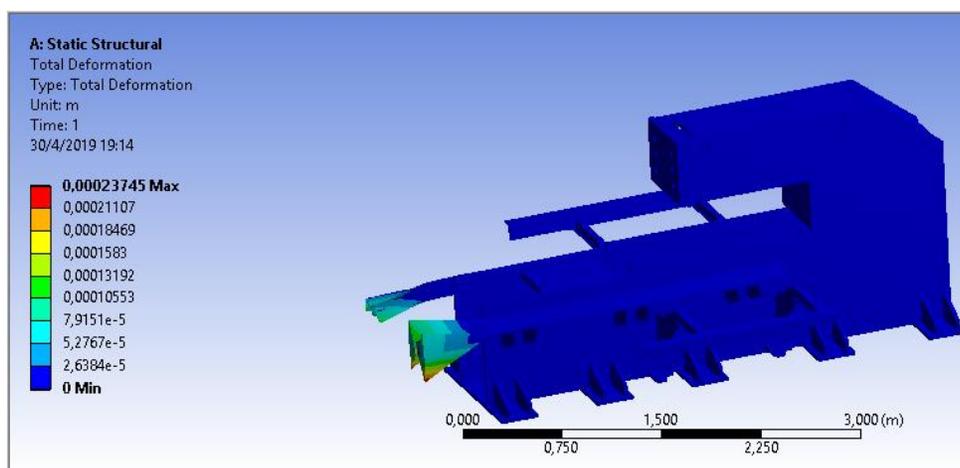


Figura 34. Deformación total es soportes de estructura de punzonadora

3.3.2.1 Análisis de deflexión al momento de punzonar

Es muy importante realizar el análisis al momento de punzonar, porque va a existir una pequeña deflexión debido a la fuerza máxima que se aplica que es de 22 toneladas. La Figura 35 muestra la cabeza de la punzonadora con la carga que está sometida a una determinada distancia.

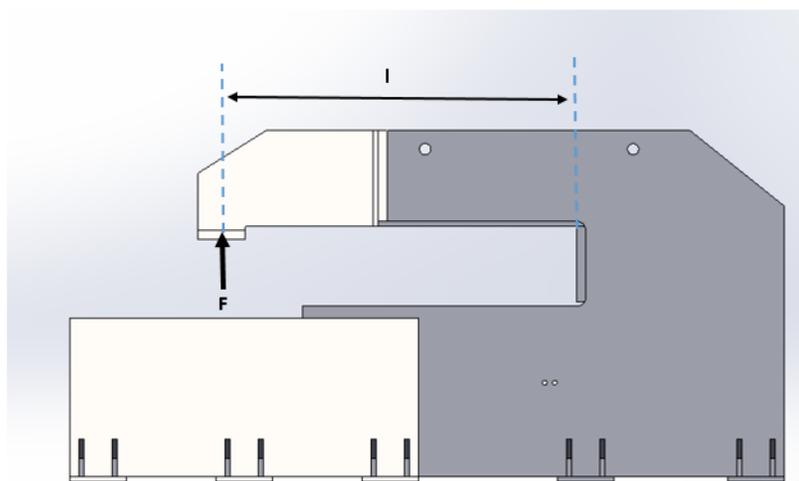


Figura 35. Fuerza aplicada al momento de punzonar

En donde:

$F = 22$ toneladas (Fuerza máxima de punzonado)

$l = 1876.62$ milímetros = 1.88 m

La Figura 36 muestra el análisis de una viga en voladizo con carga externa, también se observa la dirección de la deflexión debido a la fuerza de punzonado.

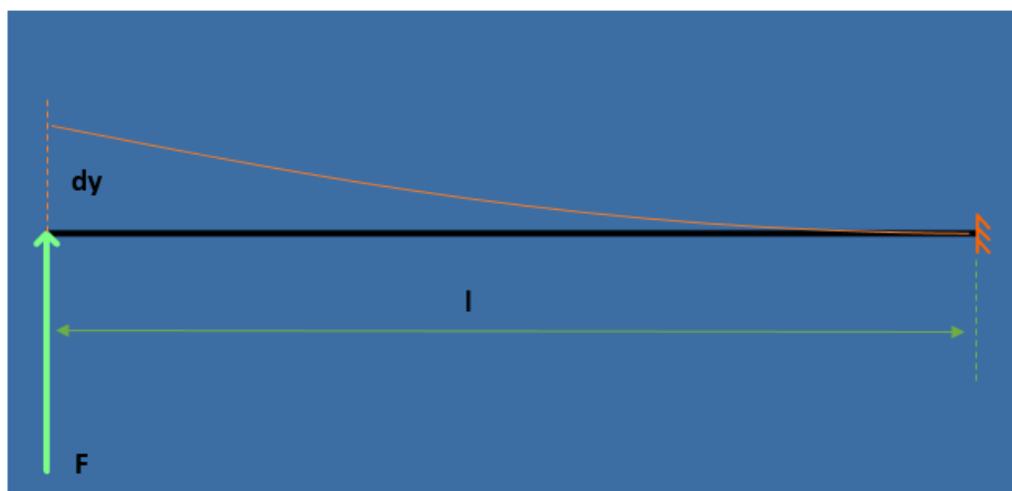


Figura 36. Diagrama de deflexión como una viga en voladizo con carga externa

La Figura 37 muestra los diagramas de esfuerzo cortante y momento flector en el programa XVigas. El cortante máximo es de 195722 N y el momento flector máximo es de 367.96 KN-m.

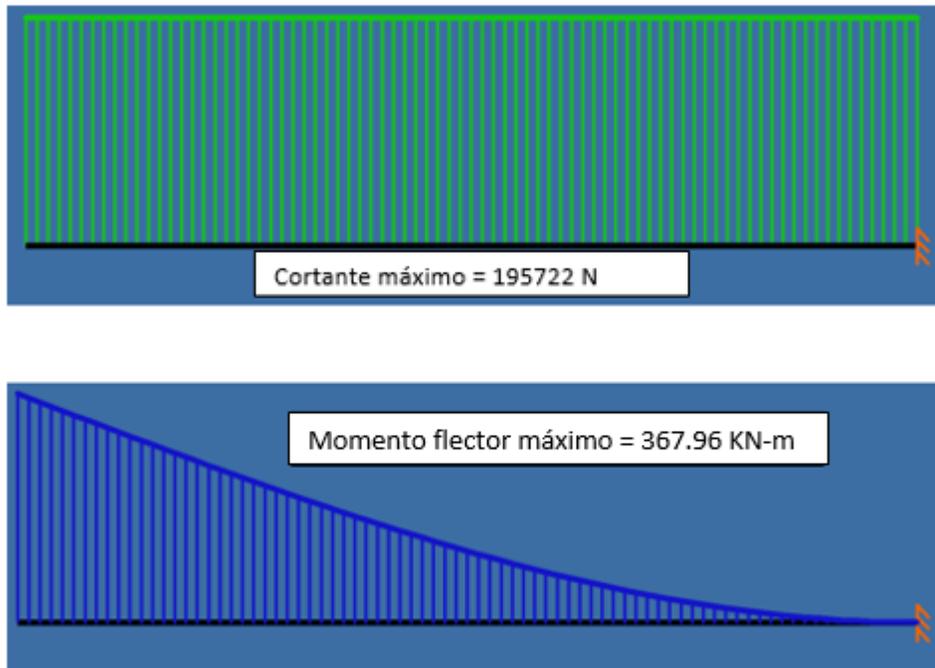


Figura 37. Diagrama de cortante y momento flector al momento del punzonado

Después se calcula la inercia total, que da un valor de 0.014 m^4 . Mediante la Ecuación 14, se calcula la deflexión máxima que se produce al momento de punzonar.

$$dy = -\frac{F l^3}{3 E I} \quad (14)$$

$$dy = 0.15 \text{ mm}$$

Para la comprobación se utiliza la Ecuación 15.

$$dy \leq \frac{l}{600} \quad (15)$$

$$0.15 \text{ mm} \leq 3.13 \text{ mm}$$

Para corroborar el valor de la deflexión obtenido anteriormente se realiza la simulación CAE de la fuerza que se aplica al momento del punzonado y como ésta afecta en la deflexión de la estructura. La Figura 38 muestra la simulación, de la cual se obtiene una deformación máxima de 0.58 mm el cual es muy similar al valor calculado analíticamente.

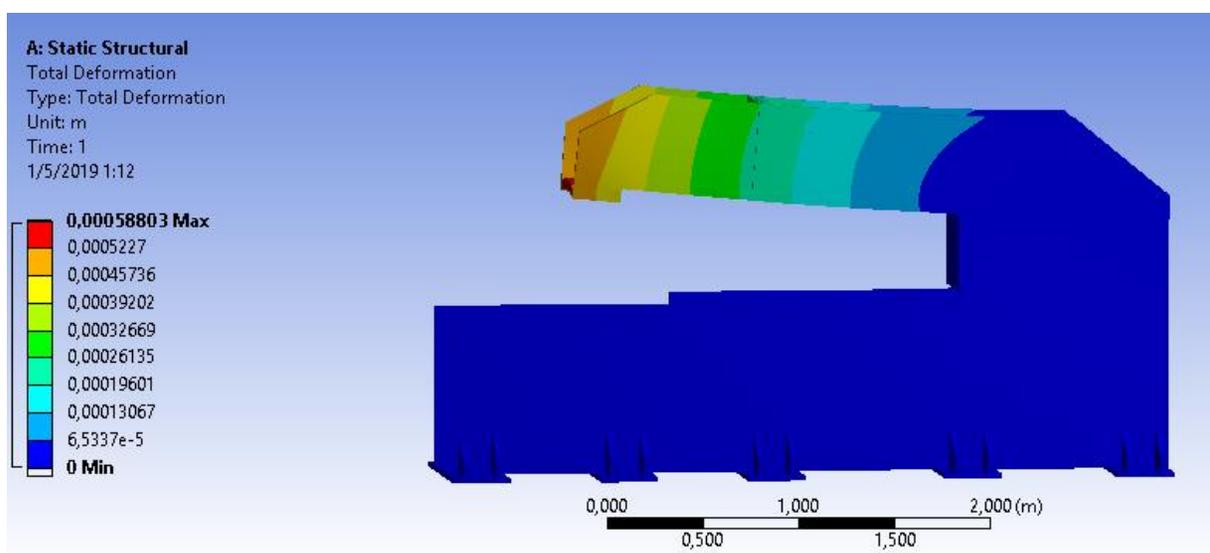


Figura 38. Deformación máxima al momento del punzonado

3.3.2.2 Análisis del factor de seguridad

Como se mostró en los cálculos anteriores, el momento crítico que se obtuvo es de 367957.36 N-m que se encuentra presente en el extremo. El material que se escogió fue Acero A36 de dos pulgadas de espesor en la parte de mayor esfuerzo, con una resistencia a la fluencia $S_y=250$ MPa. Para el análisis del diseño se escoge un factor de seguridad de 2 debido a que se trata de un diseño de estructuras estáticas con cargas dinámicas.

La Ecuación 16 muestra el esfuerzo normal máximo, que es igual a la resistencia a la fluencia del material sobre el factor de seguridad.

$$\sigma_{max} = \frac{S_y}{n} \quad (16)$$

$$\sigma_{max} = 125 \text{ MPa}$$

El análisis como se dijo anteriormente será realizado en el extremo donde se produce el mayor momento, ya que en este punto va a existir un mayor esfuerzo por la carga que se encuentra sometido, aquí el esfuerzo flector será el máximo y el cortante será 0, por lo que se puede decir que el elemento está sometido a flexión pura.

$$\sigma = \frac{M y}{I} \quad (17)$$

La Ecuación 17 muestra el esfuerzo flector, donde:

M: Momento flector máximo

I: Inercia de la sección

y: Distancia del centro de gravedad hacia el centro

$$\sigma = 12.57 \text{ MPa}$$

Se aplica la teoría de Von Misses porque es la más optimista, es decir la que más se acerca a la realidad. La Ecuación 18 muestra los esfuerzos principales de Von Misses.

$$\sigma_{1,2} = \frac{\sigma}{2} \pm \sqrt{\frac{\sigma^2}{4} + \tau^2} \quad (18)$$

$$\sigma_{1,2} = 12.57 \text{ MPa}$$

Mediante la Ecuación 19 se obtiene el valor de seguridad:

$$n = \frac{\sigma_{perm}}{\sigma_{von\ misses}} \quad (19)$$

$$n = 9.94$$

El factor de seguridad resultante es de 9.94 por ende es mayor a 2 que al principio se impuso, lo que significa que el material y espesor de las planchas elegido satisfacen a las condiciones de cargas solicitadas, este factor asegura un correcto diseño, evitando fallas en la estructura. Con esto se obtiene una mayor robustez de la punzonadora así evitando concentradores de esfuerzo, fallas por fatiga y de los elementos móviles que en ella se tienen.

Después se realiza el análisis CAE, en donde la Figura 39 muestra el esfuerzo de Von Misses que son muy semejantes al calculado anteriormente, en donde el esfuerzo máximo es de 58.96 MPa, por lo que se puede decir que este esfuerzo no sobrepasa al límite de fluencia del Acero A36, por lo que se concluye que va a soportar la fuerza de punzonado que ejerce en el mismo.

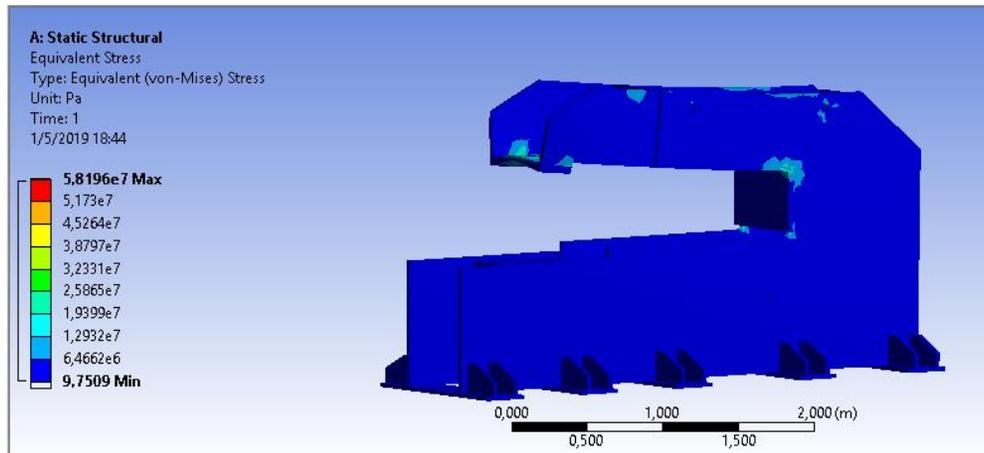


Figura 39. Esfuerzo de Von Misses en análisis CAE

La Figura 40 muestra la ubicación del esfuerzo máximo que sería al extremo de la estructura.

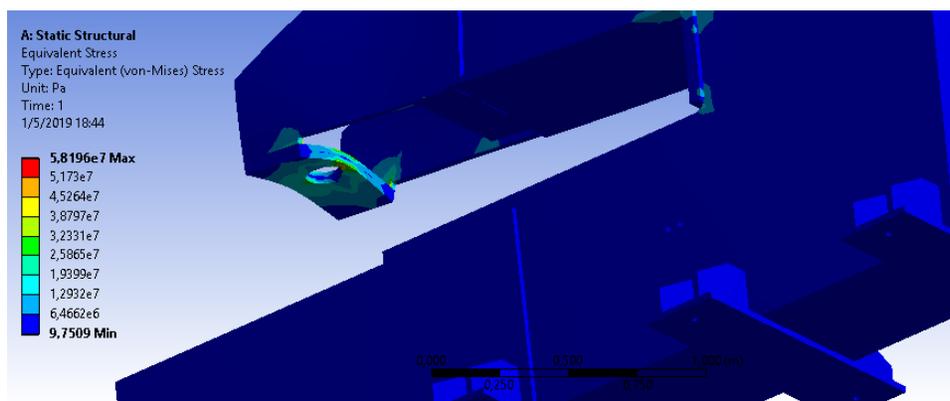


Figura 40. Ubicación del Esfuerzo Máximo

La Figura 41 muestra el factor de seguridad que nos da en el análisis CAE.

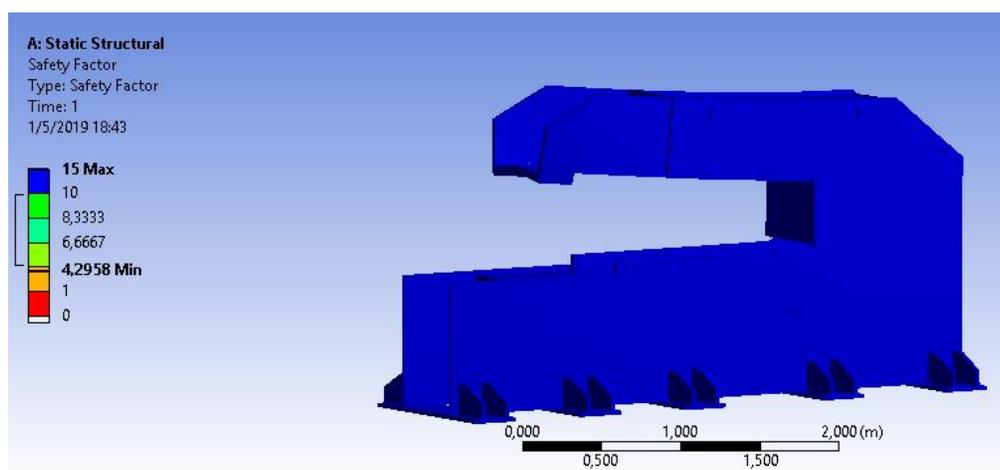


Figura 41. Factor de seguridad de la estructura de soporte

Se puede concluir que el esfuerzo no sobrepasa al límite de fluencia del material por lo que el factor de seguridad de 4.29 asegura que el sistema no falle. También se puede decir que la estructura de la punzonadora es bien robusta.

3.3.2.3 Soldadura de la Estructura

La Figura 42 muestra el punto de mayor esfuerzo que se va a dar en la estructura de la punzonadora. Al analizar la zona, se concluye que la soldadura no va a soportar cargas, puesto que el conjunto va a ser quién soporta todos los esfuerzos que aquí se producen.

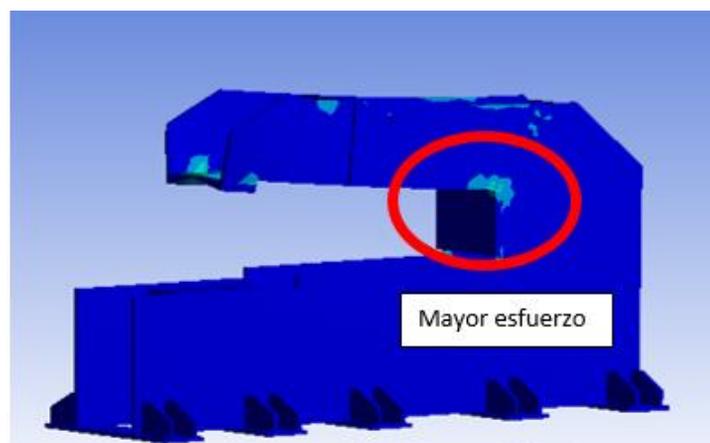


Figura 42. Lugar donde se produce mayor esfuerzo en estructura

Para determinar el espesor mínimo de soldadura, se utilizó la Norma AWS D14.1 que trata sobre la “Especificación para la soldadura de Grúas Industriales y de Molino y otros Equipos para la manipulación de materiales”, puesto que la estructura de la punzonadora se asemeja a un brazo cantiléver.

Tabla 14

Tamaños mínimos de soldadura a filete según la norma AWS D14.1

Tamaño mínimo de soldadura a filete			
Espesor del metal		Tamaño de soldadura	
in.	mm	in.	mm
$\leq 1/4$	≤ 6	1/8	3
$> 1/4$ a $\leq 1/2$	> 6 a ≤ 13	3/16	5
$> 1/2$ a $\leq 3/4$	> 13 a ≤ 20	1/4	6
$> 3/4$	> 20	5/16	8

Fuente: (ANSI, AWS D14.1, 2005)

La Tabla 14 muestra los tamaños mínimos de soldadura a filete según la Norma AWS D14.1, en donde se tiene la plancha de menor espesor de $3/4$ o 20 mm y se escoge el tamaño mínimo de

soldadura que es de 8 mm. A partir de este análisis, considerando que la estructura utiliza una plancha de 1 in o 25 mm, que es la de menor espesor, el tamaño de soldadura mínima que debe tener la estructura es de 10 mm.

3.3.3 Diseño del mecanismo de movimiento

Para el diseño del mecanismo de movimiento se analiza las opciones de motor a ser consideradas para la selección, se optó por utilizar servomotores para el desplazamiento de los dos ejes de la máquina puesto que estos tienen un gran torque en todo el recorrido. Como parámetros iniciales de diseño se impone un consumo de potencia de 1.5 HP y que la velocidad del eje sea de 2000 rpm. La Ecuación 20 muestra el torque que requiere el servomotor (THROUGH, s.f.).

$$T = \frac{HP \times 5252}{rpm} \quad (20)$$

$$T = 3.94 \text{ lb} - \text{ft}$$

$$T = 5.34 \text{ N} - \text{m}$$

Considerando que la empresa cuenta con dos servomotores con similares características de los cálculos previamente realizados, se decide usarlos en la punzonadora con el fin de optimizar recursos. Se revisó el funcionamiento de los servomotores, concluyendo que son aptos para ser operados. La Tabla 15, muestra las características principales de los actuadores:

Tabla 15

Características principales del servomotor

Voltaje	185.3 V
Corriente máxima	5.1 A
Torque	4.782 N-m
Potencia	1.34 HP
Velocidad nominal	2000 rpm

Para el diseño del movimiento de la punzonadora, va a utilizarse el mecanismo de piñón y cremallera para los desplazamientos en el eje “Y” y en el eje “X”, cómo se vio en el análisis

modular, en estos dos ejes también van a tener guías lineales que ayudaran a trasladar el peso de la mesa y de las planchas que vayan a ser punzonadas.

La Figura 43 muestra el diseño del mecanismo de movimiento que abarcan las guías lineales para los ejes “X” y eje “Y”, con su respectiva transmisión de piñón y cremallera. Tiene el siguiente recorrido:

- Longitud de recorrido en el eje x: 3.5 metros
- Longitud de recorrido en el eje y: 2 metros

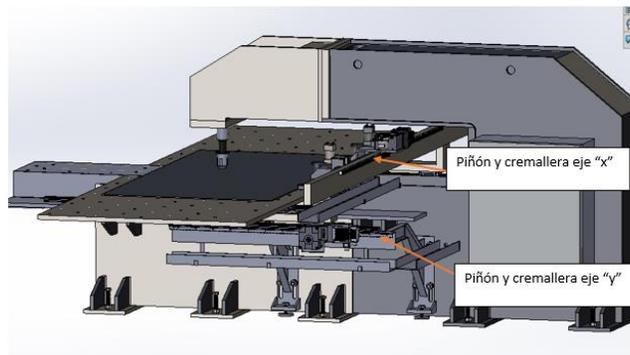


Figura 43. Diseño del mecanismo de movimiento

La empresa tiene como requerimientos de movimientos las siguientes características:

- Longitud de recorrido en el eje y: 1.6 metros
- Lubricación: Grasa
- Tiempo de operación: 16 horas por día
- Velocidad máxima: 0.55 metros por segundo
- Soporte de eje: Guías lineales
- Precisión: +/- 0.001 pulgadas sobre 1 pie

Mediante estos requerimientos de la empresa y con el servomotor que se dispone, se realiza el pedido de piñón y cremallera al proveedor. En la Tabla 16 se tiene las siguientes características del piñón y cremallera elegidos.

Tabla 16
Características principales de piñón y cremallera

Tipo de piñón y cremallera	helicoidal
Módulo de la cremallera	2
Número de dientes del piñón	20
Diámetro de paso del piñón	42.441 mm
Velocidad del piñón	247.65 rpm

Para lograr la velocidad lineal solicitada de 0.55 m/seg requerida por la empresa y con el piñón seleccionado, el piñón debe girar aproximadamente 247.65 RPM. El par de torsión requerido en el motor con el piñón seleccionado sería de aproximadamente 25.93 Nxm. El torque del motor viene dado por la Ecuación 21 (ELECTROMECAÁNICA, 2013).

$$T = \frac{\text{Potencia (en HP)} \times 716}{\text{Velocidad de giro del motor o reductor (RPM)}} \quad (21)$$

$$T = 4.7 Nm$$

Como se puede observar, se necesitaría un motor más grande para proporcionar el par de torsión necesario para la aplicación, por lo que se opta utilizar un reductor, así reducir la velocidad del motor y aumentar el par de torsión para lograr la velocidad lineal solicitada de 0.55 m/seg con el piñón seleccionado.

La relación de reducción va hacer igual a 6.75: 1, esto quiere decir que el motor girará de 2000 rpm a 296.296 rpm. Por lo que mediante la Ecuación 26, se procede a realizar el nuevo torque que nos da con esta velocidad.

$$T = 31.75 Nm$$

El torque final será de 31.75 Nm, que es el adecuado para el torque que necesita el piñón que es de 25.93 Nm.

Con el mismo proveedor se seleccionó las guías lineales que serán utilizadas en el eje “X” y eje “Y”. En la Tabla 17 muestra las características principales.

Tabla 17
Características principales de las guías lineales

	Eje “x”		Eje “y”
Conjunto	Una guía lineal con dos carros de desplazamiento	Conjunto	Las guías de 1.5 metros vienen con un carro de desplazamiento y las dos guías de dos metros con dos carros de desplazamiento
Longitud de guía lineal	3.5 metros	Longitud de guía lineal	Dos guías de 1.5 metros y otras dos guías de 2 metros

La Figura 44 muestra el sistema de movimiento final que se implementa en la punzonadora, el cual consta del mecanismo de piñón-cremallera, de un reductor de velocidad para cada servomotor, también viene incorporado cada uno de estos con un sistema de lubricación automático mediante grasa.

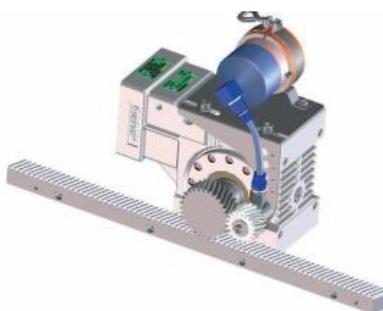


Figura 44. Sistema de movimiento

Fuente: (ATLANTA, 2018)

3.3.4 Diseño de un sistema para sujeción de planchas metálicas

Para el diseño del sistema de sujeción de planchas metálicas se utilizará un tipo de pinzas, que consistirá de una estructura y un mecanismo de resorte, y su funcionamiento será al momento de colocar la plancha metálica, actuando el resorte para sujeción y el pistón para abertura de las pinzas, como muestra la Figura 45.

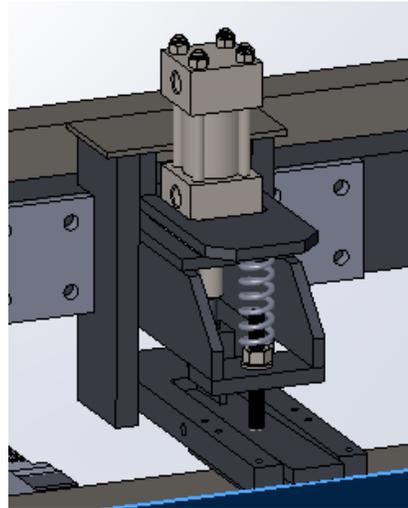


Figura 45. Pinzas de sujeción de chapas

Para el diseño del resorte se utiliza las siguientes condiciones iniciales:

- Un total de $6 \frac{1}{2}$ vueltas
- Extremos planos y esmerilados
- Diámetro exterior: $D = 25 \text{ mm} = 0.98 \text{ in}$
- Apertura de pinzas 11 mm o 0.433 in
- Utiliza una fuerza de 200 Kgf
- Alambre de piano, A228; en donde posee las siguientes características importantes:
(BUDYNAS, 2008)

$$A = 201000 \text{ psi pulg}^m$$

$$m = 0.145$$

$$E = 28 \text{ Mpsi}$$

$$G = 11.6 \text{ Mpsi}$$

Resolución:

Se tiene las siguientes longitudes para la fabricación del resorte:

- Longitud libre: 84 mm
- Longitud de operación: 73 mm

El fabricante “Resortes Universales” dispone diámetros de alambre desde 0.5 mm hasta 2 in, por lo que se escoge un diámetro de alambre de: $d = 5 \text{ mm} = 0.2 \text{ in}$.

La Ecuación 22 muestra la resistencia última a la tensión

$$S_{ut} = \frac{A}{d^m} \quad (22)$$

Donde:

S_{ut} : Resistencia última a la tensión [Kpsi]

A: Constante *psi pulg^m*

m: constante

La Ecuación 23 muestra el esfuerzo cortante a la fluencia:

$$S_{sy} = 0.45 S_{ut} \quad (23)$$

$$S_{ut} = 253.83 \text{ [Kpsi]}$$

$$S_{sy} = 114.224 \text{ [Kpsi]}$$

Calculando el índice del resorte con la Ecuación 24:

$$C = \frac{D}{d} \quad (24)$$

Donde:

D: Diámetro exterior [in]

d: Diámetro del alambre [in]

$$C = 4.9$$

Mediante la Ecuación 25 calculamos la tasa del resorte “Ks”

$$K_s = \frac{2C+1}{2C} \quad (25)$$

$$K_s = 1.10$$

Mediante la Ecuación 26 calculamos la fuerza inicial del resorte “Fi”:

$$F_i = \frac{\pi \times d^3 \times S_s y}{8 \times K_s \times D} \quad (26)$$

$$F_i = 1480.73 [N]$$

Mediante la Ecuación 27 se calcula la constante del resorte “K”:

$$F = K * y \quad (27)$$

$$K = 1018.3 \left[\frac{lbf}{in} \right]$$

Mediante la Ecuación 28 se calcula el número de espiras activas “Na”:

$$N_t = N_a + 1 \quad (28)$$

$$N_a = 5.5 [vueltas]$$

Mediante la Ecuación 29 se calcula el paso “p”:

$$p = \frac{L_f}{(N_a+1)} \quad (29)$$

$$p = 12.92 [mm]$$

- Para seleccionar la fuerza del cilindro que se va a ocupar para abrir las pinzas se aumenta el 10% de la fuerza de 200 Kgf,

$$F_c = 220 \text{ [Kgf]}$$

3.4 Diseño del Sistema Eléctrico

El sistema eléctrico es el enlace de todos los elementos que conforman la punzonadora, entre ellos están los drivers de los motores que se utilizan, la tarjeta de control, los solenoides de las válvulas del sistema hidráulico. Aquí se detallará el dimensionamiento del panel de control y de los distintos elementos que lo conforman, así como las conexiones eléctricas dentro del tablero.

Para el tablero de control que se utiliza tiene las siguientes dimensiones: 800 x 1200 x 380 mm. En la Figura 46 muestra donde estará ubicado el panel de control que será en uno de los laterales traseros de la estructura de la punzonadora.

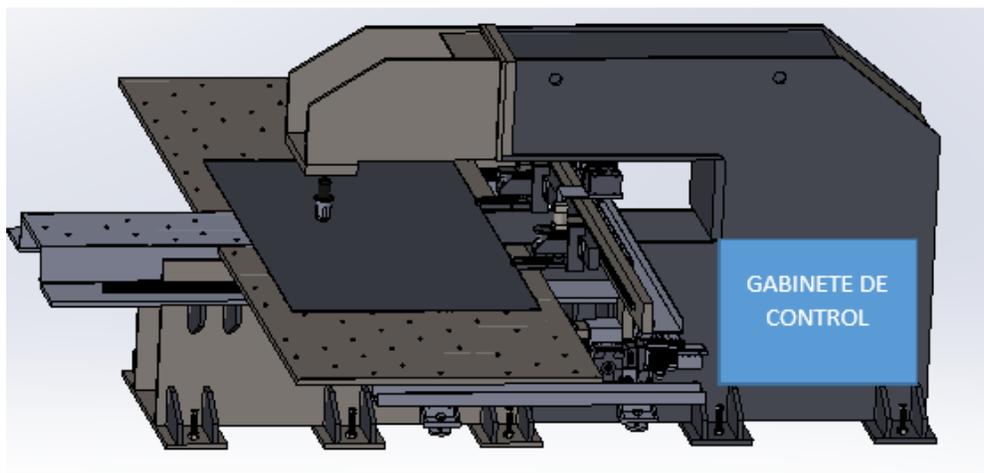


Figura 46. Ubicación del tablero de control de la punzonadora

La Figura 47 muestra el funcionamiento general del sistema de control. Todo el circuito está protegido mediante un breaker principal, para el inicio de todo el sistema se cuenta con un interruptor de encendido y apagado de la máquina (encen), existe dos pulsadores para encender y

apagar la bomba hidráulica (ON-OFF), cuando existe un problema en el funcionamiento existe un pulsador de emergencia que detiene todo el proceso (Emer); posee cuatro luces piloto para indicar encendido de todo el sistema, encendido y apagado de la bomba, finalmente la luz de emergencia.

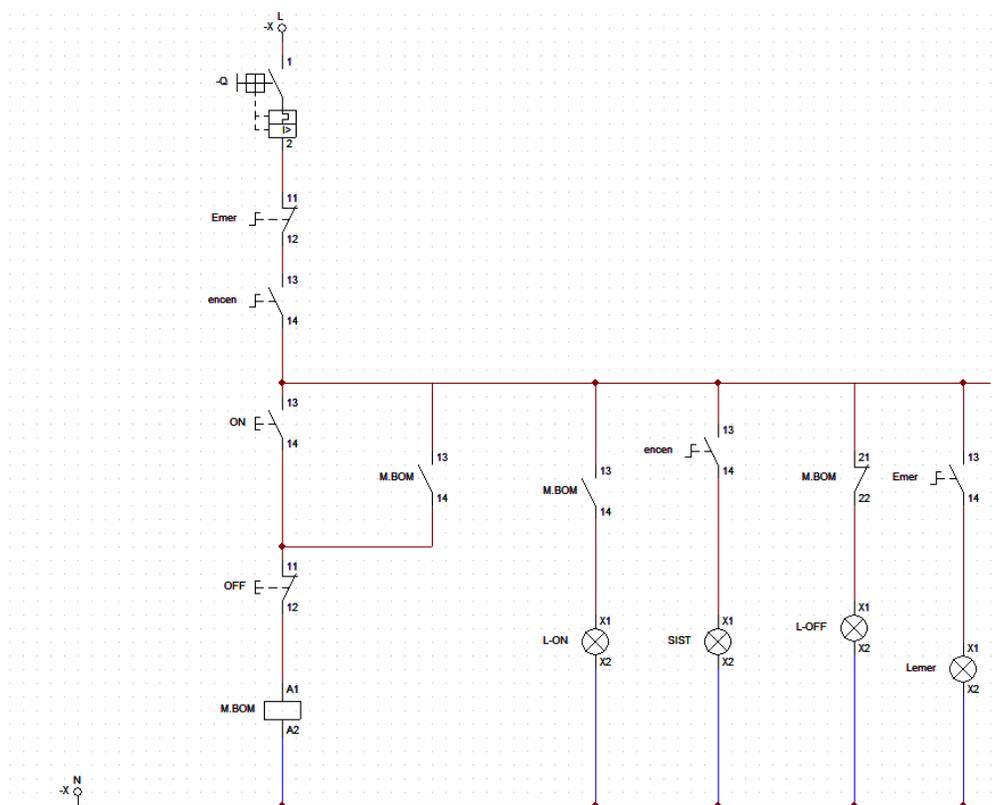


Figura 47. Circuito General del sistema

Dentro del tablero de control van ubicados elementos importantes para realizar actividades como: el movimiento en los ejes, activación del sistema hidráulico, visualización de emergencia y manipulación de encendido y apagado de la máquina. La Tabla 18 muestra los elementos que se utiliza para controlar la punzonadora:

Tabla 18
Elementos del tablero de control

Elemento	Voltaje de alimentación	Corriente
----------	-------------------------	-----------

CONTINÚA →

Fuente de alimentación de 24V DC	24V DC	1.2 A
Contactador	110V AC	4.5 A
Servomotores	185.3V	5.1 A
Solenoides de las electroválvulas	110V AC	2A
Motor Hidráulico	380V AC	12.1A
Relé	24V DC	6A
Breaker eléctrico	400V	63A
Interruptor	110V AC	23 A
Pulsador	110V AC	10 A
Luces Piloto	110V AC	1.2 A
Portafusibles	-----	-----
Borneras de paso y tierra	-----	-----
Riel Din	-----	-----
Canaletas	-----	-----

El operador va a ser quién manipula elementos como: selector ON/OFF, paro de emergencia, pulsadores para encendido y apagado de la bomba hidráulica, incluso puede visualizar las alarmas en la computadora y en el panel de control. La guía GEDIS recomienda los diferentes tipos de color de luces para el funcionamiento de la máquina, por ejemplo, el color verde indica el encendido de la máquina y el color rojo el apagado, recomienda también que el paro de emergencia debe estar ubicado de tal manera que sea visible y de rápido acceso para el operador para cualquier situación grave que se dé.

Para la activación y desactivación de los actuadores hidráulicos de la máquina, tanto para el punzonado y para la activación de las pinzas que sujetan las chapas metálicas, se utilizan electroválvulas que se activan mediante una señal que se manda desde la tarjeta de control (Apollo III) y pasa por un relé que manda la señal a cada solenoide.

Se requiere de dos electroválvulas; la primera para activación del cilindro hidráulico que realizará la perforación o deformación de las chapas metálicas y la segunda electroválvula que

activará los dos cilindros hidráulicos para la sujeción de las planchas. Para esto los solenoides que se van a utilizar trabajan con un voltaje de 110V AC.

Mediante la tarjeta de control Apollo III, que emite señales de 24V DC, que va a permitir activar al relé, el cual mandará una señal a los solenoides de las electroválvulas para determinar la duración del funcionamiento de los cilindros hidráulicos.

El breaker eléctrico principal sirve como protección para todo el sistema, para se realiza una suma de todas las corrientes de las cargas principales del sistema, como son: una fuente de alimentación de 24V DC, dos solenoides, dos contactores, dos relés, un motor hidráulico, dos servomotores y un pulsador.

$$I_{total} = I_{fuente} + I_{contactor} + I_{2solenoides} + I_{2servomotores} + I_{2relés} + I_{pulsador} \\ + I_{motorhidráulico}$$

$$I_{total} = 58.5 A$$

Para el funcionamiento del sistema se necesitará de una corriente de 58.5 A; no obstante, los proveedores eléctricos existentes en el mercado, disponen de 63 A, siendo el más semejante para la aplicación, misma que no presentará inconvenientes en casos fortuitos de sobrecarga de corriente.

3.5 Software de Control Mach3 y Tarjeta de control Apollo III

En el apartado, se explica de una manera general el funcionamiento y comunicación entre el software Mach3, la tarjeta de control Apollo III y los drivers de los servomotores; el primero permite comunicar los servomotores por medio de una computadora para el control de la máquina. Para su comunicación utiliza un puerto paralelo (DB25) o por un puerto serial (COM).

La Figura 48 muestra la pantalla principal del software Mach3, en donde se visualiza los desplazamientos en los ejes, procesos en tiempo real, alarmas del sistema, configuraciones, comandos principales, código G, entre otros, que permiten controlar a la punzonadora CNC. El

software funciona mediante señales de pulsos, donde comunica del puerto paralelo directamente a los drivers, que tiene tres tipos de condiciones: velocidad, pasos y la dirección.

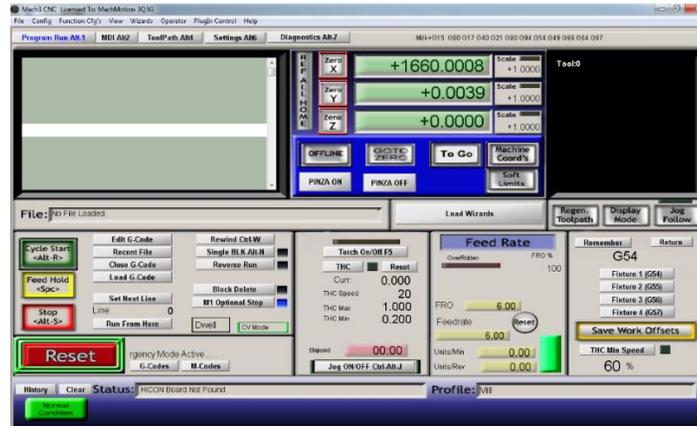


Figura 48. Pantalla principal software Mach3

La Figura 49 muestra la conexión para el control de los servomotores, el que básicamente inicia en los drivers, seguido de la tarjeta de control Apollo III y termina en la computadora con el software Mach3, los que deben funcionar de manera conjunta para el desplazamiento en los ejes “X”, “Y”.

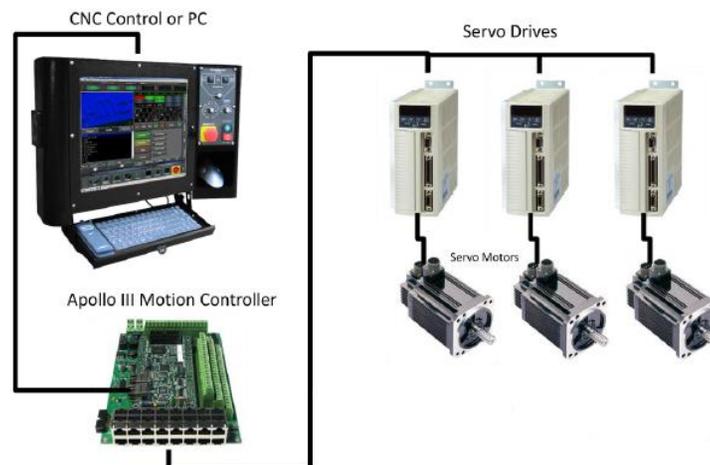


Figura 49. Conexión entre Mach3, Apollo3 y servomotores

Fuente: (MACHMOTION, 2011)

3.6 Resumen

Una vez registrado y analizado los requerimientos del cliente y los funcionales, se obtuvo como resultado de la matriz QFD con las características más relevantes para el diseño y construcción de la punzonadora que son: el área de trabajo de 4.88 m x 2.44 m, una velocidad óptima de punzonado y la precisión de manera que cumpla la tolerancia impuesta.

Para el diseño de la estructura principal de la punzonadora, se obtuvo un factor de seguridad de 4.29, siendo un indicador óptimo para que la máquina no presente ningún inconveniente; la fuerza máxima que se necesita para punzonar fue de 22 toneladas a una presión de 2240.85 Psi, mientras que el motor de la bomba hidráulica tiene una potencia de 7.6 HP. La junta apornada de la cabeza de punzonado necesita pernos de $1\frac{1}{2}$ de tamaño para que soporte el punzonado, la fuerza de sujeción para el agarre de las planchas metálicas es de 200 Kgf, por ende, se necesita una fuerza de 220 Kgf mínimo para abrir dichas pinzas.

En la parte de control de la punzonadora se utilizó la tarjeta Apollo III, la que recibe señales de la computadora directamente del software Mach 3, para posteriormente enviarlos a los drivers de los servomotores y de los solenoides de los cilindros hidráulicos, para realizar los movimientos en los ejes, abrir o cerrar pinzas y punzonar chapas metálicas.

CAPÍTULO IV

CONSTRUCCIÓN E IMPLEMENTACIÓN

En el capítulo se describirá todo el proceso de construcción e implementación de la máquina punzonadora CNC, iniciando con la construcción de la estructura, posteriormente implementación del sistema de movimiento, construcción e implementación del sistema de sujeción de planchas metálicas, implementación del sistema hidráulico, implementación del sistema de punzonado y finalmente la instalación del panel de control.

4.1 Construcción de la estructura de la punzonadora CNC

La estructura de la punzonadora es de material de Acero A36, con un espesor de las placas de 1 y 2 pulgadas. Toda la construcción de la estructura se realizó en la empresa EnergyPetrol S.A., aprovechando las máquinas que tienen a disposición. La Figura 50 muestra la ubicación de las planchas de Acero A36 de 1 y 2 pulgadas.

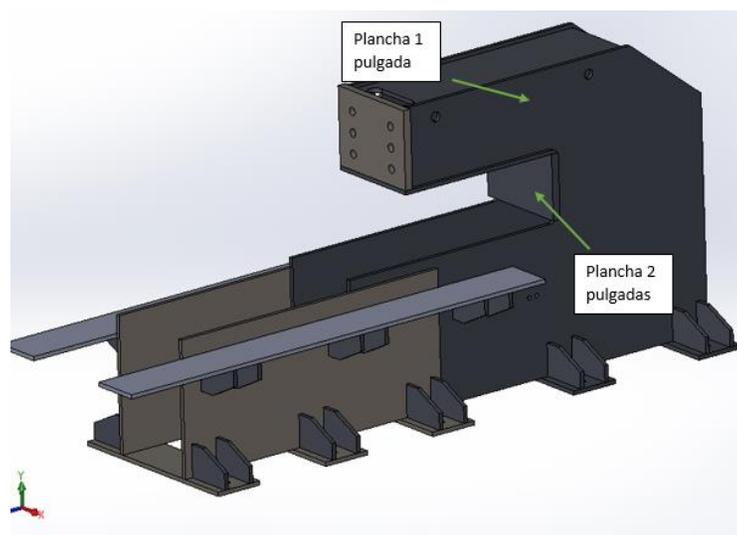
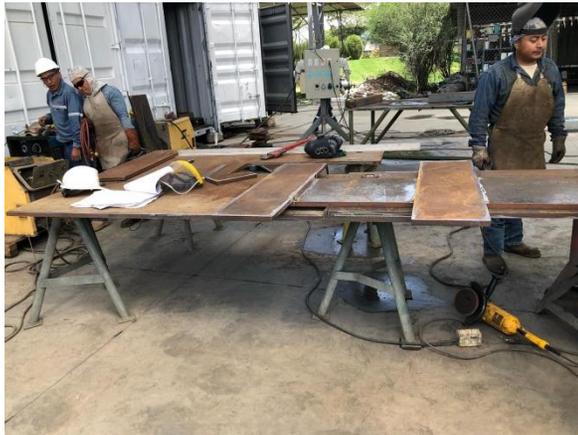


Figura 50. Ubicaciones planchas 1 y 2 pulgadas

En la Figura 51 se muestra el ensamble de la estructura de la punzonadora, así: a) se procede a soldar la base de la estructura, b) se ubican los soportes laterales con la base, c) se verifica que los

laterales cumplan con paralelismo y perpendicularidad entre las caras y d) se tiene la estructura finalizada, tomando en cuenta que toda esta estructura fue soldada por FCAW.



(a)



(b)



(c)



(d)

Figura 51. Ensamble de la estructura de la punzonadora CNC

Una vez concluida la soldadura se realizó los ensayos no destructivos, mismo que se demuestra detalladamente en el Capítulo V. Posteriormente se pinta la estructura, para lo cual se sigue una serie de procedimientos. Primero se realiza un sand blasting, luego se aplica la primera capa que es un inorgánico de zinc, después se coloca una segunda capa que es un epóxico y finalmente se ubica la tercera capa que es de poliuretano. La Figura 52 muestra la pintura de la estructura de la máquina punzonadora CNC.



(a) (b)
Figura 52. Pintura de la estructura de la punzonadora CNC

4.2 Implementación del Sistema de Movimiento

Para el sistema de movimiento de las planchas en el eje “X” y de la mesa en el eje “Y”, se utilizó dos servomotores de 2000 rpm cada uno, los cuales constan de dos reductores de velocidad con una relación de 6.75:1. En la Figura 53 se observa la instalación y la ubicación de estos elementos principales.



Figura 53. Instalación de los servomotores con sus reductores

El sistema de movimiento es por piñón-cremallera para los desplazamientos en los ejes “X”, “Y”. Las distancias de cremallera para el eje “X” es de 4 metros y en el eje “Y” es de 2 metros, los

que disponen de lubricación automática. La Figura 54 muestra la instalación del piñón y cremallera en los dos ejes.



(a)



(b)

Figura 54. Instalación de piñón y cremallera

Para los desplazamientos se utilizan guías lineales con sus respectivos carros. El eje “X” con una guía lineal de 3.5 metros de longitud y el eje “Y” con cuatro guías lineales, dos de 2 metros de longitud y las otras de 1.5 metros. En la Figura 55 se puede apreciar la instalación de cada uno de estos elementos.



(a)



(b)

Figura 55. Instalación de las guías lineales

Para el desplazamiento de las planchas sobre la mesa de la punzonadora, se tiene bolas de desplazamiento, misma que sirve para que las chapas metálicas se desplacen con la menor fricción posible y realice las perforaciones o deformaciones. En la Figura 56 se observa la construcción e instalación de las bases.



(a)



(b)

Figura 56. Construcción e instalación de las mesas de bolas de desplazamiento

4.3 Construcción e Implementación del sistema de sujeción de plancha metálicas

El sistema de pinzas funciona con un mecanismo de resorte, el cual hace la presión necesaria para sujetar a las planchas metálicas. La fabricación del resorte se lo hizo en un proveedor, con las especificaciones y cálculos previamente hechos. La Figura 57 muestra los resortes que utilizan las pinzas.



Figura 57. Resorte utilizado en las pinzas

Después se procede a fabricar la estructura de las dos pinzas, las que previamente fueron cortadas en la máquina plasma o láser y algunas de sus partes se maquinó en la fresadora mediante código G. En la Figura 58 se muestra la estructura de las pinzas, su construcción e instalación de las mismas.



Figura 58. Construcción e instalación de las pinzas de sujeción

4.4 Implementación del sistema hidráulico

La Figura 59 muestra la implementación del sistema hidráulico, el cual consta de dos cilindros implementados en las pinzas de sujeción y un cilindro en la parte de la estructura de la cabeza. Los dos primeros sirven para abrir las pinzas y el último para realizar el corte o deformación en las planchas.

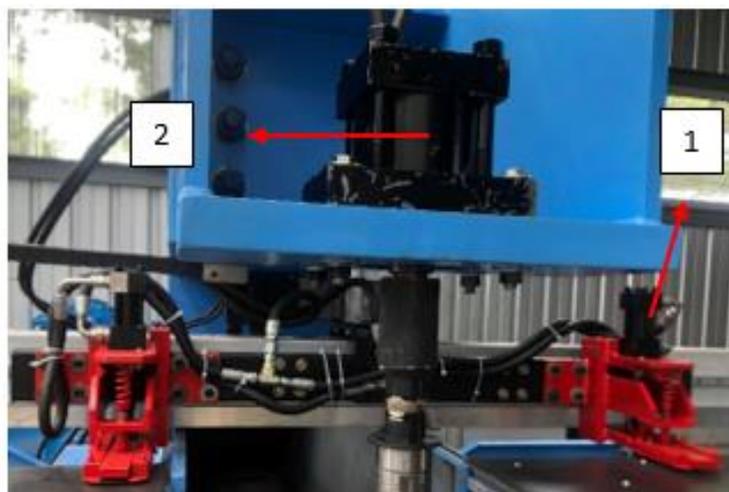


Figura 59. Actuadores hidráulicos

Para iniciar el accionamiento y puesta en marcha del sistema hidráulico, se recomienda realizar una purgación, este procedimiento trata de eliminar en todo el sistema gran parte del aire, consecuentemente existirá un derrame de aceite, por lo que es aconsejable que se disponga de 3 a 5 galones extras dependiendo de su tamaño. La Figura 60 muestra el procedimiento de purgado.



Figura 60. Procedimiento de purgado del sistema

4.5 Implementación del sistema de punzonado

La Figura 61 muestra la implementación del sistema de acople entre el cilindro y punzón macho, el que consta de: 1) cilindro hidráulico, 2) acople, el que fue fabricado en un torno teniendo en cuenta que aquí se puede realizar una regulación de altura tanto en el cilindro como en el punzón y 3) punzón macho.

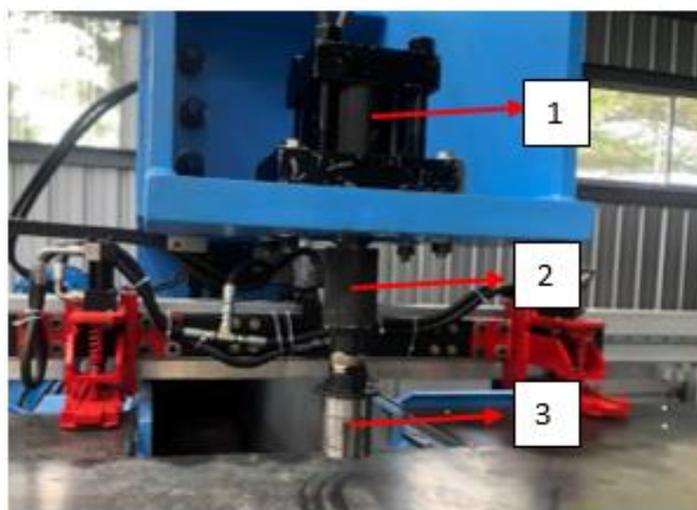


Figura 61. Sistema de acople entre cilindro y punzón macho

Para la estructura que va a soportar el golpe de punzonado se tiene: a) la base universal, la que fue fabricada en una fresadora mediante código G y b) la matriz hembra, la que puede ser reemplazada dependiendo de las necesidades del tipo de punzonado, como se muestra en la Figura 62.

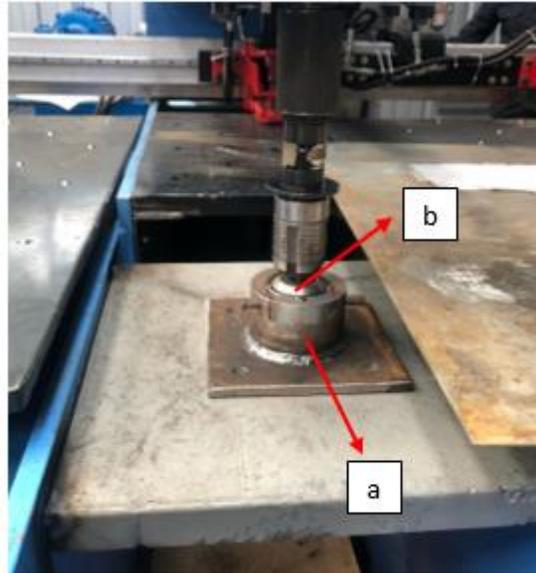


Figura 62. Base Principal del sistema de punzonado

4.6 Instalación del panel de control

Para la instalación del panel se utilizó un gabinete de control de acero inoxidable, de medidas 800x1200x380 mm, para lo cual se armó el panel con todos los elementos mencionados en el capítulo 3, por último, se implementó las luces piloto que se ubicaron en la parte externa del panel, que incluye el interruptor general de encendido y apagado de la máquina. La Figura 63 muestra el panel de control completo y la ubicación del mismo en la estructura de la punzonadora.



(a) (b)
Figura 63. Instalación del panel de control

4.7 Instalación del Control

Para el control se utiliza una computadora con software Mach3, desde donde se puede realizar las operaciones de punzonado o deformación en las planchas metálicas, desde donde el operador juega un papel importante por cuanto controla todo el proceso. La Figura 64 muestra la ubicación del computador desde donde el operador va a manejar la máquina.



Figura 64. Instalación de la computadora de control

4.8 Resumen

La punzonadora CNC fue construida e implementada en las instalaciones de la empresa, en donde se realizó los siguientes procesos como muestra la Figura 65:

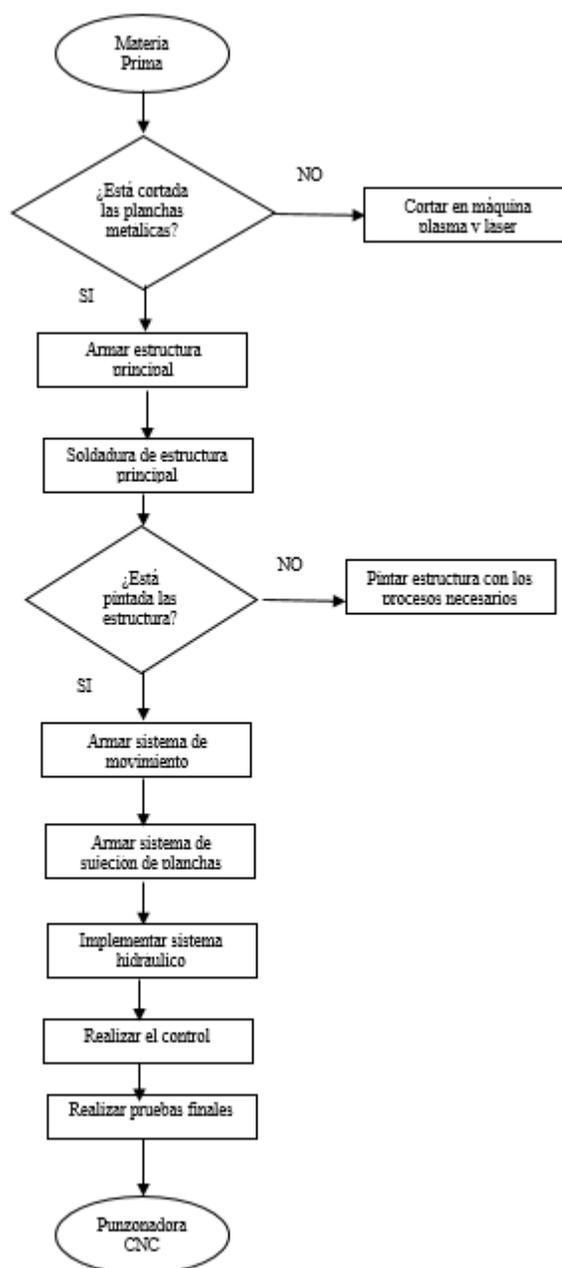


Figura 65. Diagrama de procesos de construcción de la punzonadora

CAPÍTULO V

PRUEBAS Y RESULTADOS

El capítulo muestra las diferentes pruebas de ensayo no destructivos de soldadura, precisión, velocidad de punzonado, de desplazamiento y fuerza que se realizó en la punzonadora una vez que fue construida y entró en funcionamiento, con el objetivo de garantizar que la máquina trabaje con las especificaciones de diseño que se planteó.

5.1 Especificaciones de la punzonadora CNC

La Tabla 19 muestra las especificaciones técnicas reales de la punzonadora CNC, tanto en estructura, peso, área de trabajo, precisión, velocidad, fuerza, espesor y tamaño de las planchas, elementos de control y tipo de herramientas.

Tabla 19
Especificaciones reales de la punzonadora CNC

Especificaciones técnicas	Descripción
Estructura	Robusta
Dimensiones:	
Anchura	4.9 m
Profundidad	4.7 m
Altura	2 m
Peso de la máquina	5.5 toneladas aproximadamente
Área de trabajo (X Y)	4.88 m x 2.44 m
Precisión de corte o deformado	± 0.1 mm
Velocidad eje X	0.55 m/s
Velocidad eje Y	0.55 m/s
Velocidad de punzonado	2.5 cm/s
Fuerza máxima de punzonado	22 toneladas
Espesores de plancha para punzonado	1 mm a 6 mm en acero normal 1mm a 3mm en acero inoxidable
Tamaño de planchas máximo	1.22 m x 2.44 m
Velocidad de servomotores	2000 rpm
Elementos de Control	Tarjeta Apollo III Mach 3
Herramientas actuales	Dos punzones de deformación
Cambio de herramienta	Manual

5.2 Pruebas de Ensayos No Destructivos

Se realizó la soldadura de la estructura principal mediante el procedimiento FCAW, para esto se utilizó la norma AWS D1.1 que corresponde a “Código de soldadura estructural de acero”, por ser la más adecuada para el tipo de máquina. En el Anexo C se puede observar el WPQ (Calificación de los soldadores), WPS (Especificación de procedimiento de soldadura) y PQR (Calificación del procedimiento de soldadura).

Finalizada la soldadura se realiza pruebas de inspección de ensayos no destructivos, utilizando la norma ASME Sección V que trata sobre ensayos con líquidos penetrantes. Se realizó esta prueba para verificar si existe discontinuidades, grietas, porosidades o pinholes en la soldadura, es decir defectos superficiales.

La Figura 66 muestra las pruebas de ensayos no destructivos, en donde la primera imagen (a) señala la junta 05 que no tiene desperfectos y la segunda (b) muestra la junta 01 que posee una porosidad, como se demuestra en el Anexo B el informe final de inspección de todas las juntas a las que se realizó las pruebas de soldadura.



Figura 66. Ensayo No Destructivo

5.3 Pruebas de precisión

Para las pruebas de precisión se incorporó en la parte del punzón macho, una punta de esfero, en donde tomábamos diferentes puntos de un rectángulo y se medía las distancias y precisiones en el

mismo punto antes dejado. Estos valores se verificaban si cumple la tolerancia de especificación de la máquina punzonadora CNC de ± 0.1 mm

Para la prueba se marcaba 4 puntos diferentes y se tomó la medida de los 4 lados “a”, “b”, “c” y “d”. La Figura 67 muestra el acople que se le hizo a la punzonadora para realizar las pruebas de precisión.



Figura 67. Pruebas de precisión

La medida teórica para el eje “X” es de 1800 mm, para el eje “Y” es de 700 mm, mientras que las medidas experimentales son las que se muestran en la Tabla 20.

Tabla 20
Pruebas de precisión

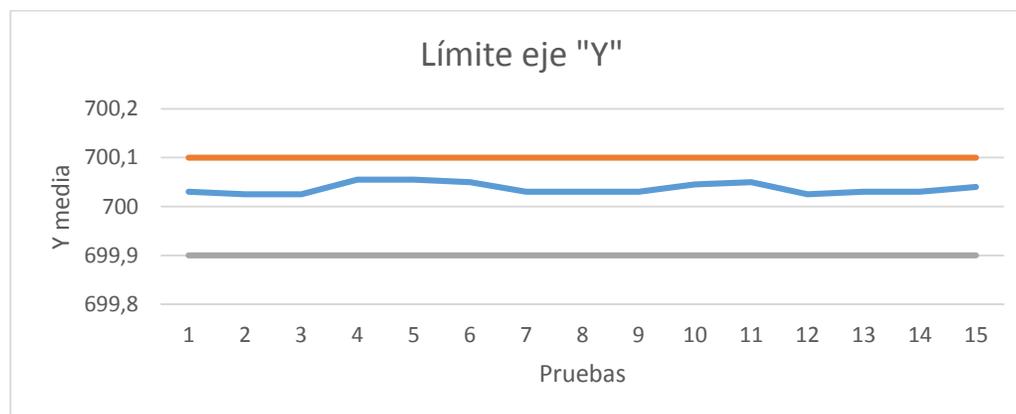
PRUEBA	Distancia medida "lado a" [mm]	Distancia medida "lado c" [mm]	Y(MEDIA)	s (DESVIACIÓN ESTÁNDAR)	Distancia medida "lado b" [mm]	Distancia medida "lado d" [mm]	X(MEDIA)	s (DESVIACIÓN ESTÁNDAR)
1	700,04	700,02	700,03	0,014	1800,05	1800,05	1800,05	0
2	700,03	700,02	700,025	0,007	1800,04	1800,05	1800,045	0,007
3	700,04	700,01	700,025	0,021	1800,04	1800,06	1800,05	0,014
4	700,06	700,05	700,055	0,007	1800,04	1800,06	1800,05	0,014
5	700,05	700,06	700,055	0,007	1800,03	1800,04	1800,035	0,007
6	700,05	700,05	700,05	0	1800,04	1800,05	1800,045	0,007
7	700,02	700,04	700,03	0,014	1800,05	1800,02	1800,035	0,021
8	700,04	700,02	700,03	0,014	1800,05	1800,02	1800,035	0,021
9	700,04	700,02	700,03	0,014	1800,05	1800,03	1800,04	0,014
10	700,04	700,05	700,045	0,007	1800,04	1800,03	1800,035	0,007
11	700,04	700,06	700,05	0,014	1800,04	1800,03	1800,035	0,007
12	700,03	700,02	700,025	0,007	1800,03	1800,04	1800,035	0,007
13	700,03	700,03	700,03	0	1800,03	1800,03	1800,03	0
14	700,02	700,04	700,03	0,014	1800,02	1800,02	1800,02	0
15	700,06	700,02	700,04	0,028	1800,02	1800,02	1800,02	0
			700,04	0,011			1800,04	0,008

Los resultados de la Tabla 20 se observa el promedio de media de los ejes "X" "Y", así como promedio de la desviación estándar:

$$X: \quad \bar{X} = 1800,04 [mm] \quad \bar{s} = 0,008 [mm]$$

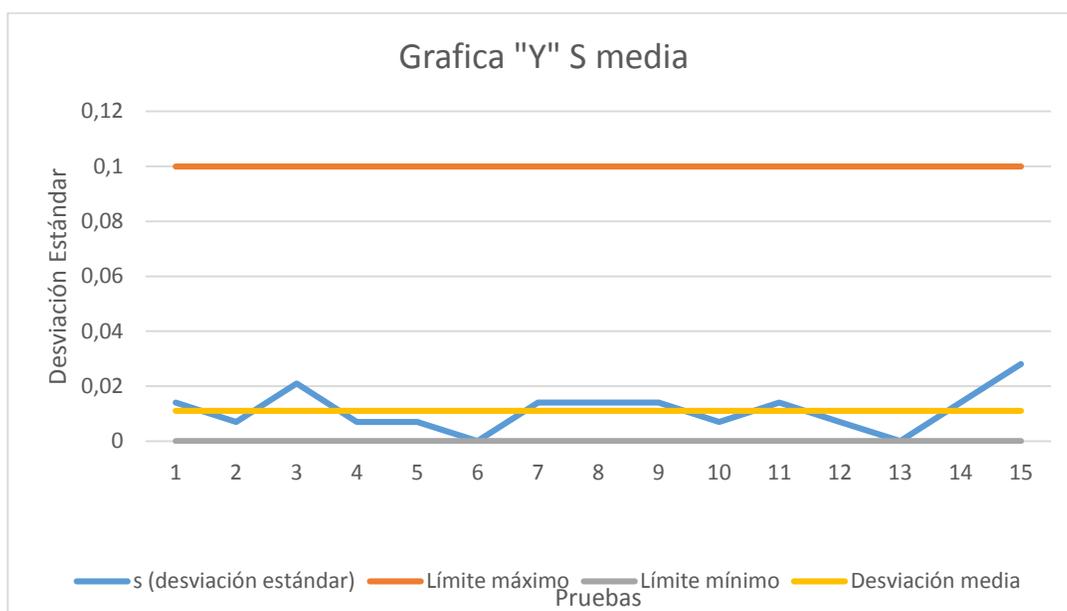
$$Y: \quad \bar{Y} = 700,04 [mm] \quad \bar{s} = 0,011 [mm]$$

La Figura 68 muestra los valores de media y desviación estándar para el eje "Y" considerando por requerimiento de diseño un error no mayor a 0.1 mm.



(a)

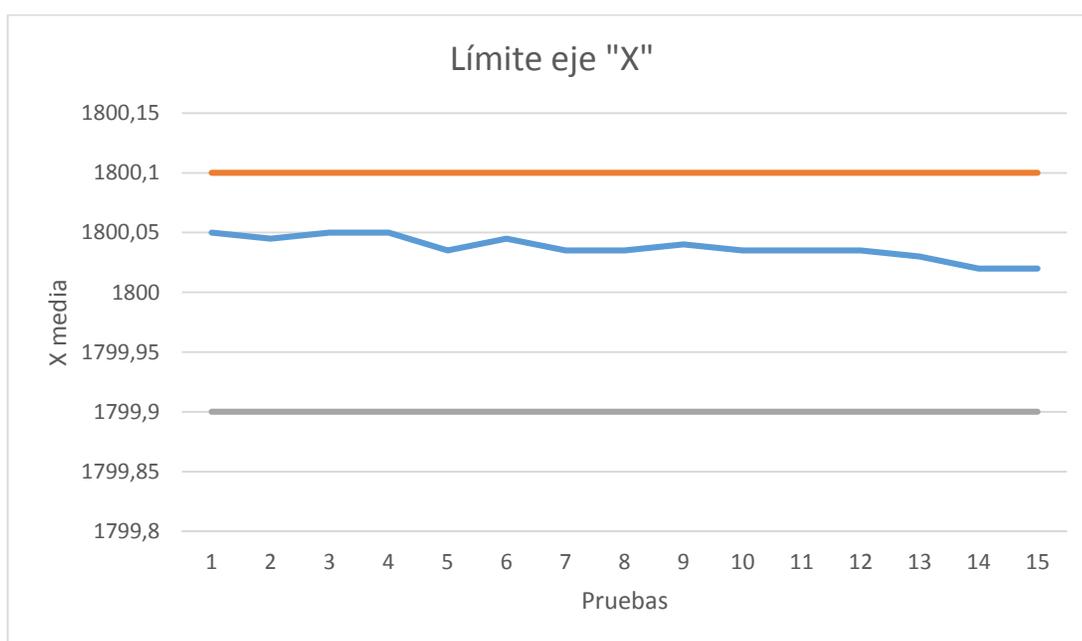
CONTINÚA →



(b)

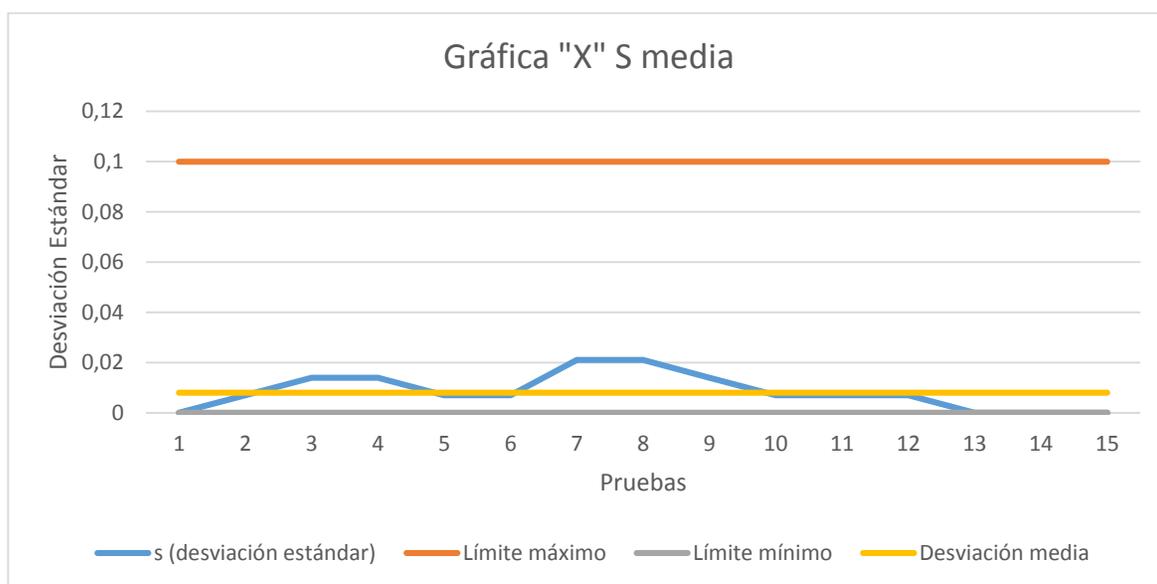
Figura 68. Análisis estadístico eje “Y”

La Figura 69 muestra los valores de media y desviación estándar para el eje “X” considerando por requerimiento de diseño un error no mayor a 0.1 mm.



(a)

CONTINÚA →



(b)

Figura 69. Análisis estadístico eje “X”

Como se observa en las gráficas anteriores, en donde se efectuó las pruebas de precisión, se demuestra que las líneas de dispersión están dentro de los límites de control de tolerancia de 0.1 mm, por lo que se encuentra en un control estadístico, es decir que el diseño que se planteó cumplió con las especificaciones requeridas.

Se aplicó un control estadístico únicamente para las pruebas de precisión porque éste debe manejarse dentro de los límites de tolerancia que establece la desviación estándar; mas no así para la velocidad de punzonado, velocidad de desplazamiento y fuerza de punzonado, ya que estos no inciden en la calidad del producto.

5.4 Pruebas de velocidad de punzonado

Para las pruebas de velocidad de punzonado, se puso en la máquina una plancha de acero normal de 2.5 mm de espesor, con huecos previamente hechos en una máquina láser. Se realizó así esta prueba porque la empresa dispone al momento dos punzones de deformado. La Figura 70 muestra las pruebas de velocidad de punzonado, que en este caso se ocupó punzones de deformación.

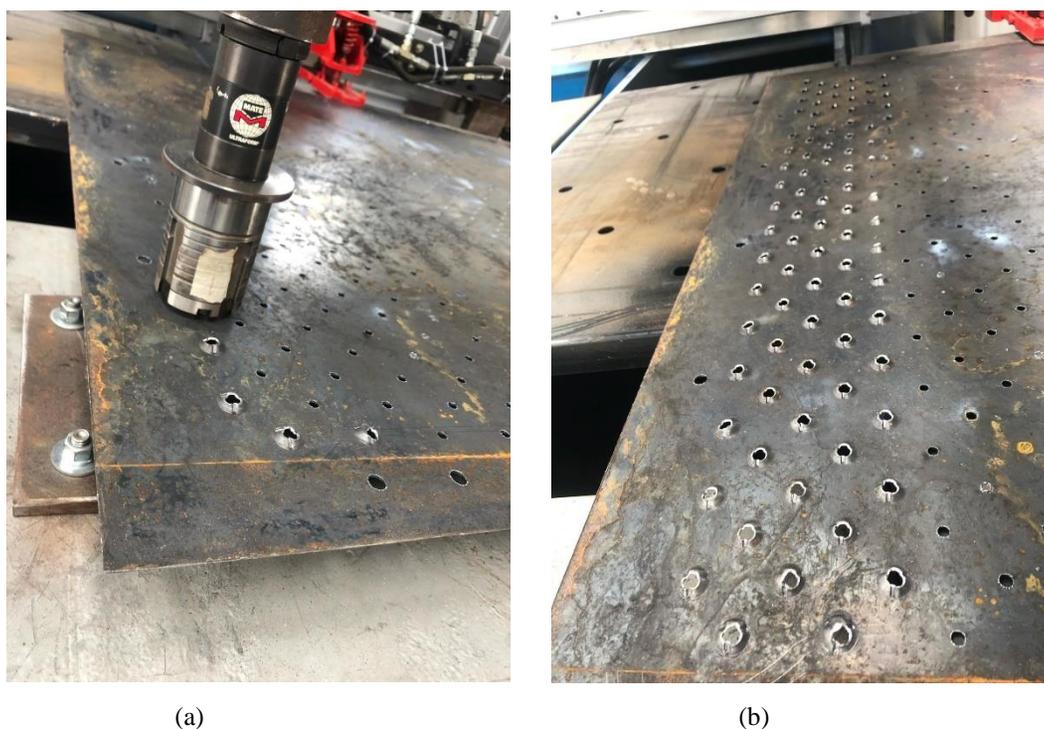


Figura 70. Prueba de velocidad de punzonado

En esta prueba se tiene en cuenta que la velocidad de diseño que se impuso fue de $2.5 \frac{cm}{s}$, que equivale a 30 punzonadas en un minuto. Para ello se realizó varias pruebas en la plancha, tomando el tiempo de un minuto y así verificando cuantas punzonadas realiza. La Tabla 21 muestra los resultados de la evaluación realizada de la velocidad de punzonado.

Tabla 21
Pruebas de velocidad de punzonado

Tiempo [min]	Distancia de separación entre circunferencias [mm]	# Punzonadas teóricas	# Punzonadas medidas
1	15	30	34
1	15	30	34
1	40	30	32
1	40	30	32
1	70	30	30
1	70	30	30

CONTINÚA →

1	100	30	29
1	100	30	29

Los resultados muestran que a mayor distancia el número de punzonadas por minuto disminuye, pero como la empresa por el momento tiene distancia entre circunferencia hasta de 100 mm, quiere decir que las especificaciones de diseño de 30 punzonadas por minuto es adecuada para la producción que necesitan.

5.5 Pruebas de velocidad de desplazamiento

Para las pruebas de velocidad de desplazamiento en los ejes (X Y), se realizaron diferentes evaluaciones al equipo, tomándose algunas distancias y verificando el tiempo invertido, así poder definir si la velocidad de desplazamiento de $550 \frac{mm}{s}$ equivale a la real del proceso. En la Tabla 22 se puede observar los resultados de la evaluación realizada de las pruebas de velocidades de desplazamiento.

Tabla 22

Pruebas de velocidad de desplazamiento

Eje	Distancia [mm]	Tiempo [s]	Velocidad Teórica [mm/s]	Velocidad Medida [mm/s]
X	550	0.9	550	611.11
	550	0.9	550	611.11
	550	11	550	550
	1100	1.8	550	611.11
	1100	1.9	550	578.95
Y	550	1.1	550	500
	550	1.1	550	500
	550	1.2	550	458.33
	1100	2.2	550	500
	1100	2.3	550	478.261

5.6 Pruebas de fuerza de punzonado

Para las pruebas de fuerza de punzonado, se realizó deformaciones en distintos espesores de planchas metálicas y materiales. Cabe recalcar que la fuerza de punzonado que se impuso para el diseño fue de 22 toneladas a una presión de 2240.85 *Psi* para planchas de 1 mm a 6mm en acero normal, y de 1mm a 3mm en acero inoxidable. La Figura 71 muestra pruebas de fuerza de punzonado que se realizó en plancha de 3mm en aluminio y 2.5 mm en acero normal.

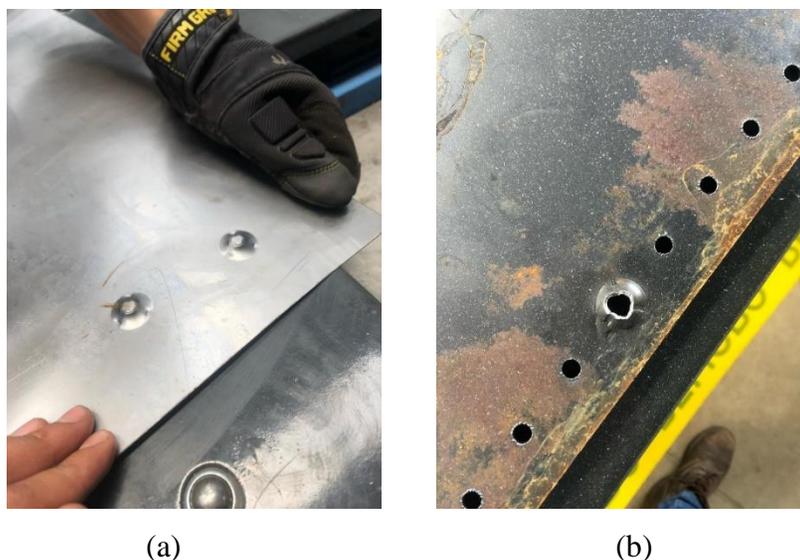


Figura 71. Pruebas de fuerza en planchas

La Tabla 23 muestra los resultados obtenidos de fuerza y presión, para acero normal y acero inoxidable.

Tabla 23
Pruebas de fuerza de punzonado

Material	Espesor [mm]	Fuerza [ton]	Presión [Psi]
Acero normal	1	3.81	389.66
Acero normal	2	7.63	780.34
Acero normal	2.5	9.53	974.66
Acero normal	3	11.44	1170

CONTINÚA →

Acero normal	4	15.25	1519.66
Acero normal	5	19.07	1950.34
Acero normal	6	22.88	2340
Acero inoxidable	1	7.2	736.364
Acero inoxidable	2	14.4	1472.73
Acero inoxidable	3	22	2250

5.7 Resumen

Las pruebas que se realizaron fueron: ensayos no destructivos, de precisión, velocidad de punzonado, velocidad de movimiento, fuerza de punzonado. En cada una de éstas se compró que la punzonadora cumple con las especificaciones de diseño impuestas desde un principio, por lo que se garantiza el perfecto funcionamiento de la misma.

Se obtuvieron los siguientes resultados:

- Precisión: ± 0.1 mm
- Velocidad de punzonado: 30 punzonadas por minuto
- Velocidad de movimiento: 0.55 m/s
- Fuerza de punzonado: 22 toneladas

CAPÍTULO VI ANÁLISIS ECONÓMICO

En el capítulo se desarrolla los costos de los materiales adquiridos tanto a nivel local como importados y los precios de los servicios de maquinado y la mano de obra de todo el personal que se utilizó para la fabricación, instalación, y funcionamiento de la máquina punzonadora CNC, así como la comparación financiera con otras máquinas de similares características y funcionamiento.

6.1 Costos de materiales importados

En la Tabla 24 se muestran los costos de los materiales importados por \$ 36.940,00 USD, mismo que no fueron adquiridos en nuestro país por sus elevados costos, si bien estos tardaron en su importación desde 1 mes hasta máximo 4 meses, su beneficio fue de carácter económico a favor de la empresa.

Tabla 24
Costos de materiales importados

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Servomotor	2	\$ 1450	\$ 2900
2	Drivers	2	\$ 1000	\$ 2000
3	Computadora con Software Mach3	1	\$ 3000	\$ 3000
4	Sistema de Control	1	\$ 8000	\$ 8000
5	Punzones	2	\$ 1000	\$ 2000
6	Guías lineales	1	\$ 3700	\$ 3700
7	Piñón – cremallera	1	\$ 5340	\$ 5340
8	Sistema hidráulico	1	\$ 10000	\$ 10000
			Total	\$ 36940

Se puede observar que el costo total de los materiales importados fue de \$ 36.940,00 USD. Todos estos elementos mencionados anteriormente son los más caros a comparación de los materiales que se adquirió aquí mismo en el país.

6.2 Costos de materiales locales

Los costos de los materiales que se adquirieron en el país alcanzaron a \$ 11.440,00 USD, los cuales fueron adquiridos a diversos proveedores, siendo su entrega de manera más rápida a diferencia de los elementos que se importaron, teniendo como ventaja el ahorro del tiempo, garantías y devoluciones en caso de fallas. La Tabla 25 muestra los costos de los materiales locales.

Tabla 25
Costos de materiales locales

Ítem	Descripción	Cantidad	Valor Unitario	Valor Total
1	Plancha Acero A36 2"	1	\$ 2000	\$ 2000
2	Plancha Acero A36 1"	3	\$ 1000	\$ 3000
3	Plancha Acero A36- 1/2"	3	\$ 500	\$ 1500
4	Plancha Acero A36 10 mm	2	\$ 400	\$ 800
5	Plancha Acero A36 6 mm	2	\$ 300	\$ 600
6	Plancha Acero A36 3 mm	2	\$ 250	\$ 500
7	Plancha Acero A36 2.5 mm	2	\$ 200	\$ 400
8	Resortes	2	\$ 30	\$ 60
9	Mangueras y Acoples Hidráulicos	1	\$ 300	\$ 300
10	Elementos Eléctricos	1	\$ 280	\$ 280
11	Otros	1	\$ 2000	\$ 2000
			Total	\$ 11440

6.3 Costos de servicios

El costo de servicios nos da un total de \$ 21.620,00 USD, cabe mencionar que por reservación exclusiva de la empresa no se detalla la información. Pero en este gasto abarca todo lo que fue servicios de maquinado que se realizó afuera de la empresa y la mano de obra de todo el personal que se utilizó para la fabricación de la punzonadora CNC.

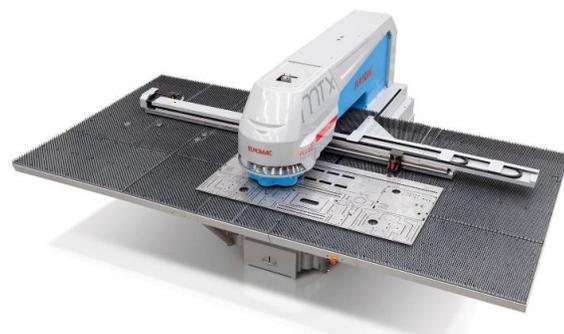
Sumando todos los costos tanto importados, locales y de servicios se concluye que el costo de implementación total de la máquina punzonadora CNC fue de \$ 70.000,00 USD.

6.4 Comparación de costos con máquina comercial

Se realiza una comparación con dos modelos de punzonadora CNC comerciales. En la Figura 72 se muestra dos punzonadoras CNC, la primera es de marca TRUMPF modelo TRUMATIC 200 R y la segunda de la marca EUROMAC modelo MTX PLUS FLEX 6 SERIES.



(a)



(b)

Figura 72. Punzonadoras CNC comerciales

La punzonadora CNC TRUMPF podemos observar que es un modelo del año 1995 y su precio es de \$ 265.000,00 USD. En cambio, por el otro lado se tiene una punzonadora CNC de marca DURMA, esta máquina es un modelo actual y su precio es de \$ 546.402,00 USD.

Cabe recalcar que estas dos máquinas son libres de impuesto, pero al momento de traerles al país se imputa el 12% del IVA, por ende, la primera máquina costaría aproximadamente \$ 296.800,00 USD y la segunda máquina saldría en \$ 611.970,00 USD.

Haciendo una comparación con la máquina realizada en la empresa y la punzonadora TRUMPF, se tiene un ahorro de \$ 226.800,00 USD, que significa el 76.41% y con la máquina punzonadora DURMA, se tiene un ahorro de \$ 476.402,00 USD, que significa el 87.19%.

6.5 Resumen

Los materiales de la punzonadora fueron adquiridos tanto en otros países, como a nivel nacional. El costo de la punzonadora fue de \$ 70.000,00 USD, lo que significa que para la empresa se tuvo un ahorro en comparación a la punzonadora TRUMPF de un 76.41% y con respecto a la punzonadora DURMA del 87.19%, lo que significa que tuvo la empresa con este proyecto grandes beneficios. Cabe mencionar que esta punzonadora CNC es la primera realizada en el Ecuador, con las características que posee.

CAPÍTULO VII

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

7.1 Conclusiones

Se diseñó y construyó una máquina punzonadora CNC para la empresa EnergyPetrol S.A., de 5.5 toneladas de peso y una fuerza máxima de punzonado de 22 toneladas, con una capacidad suficiente para realizar deformaciones y perforaciones en planchas de aluminio, acero normal de espesor de 1mm hasta 6 mm y planchas de acero inoxidable de 1 mm hasta 3 mm de espesor.

Se definió una estructura robusta para el soporte de punzonado con dimensiones de 4.9 m de ancho, 4.7 m de profundidad y 2 m de altura, compuesta de material de Acero A36. En el punzonado se utilizó un sistema hidráulico a través de un motor con una potencia de 7.6 HP, a fin de abastecer la suficiente fuerza, capaz de perforar o deformar las planchas metálicas 30 veces por minuto, con una carrera de pistón de 25 mm. En el movimiento de la mesa se utilizaron dos servomotores de 1.34 HP de potencia y 2000 rpm, cada uno de estos incorporados con reductores de velocidad de 6.75:1; para el desplazamiento se utilizó el mecanismo piñón-cremallera con guías lineales, con una velocidad de 0.55 metros por segundo en un área de trabajo de 4.88 m x 2.44 m. En la sujeción de las planchas metálicas se utilizó un sistema de pinzas, el que consta de un resorte que ejerce una fuerza de 200 Kgf de sujeción.

Se logró establecer un control automático a través de la tarjeta Apollo III, la que recibe señales de una computadora con software Mach3, para el control de los movimientos de los servomotores cada uno con sus respectivos drivers, así como para la activación del sistema de punzonado y para la sujeción de las planchas metálicas de la tarjeta a los solenoides, logrando efectuar las deformaciones o perforaciones en las chapas metálicas.

Se entregó a la empresa EnergyPetrol S.A. un máquina punzonadora CNC diseñada y construida en el Ecuador, que permite realizar perforaciones y deformaciones de las planchas metálicas cumpliendo todas las especificaciones requeridas y garantizando el perfecto funcionamiento de la misma, con una precisión de $\pm 0.1 \text{ mm}$ y una mayor seguridad. Además, la optimización del

personal operativo por cuanto para el manejo o funcionamiento de esta máquina se requiere de un operador y su producto es de mayor calidad.

7.2 Recomendaciones

En la máquina punzonadora se recomienda mejorar los extremos de la mesa, ya que el peso de las planchas, provoca deflexión, por lo que es necesario reforzar las esquinas, mediante soportes metálicos o extender las guías lineales de los extremos con el fin de que las planchas se mantengan rectas, firmes y no afecten la perforación o deformación.

Para mayor aprovechamiento de la máquina y futuro crecimiento de la empresa, se recomienda mejorar el mecanismo de sujeción de las planchas metálicas, a través de un nuevo resorte con mayor fuerza de apriete, permitiendo optimizar el uso de la máquina y obtener mayores réditos económicos.

Se recomienda implementar un control móvil, para que el operador pueda realizar tareas de supervisión y manejar remotamente la punzonadora CNC, facilitando su encendido, apagado, paro de emergencia, visualizar alertas y alarmas, movimiento de los ejes “X” y “Y”, controlar el cilindro de punzado y apertura de las pinzas de sujeción de las planchas.

Para optimizar los recursos materiales y económicos de la empresa, se recomienda implementar en la máquina un cambio de herramienta automático, capaz de acelerar el proceso de producción de una manera significativa y automatizada, ahorrando así tiempos en las reparaciones de la punzonadora.

7.3 Trabajos futuros

Para trabajos futuros que se realicen en la maquina punzonadora se propone:

- Implementación de un sistema de cambio de herramienta automático para minimizar tiempos que se emplean en los cambios manuales de los punzones macho y hembra.

- Implementación de visión artificial para que la punzonadora busque por sí misma perforaciones previamente hechas en la plancha metálica y realizar deformaciones en el mismo agujero, sin necesidad de un programa.

BIBLIOGRAFÍA

Altomar, t. (23 de julio de 2017). *Punzonado: claves para entenderlo*. Obtenido de <http://talleraltomar.es/punzonado-claves-para-entenderlo/>

Ambiental, i. D. (2009). *Bombas volumétricas*. Obtenido de http://gomez2010.weebly.com/uploads/5/8/0/2/5802271/6-_volumetricas_2.pdf

Anckaerts. (2018). *Correas trapezoidales*. Obtenido de <http://anckaerts.be/es/productos/correas-trapezoidales>

Ansi. (2005). *Aws d14.1*.

Ansi. (2015). *Aws d1.1*.

Asme. (2015). *Pruebas no destructivas sección v*.

Atlanta. (2018). *Atlanta drives systems*. Obtenido de <http://www.atlantadrives.com/>

Barragán, d. (2016). *Diseño e implementación de un prototipo de punzonadora cnc industrial automática para la empresa energypetrol s.a. quito*.

Bolton, w. (2002). *Mecatrónica sistemas de control electrónico en ingeniería mecánica y eléctrica*. Barcelona: alfaomega.

Budynas, r. (2008). *Diseño en ingeniería mecánica de shigley*. D.f.: mcgraw-hill/interamericana.

Castiglione, n. V. (2017). *Sistemas de transmisión de routers cnc*. *Letreros*, 22-24.

Deducetu. (2014). *Corte y punzonado*. Obtenido de <http://de-duce-tu.blogspot.com/p/4corte-y-punzonado.html>

Durma. (2018). *Empresa de importación y distribución de máquinas industriales*. Obtenido de <http://www.mahenor.com/catalogo-punzonadoras-cnc>

Electromecánica, p. (18 de junio de 2013). *¿cómo funciona un reductor o motorreductor?* Obtenido de <http://www.potenciaelectromecanica.com/calculo-de-un-motorreductor/>

Euromac. (2018). *Ferremayoreo*. Obtenido de http://www.ferrecatalogo.com/resultados_maquina.php?maquina=punzonadoras%20cnc%20serie%20mt%20x%20flex&button1=maquina

Famassa. (2018). *¿cómo elegir el tipo de guías para su centro de maquinado?* Obtenido de <http://www.famasa.com/centro-maquinado-guias-lineales-vs-cuadradas>

Groover, m. P. (2007). *Fundamentos de manufactura moderna*. D. F.: mcgraw-hill/interamericana.

Herramientas, d. M. (2014). *¿qué son las herramientas neumáticas y como funcionan?*

Herrera, j. (2013). *Repotenciación y automatización de una máquina punzonadora excéntrica marca wiedemann de 25 toneladas*. Riobamba.

Jutz, h. (2004). *Prontuario de metales*. Distrito federal: reverté ediciones.

Juvinall, r. (2012). *Fundamentals of machine component design*. Nj: john wiley & sons,inc.

Machmotion. (2011). *Controlador apollo iii*. Newburg.

Mate. (2018). *Precision tooling*. Obtenido de <https://www.mate.com/about/word-from-our-ceo/>

Molinero, c. (2017). *Punzonado con punzonadoras cnc*. *Interempresas*.

Muso, e. (2018). *Diseño e implementación de un robot tipo cartesiano para corte por plasma*. Quito.

Sacapol. (2017). *Catálogo de productos*. Obtenido de <http://www.angellarreina.com/wp-content/uploads/sacapol.pdf>

Through, p. (s.f.). *Motores y mecánica*. Obtenido de http://www.kc9aop.net/doc/link_pages/motors_and_mechanical_es.htm

Ulhi. (s.f.). *Procesos de fabricación por corte y conformado*. Obtenido de http://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/dfm/tfm/tfm08/es_dfm_tfm08_contenidos/website_2322_punzonado_por_punzonadora.html#