



**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DE
CHIMBORAZO**

**FACULTAD DE MECÁNICA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**“AUTOMATIZACIÓN DE UNA TROQUELADORA Y
DISEÑO DE UN TROQUEL PARA ARANDELAS DE
COBRE”**

CRUZ TAMAYO JUAN CARLOS

TESIS DE GRADO

Previa a la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

RIOBAMBA – ECUADOR

2015

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE APROBACIÓN DE TESIS

2013-07-09

Yo recomiendo que la Tesis preparada por:

JUAN CARLOS CRUZ TAMAYO

Titulada:

**“AUTOMATIZACIÓN DE UNA TROQUELADORA Y DISEÑO DE UN TROQUEL
PARA ARANDELAS DE COBRE”**

Sea aceptada como parcial complementación de los requerimientos para el Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Ing. Marco Santillán Gallegos.
DECANO DE LA FAC. DE MECÁNICA

Nosotros coincidimos con esta recomendación:

Ing. Elvis Arguello
DIRECTOR DE TESIS

Ing. Miguel Aquino
ASESOR DE TESIS

ESPOCH

Facultad de Mecánica

CERTIFICADO DE EXAMINACIÓN DE TESIS

NOMBRE DEL ESTUDIANTE: JUAN CARLOS CRUZ TAMAYO

TÍTULO DE LA TESIS: “AUTOMATIZACIÓN DE UNA TROQUELADORA Y DISEÑO DE UN TROQUEL PARA ARANDELAS DE COBRE”

Fecha de Examinación: 2015-03-05

RESULTADO DE LA EXAMINACIÓN:

COMITÉ DE EXAMINACIÓN	APRUEBA	NO APRUEBA	FIRMA
Dr. Julio Pérez Guerrero PRESIDENTE TRIB. DEFENSA			
Ing. Elvis Arguello DIRECTOR DE TESIS			
Ing. Miguel Aquino ASESOR			

* Más que un voto de no aprobación es razón suficiente para la falla total.

RECOMENDACIONES: _____

El Presidente del Tribunal certifica que las condiciones de la defensa se han cumplido.

Dr. Julio Pérez Guerrero
PRESIDENTE DEL TRIBUNAL

DERECHOS DE AUTORÍA

El trabajo de grado que presento, es original y basado en el proceso de investigación y/o adaptación tecnológica establecido en la Facultad de Mecánica de la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo. En tal virtud, los fundamentos teóricos – científicos y los resultados son de exclusiva responsabilidad del autor. El patrimonio intelectual le pertenece a la Escuela Superior Politécnica de Chimborazo.

Juan Carlos Cruz Tamayo

DEDICATORIA

El éxito que se alcanza en la vida depende de varios factores, que día tras día se los va cultivando y para ello se necesita de mucha constancia, responsabilidad y sobre todo amor en las cosas que se realice.

Así que este pedacito de éxito que estoy alcanzando, quiero dedicarlo a aquellas personas que han estado a lo largo de este camino, brindándome su apoyo y cariño incondicional. Principalmente a Dios que me ha bendecido, a mis queridos padres que han sido el pilar fundamental, a mi hermanita por sus sabios consejos, a mi sobrinita por su dulce ternura; y a todos los familiares y amigos que de una u otra manera forman parte de este logro en mi vida.

Juan Carlos Cruz Tamayo

AGRADECIMIENTO

La vida es una bella historia que tiene momentos inolvidables, por ello quiero dar gracia a Dios por brindarme la vida, a mi papito lindo que fue mi ejemplo y ahora es un lucero que me guía por el buen camino; a mi hermosa mamita que día tras día me brinda su cariño y amor incondicional, dándome fortaleza para seguir adelante; a mi querida hermanita junto con su esposo han alegrado mis días y me hacen ser mejor persona, a mi dulce sobrinita que llegó a mi vida con un rayito de luz trayéndome ternura y amor.

Asimismo, quiero dar un agradecimiento infinito a mis familiares, amigos, docentes, a mi institución y querida escuela de Ingeniería Mecánica que me abrió sus puertas brindándome conocimientos para mi vida profesional.

Juan Carlos Cruz Tamayo

CONTENIDO

Pág.

1.	INTRODUCCIÓN.....	3
1.1	Antecedentes	3
1.2	Justificación.....	3
1.2.1	<i>Justificación técnica.....</i>	<i>3</i>
1.2.2	<i>Justificación económica.....</i>	<i>4</i>
1.3	Objetivos	4
1.3.1	<i>Objetivo general.</i>	<i>4</i>
1.3.2	<i>Objetivos específicos:.....</i>	<i>4</i>
2.	MARCO TEÓRICO.....	5
2.1	Automatización.....	5
2.1.1	<i>Definición de automatización.....</i>	<i>5</i>
2.1.2	<i>Tipos de automatización.....</i>	<i>6</i>
2.1.3	<i>Elementos para automatizar.....</i>	<i>7</i>
2.1.3.1	<i>Contactor.....</i>	<i>7</i>
2.1.3.2	<i>Temporizador.....</i>	<i>8</i>
2.1.3.3	<i>Controlador lógico programable (PLC).....</i>	<i>8</i>
2.1.3.4	<i>Pulsador.....</i>	<i>9</i>
2.1.4	<i>Aplicaciones.....</i>	<i>10</i>
2.2	Troquelado	10
2.2.1	<i>Definición de troquel.....</i>	<i>12</i>
2.2.1.1	<i>Tipos de troqueles.....</i>	<i>12</i>
2.2.1.2	<i>Partes de un troquel de corte.....</i>	<i>14</i>
2.2.1.3	<i>Aplicaciones.....</i>	<i>21</i>
3	DISEÑO CIRCUITAL Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL.....	25
3.1	Determinación de las condiciones de la máquina.....	25
3.2	Parámetros de diseño circuital.....	27
3.3	Análisis y selección de alternativas.....	28
3.3.1	<i>Alternativas: ventajas y desventajas.....</i>	<i>28</i>
3.4	Diseño circuital	31
3.4.1	<i>Circuito de mando.....</i>	<i>32</i>
3.4.2	<i>Energización del sistema.....</i>	<i>32</i>
3.4.3	<i>Accionamiento de los embragues.....</i>	<i>33</i>

3.4.4	<i>Accionamiento manual de los embragues</i>	35
3.4.5	<i>Accionamiento automático de los embragues</i>	35
3.5	Selección de los elementos para el control.....	38
4.	DISEÑO DEL TROQUEL	40
4.1	Parámetros de diseño del troquel	40
4.2	Análisis y selección de alternativas.....	40
4.2.1	<i>Alternativas: ventajas y desventajas</i>	40
4.2.2	<i>Selección de alternativas por el método de ponderación</i>	43
4.2.3	<i>Resultados</i>	44
4.3	Diseño mecánico del troquel.....	44
4.3.1	<i>Fuerza necesaria para el corte</i>	45
4.3.2	<i>Diseño de la tira a troquelar</i>	47
4.3.2.1	<i>Separación mínima entre piezas a recortar (Sm)</i>	47
4.3.2.2	<i>Ancho (W) y paso (Ps) de la tira</i>	48
4.3.2.3	<i>Porcentaje de aprovechamiento de la tira (PA)</i>	48
4.3.3	<i>Ángulo de escape (α)</i>	52
4.3.4	<i>Fuerza de expulsión (F_{exp})</i>	52
4.3.5	<i>Fuerza de reposición (FR)</i>	53
4.3.6	<i>Diseño de los punzones</i>	54
4.3.6.1	<i>Cálculo de la longitud de los punzones</i>	54
4.3.6.2	<i>Dimensionamiento de los punzones</i>	58
4.4	Elementos del troquel	60
4.4.1	<i>Placa matriz</i>	60
4.4.2	<i>Espiga</i>	63
4.4.3	<i>Placa porta espiga</i>	64
4.4.4	<i>Placa de choque (sufridera)</i>	65
4.4.5	<i>Placa porta punzón</i>	67
4.4.6	<i>Placa guía</i>	68
4.4.6.1	<i>Guiado de la tira</i>	70
4.4.7	<i>Placa base</i>	71
4.4.8	<i>Columnas guías</i>	73
4.4.9	<i>Buje (bocín o casquillo)</i>	74
4.5	Sistemas del troquel	75
4.5.1	<i>Sistema de reposición</i>	75
4.5.1.1	<i>Pandeo en el muelle</i>	79
4.5.1.2	<i>Análisis de la fatiga en el muelle</i>	81

4.5.1.3	<i>Frecuencia crítica fundamental en el muelle</i>	89
4.5.2	<i>Sistema de tope automático</i>	91
4.5.3	<i>Sistema de expulsión</i>	93
4.6	Elementos de fijación y sujeción en el troquel	96
4.6.1	<i>Elementos de fijación</i>	96
4.6.1.1	<i>Pasadores</i>	96
4.6.2	<i>Elementos de sujeción</i>	97
4.6.2.1	<i>Tornillos allen</i>	97
5.	CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL Y PRUEBAS	98
5.1	Construcción del circuito de control	98
5.1.1	<i>Operaciones tecnológicas</i>	99
5.1.2	<i>Cursograma de construcción</i>	100
5.1.3	<i>Montaje del circuito</i>	101
5.2	Pruebas.....	103
5.2.1	<i>Plan de pruebas</i>	103
5.3	Verificación de los parámetros del diseño circuital.....	105
6.	CONSTRUCCIÓN DEL TROQUEL Y PRUEBAS	107
6.1	Construcción del troquel.....	107
6.1.1	<i>Operaciones tecnológicas del troquel</i>	108
6.1.2	<i>Cursograma de construcción</i>	111
6.1.3	<i>Montaje del troquel</i>	114
6.2	Pruebas.....	116
6.2.1	<i>Plan de pruebas</i>	116
6.3	Verificación de los parámetros de diseño mecánico	118
7.	MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE LA MÁQUINA	119
7.1	Manual de funcionamiento.....	119
7.1.1	<i>Libro de registro de parámetros de funcionamiento</i>	120
7.1.2	<i>Diagnóstico de fallas</i>	121
7.1.3	<i>Capacitación del operador</i>	122
7.2	Manual de mantenimiento	123
7.3	Guía de prevención de riesgos	125
7.3.1	<i>Análisis de riesgos posibles</i>	125
7.3.2	<i>Valoración del riesgo</i>	126
7.3.3	<i>Análisis de los riesgos específicos</i>	126

7.3.4	<i>Equipo de protección individual necesario para operar la máquina.....</i>	127
7.3.5	<i>Normas de trabajo seguras y sistemas de protección.....</i>	128
8.	ANÁLISIS ECONÓMICO	129
8.1	Costos de construcción	129
8.1.1	<i>Costos directos.....</i>	129
8.1.2	<i>Costos indirectos.....</i>	132
8.1.3	<i>Costos totales.....</i>	133
8.2	Rentabilidad del equipo	133
8.2.1	<i>Depreciación.</i>	133
8.2.2	<i>Determinación del costo de energía.</i>	136
8.2.3	<i>Determinación del punto de equilibrio.....</i>	137
8.2.4	<i>Determinación del beneficio de producción.</i>	140
8.3	Cálculo del TIR (Tasa Interna de Retorno) y VAN (Valor Actual Neto).....	141
8.3.1	<i>Cálculo del VAN (Valor Actual Neto).....</i>	142
8.3.2	<i>Cálculo del TIR (Tasa Interna de Retorno).</i>	144
8.4	Análisis de resultados.....	145
9.	CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES.....	146
9.1	Conclusiones.....	146
9.2	Recomendaciones.....	146

BIBLIOGRAFÍA

ANEXOS

PLANOS

LISTA DE TABLAS

	Pág.
1 Valoración de alternativas	30
2 Factor de ponderación.....	30
3 Evaluación de alternativas por el método de ponderación.....	31
4 Elementos para el control.....	38
5 Elementos para la protección e iluminación.....	38
6 Cableado.....	38
7 Accesorios.....	39
8 Valoración de alternativas (troquel)	43
9 Factor de ponderación (troquel)	43
10 Evaluación de alternativas por el método de ponderación.....	44
11 Dimensiones de la Tabla	64
12 Elementos constitutivos del circuito eléctrico.....	98
13 Operaciones tecnológicas	99
14 Tiempo total empleado en la construcción del circuito.....	100
15 Tiempos de montaje del circuito de energización	102
16 Tiempo de montaje del accionamiento manual.....	102
17 Tiempo de montaje del accionamiento automático	102
18 Tiempo total empleado en el ensamble del circuito eléctrico	103
19 Prueba N°1 (automatización)	104
20 Prueba N°2 (automatización)	104
21 Prueba N°3 (Automatización)	105
22 Prueba N°4 (Automatización)	105
23 Verificación de parámetros (Automatización)	105
24 Elementos constitutivos del troquel	107
25 Operaciones tecnológicas (troquel)	108
26 Tiempo total empleado en la construcción del conjunto.....	111
27 Tiempos de montaje de la base superior (móvil)	114
28 Tiempos de montaje de la base inferior (fija)	114
29 Tiempo total de montaje del conjunto	115
30 Tiempo total empleado en el ensamble del troquel.....	115
31 Prueba N°1 (troquel)	116
32 Prueba N°2 (troquel)	117
33 Prueba N°3 (troquel)	117
34 Prueba N°4 (troquel)	117
35 Verificación de parámetros (troquel).....	118

36	Registro de parámetros de funcionamiento	120
37	Diagnóstico de fallas en la parte eléctrica	121
38	Diagnóstico de fallas en la parte mecánica.....	122
39	Manual de mantenimiento	123
40	Costo de materiales	129
41	Mano de obra	131
42	Máquinas herramientas	131
43	Costo de transporte.....	132
44	Costos directos	132
45	Costos ingenieriles	132
46	Costos indirectos.....	133
47	Costos totales	133
48	Depreciación anual del equipo	135
49	Consumo de energía.....	136
50	Costos fijos.....	138
51	Flujo de Caja	142
52	VAN 1, $k=0,5$	143
53	VAN 2, $k=0,1$	143

LISTA DE FIGURAS

	Pág.
1 Automatización.....	5
2 Tipos de automatización.....	6
3 Contactor.....	7
4 Temporizador	8
5 Controlador lógico programable (PLC)	8
6 Sensores	9
7 Pulsador	9
8 Aplicaciones de la automatización.....	10
9 Punzonado	11
10 Doblado.....	11
11 Embutido	12
12 Troquel simple.....	13
13 Troquel compuesto.....	13
14 Troquel progresivo	14
15 Partes del troquel de corte	15
16 Espiga	16
17 Placa superior	16
18 Placa de choque.....	17
19 Placa porta punzón	17
20 Placa guía	18
21 Placa matriz	18
22 Placa base	19
23 Punzón.....	19
24 Tope fijo	20
25 Tope móvil.....	20
26 Guías laterales	21
27 Aplicaciones troquel simple	21
28 Aplicaciones troquel compuesto	22
29 Aplicaciones troqueles progresivos	22
30 Troqueladora.....	23
31 Troqueladora mecánica.....	23
32 Troqueladora hidráulica.....	24
33 Condiciones de la máquina	25
34 Condición de los embragues	26
35 Desmontaje del eje con los embragues.....	26

36	Despiece de los embragues	26
37	Embragues.....	27
38	Embragues en el eje de transmisión.....	27
39	Alternativa (contactor)	28
40	Alternativa (Controlador lógico programable (PLC))	29
41	Circuito previo a la automatización	32
42	Energización del sistema.....	33
43	Selector (Trabajo manual ó automático)	34
44	Circuito con selector.....	34
45	Accionamiento manual de los embragues	35
46	Accionamiento automático de los embragues	36
47	Circuito de potencia.....	36
48	Esquema general del control de la troqueladora.....	37
49	Troquel simple.....	41
50	Troquel compuesto.....	41
51	Troquel progresivo	42
52	Pieza y retal	44
53	Arandela.....	45
54	Separación mínima entre piezas a recortar	47
55	Ancho y paso de la tira	48
56	Juego entre el punzón y la matriz (contorno interno de la arandela).....	50
57	Juego entre el punzón y la matriz (contorno externo de la arandela).....	51
58	Ángulo de escape.....	52
59	Fuerza de expulsión	53
60	Análisis de fuerzas en los punzones.....	54
61	Análisis de la columna.....	55
62	Columna.....	56
63	Dimensiones del punzón	58
64	Placa matriz	61
65	Dimensionamiento placa matriz.....	61
66	Espiga	63
67	Diseño placa porta espiga	64
68	Dimensionamiento placa porta espiga.....	65
69	Diseño placa de choque	66
70	Dimensionamiento placa de choque.....	66
71	Diseño placa porta punzón	67
72	Dimensionamiento de la placa porta punzón	68

73 Placa guía	68
74 Dimensionamiento de la placa guía.....	69
75 Ranura para el guiado de la tira	70
76 Placa base	71
77 Dimensionamiento de la placa base.....	72
78 Columna guía.....	73
79 Bocín.....	74
80 Sistema de reposición	75
81 Muelle de reposición	76
82 Muelle comprimido	77
83 Tipos de extremos de muelles a compresión.....	78
84 Curvas de pandeo en resortes helicoidales a compresión.....	81
85 Fuerzas y esfuerzos presentes en un muelle a compresión	81
86 Fluctuación de las fuerzas en el tiempo.....	82
87 Esfuerzos cortantes.....	83
88 Distribución de esfuerzos más el efecto de la curvatura en el muelle	86
89 Tope automático.....	91
90 Separación entre el balancín y cavidad del diámetro externo de la matriz.....	92
91 Sistema de expulsión	93
92 Pasador.....	96
93 Riesgos mecánicos	126
94 Riesgos eléctricos	127
95 Equipo de protección personal (EPP's)	127
96 Punto de equilibrio.....	140
97 Ingresos y egresos	141

LISTA DE ABREVIACIONES

AISI	Instituto Americano de Fierro y Acero (siglas en inglés)
SAE	Sociedad de Ingenieros Automotrices (siglas en inglés)

SIMBOLOGÍA

a	Diámetro de la cabeza del punzón	mm
a_{pb}	Ancho de la placa base	mm
a_{pc}	Ancho de la placa de choque	mm
a_{pg}	Ancho de la placa guía	mm
a_{ppe}	Ancho de la placa porta espiga	mm
a_{ppp}	Ancho de la placa porta punzón	mm
A_a	Área total de la pieza obtenida	mm ²
A_t	Área de la tira	mm ²
\mathcal{A}	Constante de la resistencia a la tensión	MPa
b	Diámetro de ajuste del punzón en la placa porta punzón	mm
b_{sf}	Exponente de resistencia a la fatiga	
B_{anual}	Beneficio anual	USD
$B_{mensual}$	Beneficio mensual	USD
c	Fibra más lejana	mm
C_{am}	Costo de la arandela en el mercado	USD
C_{ce}	Costo del consumo de energía	kW-h
C_{costo}	Precio del kW-h	USD
C_{diario}	Consumo de energía diaria	kW-h
C_r	Índice del muelle	
C_{sf}	Exponente de resistencia a la fatiga	
C_{vup}	Costo variable unitario del producto	USD
CF	Costos fijos	USD
d_a	Diámetro interno de la arandela	mm
d_{ab}	Diámetro del bocín para ajuste con la placa	mm
d_{ar}	Diámetro del alambre del muelle	mm
d_{eb}	Diámetro externo del bocín	mm
d_{es}	Diámetro de escape del material sobrante	mm
d_{ib}	Diámetro interno del bocín	mm
d_m	Diámetro menor de la cavidad de la matriz	mm
d_p	Diámetro del punzón de contorno interno	mm
D_a	Diámetro externo de la arandela	mm

D_{er}	Diámetro externo del muelle	mm
D_{es}	Diámetro de escape de la arandela	mm
D_{ir}	Diámetro interno del muelle	mm
D_m	Diámetro mayor de la cavidad de la matriz	mm
D_{mr}	Diámetro medio del muelle	mm
D_p	Diámetro del punzón de contorno externo	mm
e	Excentricidad	mm
E	Espesor de la placa porta espiga	mm
ε	Módulo de Young	$\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$
f	Frecuencia crítica	$\frac{\text{ciclos}}{\text{seg}}$
F_a	Fuerza de amplitud	kg
F_c	Fuerza de corte	kg
F_{exp}	Fuerza de expulsión	kg
F_{ext}	Fuerza externa	kg
F_m	Fuerza media	kg
$F_{m\acute{a}x}$	Fuerza máxima	kg
$F_{m\acute{i}n}$	Fuerza mínima	kg
F_R	Fuerza de reposición	kg
g	Aceleración de la gravedad	$\frac{\text{mm}}{\text{seg}^2}$
G	Límite elástico por cortadura	Pa
h	Holgura entre el punzón y la matriz	mm
h_r	Altura para el guiado	mm
i	Espesor de la placa porta punzón	mm
k_p	Tasa de interés pasiva efectiva vigente	%
k_r	Constante del muelle	$\frac{\text{kg}}{\text{mm}}$
K_c	Efecto de curvatura	
K_s	Factor de corrección del esfuerzo	
K_w	Factor de corrección Wahl	
\mathcal{K}_c	Factor de confiabilidad	
\mathcal{K}_e	Factor de modificación de concentración de esfuerzos	

\mathcal{K}_f	Factor de efectos diversos	
L	Longitud del punzón	mm
L_{cg}	Longitud de la columna guía	mm
L_{pb}	Largo placa base	mm
L_{pc}	largo de la placa de choque	mm
L_{pg}	Largo de la placa guía	mm
L_{ppp}	Largo de la placa porta punzón	mm
L_r	Longitud libre del muelle	mm
m	Espesor de la placa matriz	mm
m	Exponente de resistencia a la tensión	
N	Número de ciclos	
N_a	Número de espiras activas	
N_{diario}	Tiempo de consumo diario	horas
N_i	Número de espiras inactivas	
N_t	Número de espiras	
N_{vu}	Tiempo de vida útil	años
N_D	Tiempo de depreciación	años
η	Factor de seguridad	
p	Largo de la placa matriz	mm
p_r	Paso del muelle	mm
P	Carga que soporta el punzón	kg
P_c	Perímetro de la pieza a cortar	mm
P_{cri}	Fuerza crítica	kg
P_s	Paso de la tira	mm
P_{vup}	Precio de venta unitario del producto	USD
PA	Porcentaje de aprovechamiento	%
$PE_{unidades}$	Punto de equilibrio en función del número de unidades	
q	Ancho de la placa matriz	mm
r	Distancia entre el borde externo y cavidad de la matriz	mm
R	Confiabilidad	
s	Distancia entre el borde externo de la matriz y el centro de los alojamientos de los tornillos	mm
S_m	Separación mínima	mm

S_s	Resistencia al corte	$\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$
S_{se}	Límite de resistencia a la fatiga corregido	$\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$
S_{sf}	Resistencia a la fatiga en función del número de ciclos	$\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$
S_{su}	Límite de resistencia última a la torsión	$\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$
S_{ut}	Límite último a la tracción	$\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$
S_y	Límite elástico del material del punzón (límite de fluencia)	$\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$
t	Espesor de la arandela y fleje	mm
TIR	Tasa interna de retorno	%
τ_a	Esfuerzo de amplitud	$\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$
τ_m	Esfuerzo medio	$\frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$
u	Espesor de la placa de choque	mm
v	Espesor de la placa guía	mm
V_{inicial}	Valor del costo inicial	USD
$V_{\text{salvamento}}$	Valor de salvamento	USD
VAN	Valor actual neto	USD
w	Espesor de la placa base	mm
W	Ancho de la tira	mm
\mathcal{W}	Peso del muelle	kg
z	Largo del bocín	mm
α	Ángulo de escape	(°)
γ	Distensión del muelle	mm

LISTA DE ANEXOS

- A Resistencia al corte
- B Holgura entre el punzón y matriz
- C Dimensionamiento de la espiga en función del tonelaje.
- D Límite elástico por cortadura
- E Factor de confiabilidad en la resistencia a la fatiga
- F Constante y exponente de la resistencia a la tensión
- G Densidad del alambre del muelle
- H Tapones cilíndricos roscados (prisioneros)
- I Diámetros recomendados para los pasadores
- J Tornillos de cabeza cilíndrica

RESUMEN

La automatización de la troqueladora y diseño de un troquel, se basa en una necesidad presente en la pequeña y mediana empresa; la cual tiene como objetivo mejorar la producción, reduciendo tiempos, optimizando materiales y minimizando peligros a los que se puede exponer el operario.

El proceso de investigación para determinar la funcionabilidad y seguridad adecuada de la máquina, surge de las troqueladoras manuales y como actúan los troqueles en las mismas, hallándose varias falencias y procesos inseguros al momento de trabajar; es así que se procede a realizar un control general de la máquina empleando técnicas que garanticen precisión, confiabilidad y sobre todo seguridad para salvaguardar la integridad del operario.

Con lo cual se obtiene resultados positivos, empleando autómatas sencillos como: contactores, temporizadores y pulsadores; los cuales ayudan de forma sistemática a mejorar el proceso de obtención de arandelas, ya que en una hora se puede producir alrededor de 1200 arandelas y esto es debido a que cada impacto de la troqueladora tiene una duración de tres segundos.

El troquel trabaja en forma continua y adecuada, debido a la precisión de avance del material (fleje), que es desarrollada por medio de un tope de balancín que actúa en forma automática, para efectuar un corte limpio y generar arandelas de buena calidad. Por tal motivo es necesario utilizar materiales con características especiales, que al ser tratados térmicamente garanticen un correcto desempeño de la matriz y punzones durante la etapa de trabajo, evitando un desgaste prematuro de los mismos.

ABSTRACT

Automation of the die cutter and the design of a die are based on a present need in small and medium enterprises; which aims to improve production, reduction of time, optimizing materials and minimizing hazards in which the operator may be exposed.

The research process to determine functionality and the appropriate safety of the machine, it arises from manual die cutters and how dies act in the same, being several flaws and insecure processes when working; that is why, it carries out a general control of the machine using techniques that ensure accuracy, reliability and mainly security to safeguard the integrity of the operator.

Whereupon positive results were obtained using simple automatons as: contactors, timers and push buttons; which help systematically to improve the process of obtaining washers, because in one hour it can produce about 1200 washers and this is because each impact of the die cutter could last three seconds.

The dies works in a continuous and properly form due to the advance precision of the material (strapping), which is developed by a rocker touch which acts automatically in order to make a clean cut and generate washers of good quality. Thus, it is necessary to use materials with special properties, in which thermally treated ensure a correct performance of the die and punches during the stage work, avoiding a premature wearing thereof.

CAPÍTULO I

1. INTRODUCCIÓN

1.1 Antecedentes

La troqueladora es una máquina herramienta de las más empleadas e importantes en el mundo, siendo la base de la industria moderna debido a las diferentes aplicaciones que se le pueden dar; ya que se pueden obtener un sin número de piezas para máquinas y herramientas.

Asimismo la automatización está optimizando el rendimiento en los procesos de productividad debido a las innumerables ventajas que posee, porque permite obtener productos de alta calidad, uniformidad y precisión, lo cual reduce de forma sistemática los tiempos de producción, minimizando costos, aumentando el confort del operador y por ende la seguridad del mismo, siendo éste el factor más importante.

Además los troqueles son parte primordial en cuanto a la manufactura de determinadas piezas, ya que son elementos que permiten obtener piezas con gran precisión, adecuadas tolerancias, alta calidad y forma continua de producción. Siendo de gran importancia estos parámetros para obtener piezas que puedan brindar un adecuado funcionamiento.

1.2 Justificación

Por medio de este proyecto se desea poner en práctica los conocimientos adquiridos durante la carrera, con lo cual el estudiante está en capacidad de aplicar criterios y normas que le permitan automatizar y diseñar máquinas y/o equipos, los mismos que ayuden en el desarrollo tecnológico de las industrias. Con esto se pretende brindar un panorama más amplio acerca del rol que va a desempeñar el Ingeniero Mecánico en el ámbito profesional, para ello se sirve de la vinculación a la sociedad, con el fin de optimizar el progreso tecnológico de las industrias a bajo costo y con una mejor producción.

1.2.1 Justificación técnica. El presente proyecto pretende incrementar la producción de arandelas debido al mejoramiento del proceso de obtención de las mismas. Con el

fin de obtener una alta producción, reduciendo tiempos, minimizando costos, brindando seguridad al operador y todo esto acorde con las tendencias actuales de tecnología. Para realizar la automatización de dicha máquina y diseño del troquel se tomará en consideración los parámetros adecuados que den viabilidad a dicho proyecto.

1.2.2 *Justificación económica.* Al realizar este proyecto se quiere dar una alternativa económica a la pequeña y mediana industria, ya que al haber demanda de dicho producto en el mercado, el proyecto es factible de realizar. Además se pretende incentivar la generación de fuentes de trabajo con la activación de una matriz productiva en este campo tan poco explotado, siendo un aporte muy importante para la sociedad.

1.3 **Objetivos**

1.3.1 *Objetivo general.* Automatizar una troqueladora y diseñar un troquel para arandelas de cobre.

1.3.2 *Objetivos específicos:*

Diseñar e implementar un circuito de control para automatizar la troqueladora.

Diseñar y construir un troquel para generar arandelas de cobre.

Verificar los parámetros de automatización y diseño del troquel.

Realizar un manual de funcionamiento y mantenimiento de la máquina; y una guía de prevención de riesgos.

CAPÍTULO II

2. MARCO TEÓRICO

2.1 Automatización

Actualmente la automatización es un gran pilar en el desarrollo industrial y consigo ha traído grandes innovaciones que son valiosos aportes para la tecnología. Ya que la automatización ayuda maximizar y perfeccionar los procesos, permitiendo el incremento de la productividad, optimizando tiempos y reduciendo costos.

Asimismo ayuda a preservar la integridad de las personas, porque libera al operador de tareas peligrosas, lo cual le brinda mayor seguridad en el momento de operar las máquinas.

Figura 1. Automatización

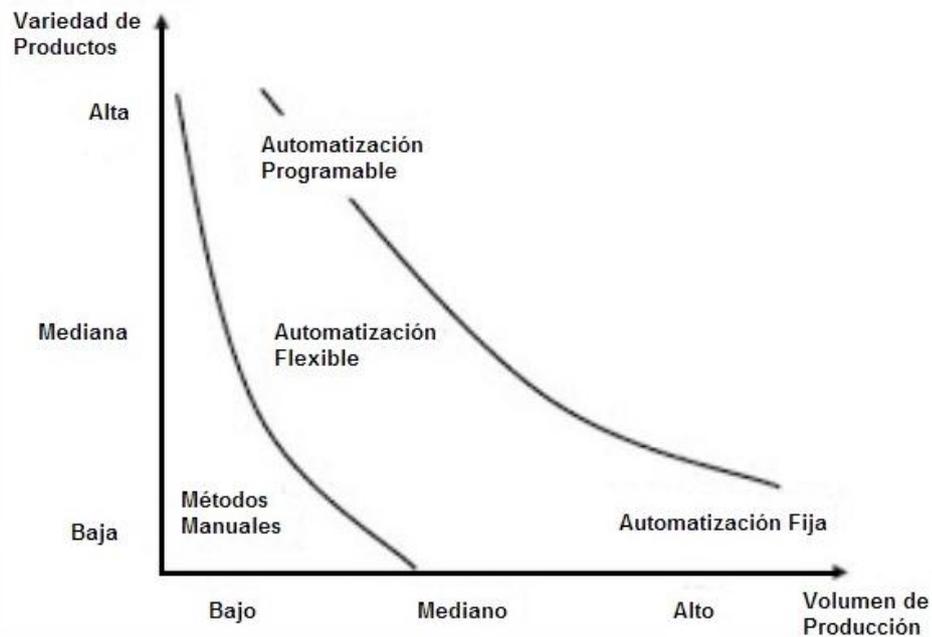


Fuente: <http://www.ipn.mx/educacionsuperior/Paginas/Ing-Con-Aut.aspx>

2.1.1 Definición de automatización. Automatizar quiere decir emplear medios artificiales, de tal forma que un proceso transcurre de forma automática. En una planta esto significa equiparla con autómatas de tal forma que trabaje automáticamente. Un autómata es un sistema artificial, que sigue un programa de forma propia o automática. Gracias al programa el sistema debe tomar decisiones basado en las entradas y el estado del sistema, para de esta forma cumplir con tareas asignadas (NORMA DIN19233, 2009).

2.1.2 Tipos de automatización.

Figura 2. Tipos de automatización



Fuente: <http://flobaautomation.blogspot.com/2012/02/definicion-de-automatizacion.html>

Existen tres tipos de automatización:

- Automatización fija

Es un conjunto de pasos o procesos con parámetros específicos para su diseño, los cuales están determinados por la configuración del equipo a automatizar, este tipo de automatización es empleado cuando la tasa de producción es elevada, por eso su justificación económica es aceptada.

La desventaja que posee este tipo de automatización es no poder aceptar cambios en el proceso de los productos.

- Automatización programable

Este sistema al poseer un programa con instrucciones codificadas puede ser modificado, esto permite que la secuencia de operaciones sean variadas y se pueda obtener un producto con diferentes especificaciones, este tipo de automatización es empleado cuando la producción es relativamente baja.

La desventaja que posee es la pérdida tiempo al realizar estos cambios, porque se debe preparar al equipo en cuanto a herramientas, aditamentos y parámetros de la nueva configuración.

- Automatización flexible

Este sistema tiene varias mejoras por poseer características del sistema fijo y programable. Como la facilidad para poder cambiar un programa, sin tener que hacer cambios físicos en el equipo, con lo cual no hay pérdida de tiempo en la producción, este tipo de automatización es empleado cuando la producción es mediana.

La desventaja que posee este tipo de automatización es su alta inversión inicial.

2.1.3 Elementos para automatizar.

2.1.3.1 Contactor. El contactor es un dispositivo electro mecánico de mando, que actúa de forma similar a un interruptor, y puede ser gobernado a distancia, a través del electroimán que lleva incorporado. (ELECTRICIDAD Y AUTOMATISMOS)

Además los contactores tienen como elementos esenciales a los contactos principales, contactos auxiliares y bobina; el primero es el encargado de alimentar al circuito de potencia, el segundo alimenta a la bobina y el tercero al ser alimentado crea el campo magnético cerrando los contactos o a su vez dando la apertura.

Figura 3. Contactor



Fuente: <http://www.directindustry.es/prod/chac-technology/contactores-54121-828291.html>

2.1.3.2 Temporizador. Se denomina temporizador al dispositivo mediante el cual podemos regular la conexión o desconexión de un circuito eléctrico durante un tiempo determinado. El temporizador es un tipo de relé auxiliar, pero se diferencia en que sus contactos no cambian de posición instantáneamente. (MENDIETA, 2011)

Figura 4. Temporizador



Fuente: <http://1.bp.blogspot.com/-hQyp0fLaaVo/Tks2T9Xi8sI/AAAAAAAAAAc/a3XhMSQcnH0/s1600/Temporizadores+De+Motor.jpg>

2.1.3.3 Controlador lógico programable (PLC). “Un contador lógico programable se define como un dispositivo electrónico digital que una memoria programable para guardar instrucciones y llevar a cabo funciones lógicas de configuración de secuencia, de sincronización, de conteo y aritméticas, para el control de maquinaria y procesos. Los PLC tienen la gran ventaja de que permiten modificar un sistema de control sin tener que volver a alambrear las conexiones de los dispositivos de entrada y salida; basta con que el operador digite en un teclado las instrucciones correspondientes”.(SOTO SIVILA, 2011)

Figura 5. Controlador lógico programable (PLC)



Fuente: <http://www.ahorroenenergia.com/control-de-la-iluminacion-domestica-con-plc/>

2.1.4 Aplicaciones. La automatización tiene muchos campos de aplicación dentro de la industria como: procesamiento de alimentos, productos químicos, embotelladoras, empacadoras, refinerías de petróleo, sector automotriz, etc.

Figura 8. Aplicaciones de la automatización



Fuente: <http://a207816.wordpress.com/tipos-de-automatizacion/>

Todos estos campos han aumentado en productividad debido a la automatización, ya que no solo perfecciona los sistemas para realizar las tareas específicas; sino que aporta con rapidez y precisión en la toma de datos que son de suma importancia al momento de seguir mejorando los sistemas automáticos.

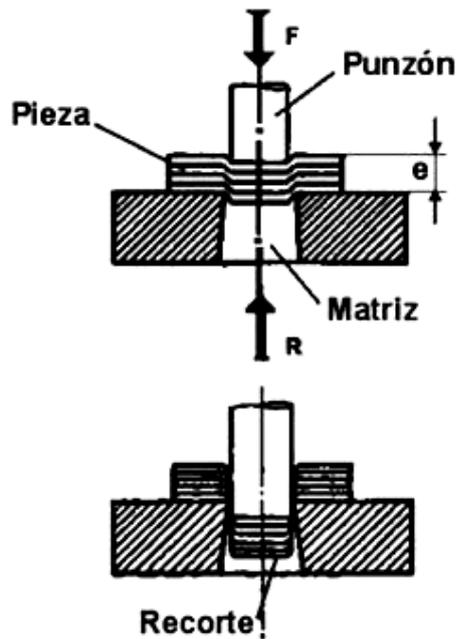
2.2 Troquelado

“Se define como troquelado o estampado al conjunto de operaciones con las cuales sin producir viruta, sometemos una lámina plana a ciertas transformaciones a fin de obtener una pieza de forma geométrica propia. Este trabajo se lo realiza en máquinas llamadas prensas (generalmente de movimiento rectilíneo uniforme)”(DESCOM.JMC).

El troquelado o estampado según el tipo de operación se puede dividir en:

- Corte o punzonado. El punzonado es una operación mecánica que consiste en separar o seccionar una pieza metálica plana con una forma determinada mediante una serie de herramientas de corte diseñadas para tal fin. (TECNOFAB2, 2011)

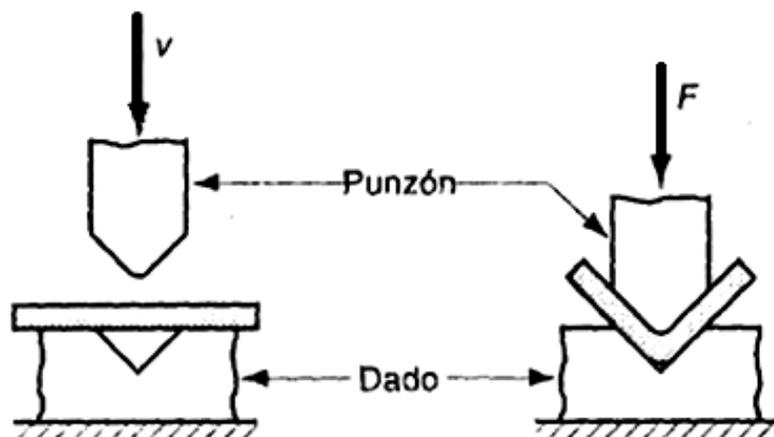
Figura 9. Punzonado



Fuente: <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/12110-Tecnologias-de-corte-de-chapa.html>

- Doblado o plegado. La operación de plegado consiste, en realizar una transformación plástica de una lámina o plancha metálica y convertirla en una pieza con forma y geometría distinta a la anterior. (SLIDESAIRE, 2013)

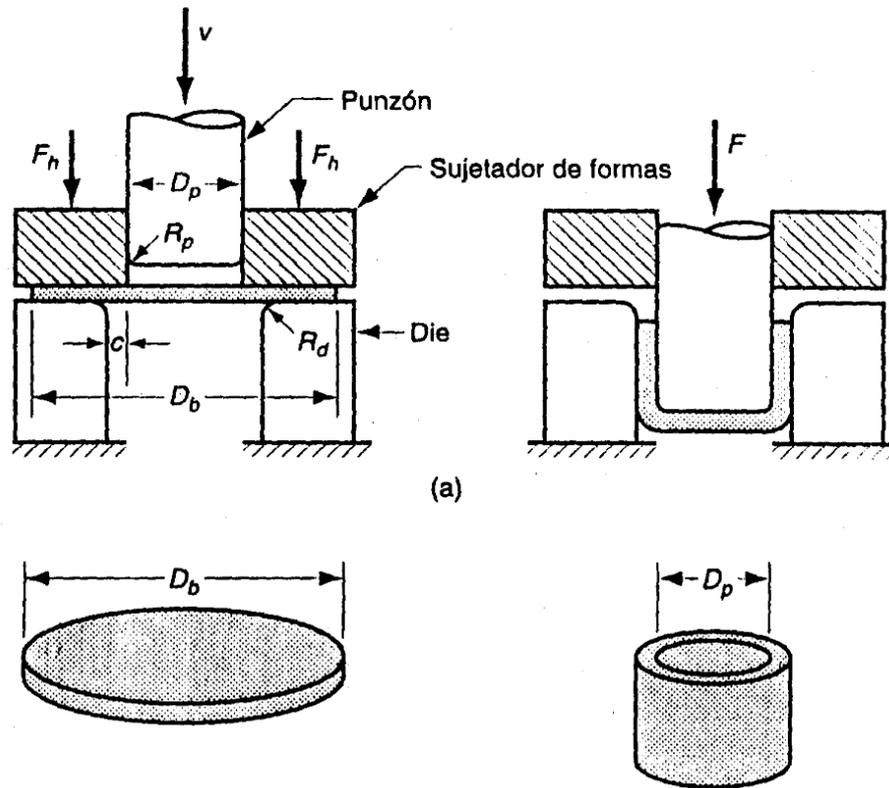
Figura 10. Doblado



Fuente: <http://industrialmaterials20xx.blogspot.com/2013/03/doblado.html>

- Embutido. Se denomina embutición al proceso de conformado en frío de los metales, por el que se transforma un disco o piezas recortada, según el material, en piezas huecas, e incluso partiendo de piezas previamente embutidas, estirarlas a una sección menor con mayor altura. (SLIDESHARE, 2010)

Figura 11. Embutido



Fuente: <http://3.bp.blogspot.com/-v0yssQoxOY4/UUTKEhgaQFI/AAAAAAAAADg/FRyhHJiFgkQ/s1600/Imagen5.png>

v0yssQoxOY4/UUTKEhgaQFI/AAAAAAAAADg/FRyhHJiFgkQ/s1600/Imagen5.png

2.2.1 Definición de troquel. El troquel es una herramienta que permite mecanizar piezas dándole diferentes formas, esto debido a la configuración del mismo, y lo más importante, que lo hace sin arranque de viruta; lo cual da un cavado superficial de mejores características.

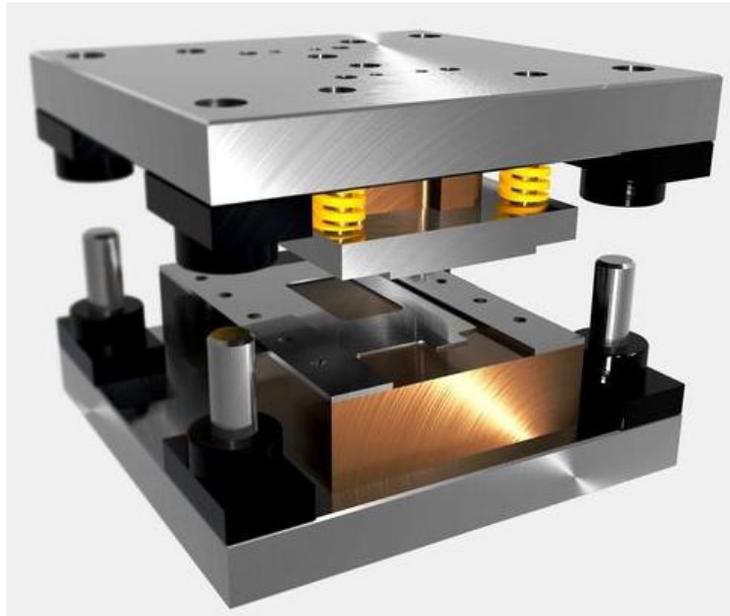
2.2.1.1 Tipos de troqueles. Dependiendo del tipo de trabajo que va a realizar, la carga que va a soportar y el tipo de producción para el cual ha sido diseñado se puede clasificar el tipo de troquel:

- Troqueles simples

Estos troqueles permiten realizar solamente una operación en cada golpe de la prensa, son de baja productividad y normalmente es necesario el uso de otros troqueles para poder concluir una pieza y considerarla terminada.

Se utilizan para fabricar piezas sencillas como arandelas, accesorios y pequeñas partes para electrodomésticos. (MARÍN VILLAR)

Figura 12. Troquel simple



Fuente:

http://0.static.wix.com/media/9ccd3f_cbdb285ad21b6d6f59f56b6ace6921f9.jpg_1024

- Troqueles compuestos

Son herramientas que permiten aprovechar la fuerza ejercida por la prensa realizando dos o más operaciones en cada golpe y agilizando el proceso. Generan mayor productividad y se utilizan para conformar lavaplatos, utensilios, recipientes, partes de estufas, etc. (MARÍN VILLAR).

Figura 13. Troquel compuesto

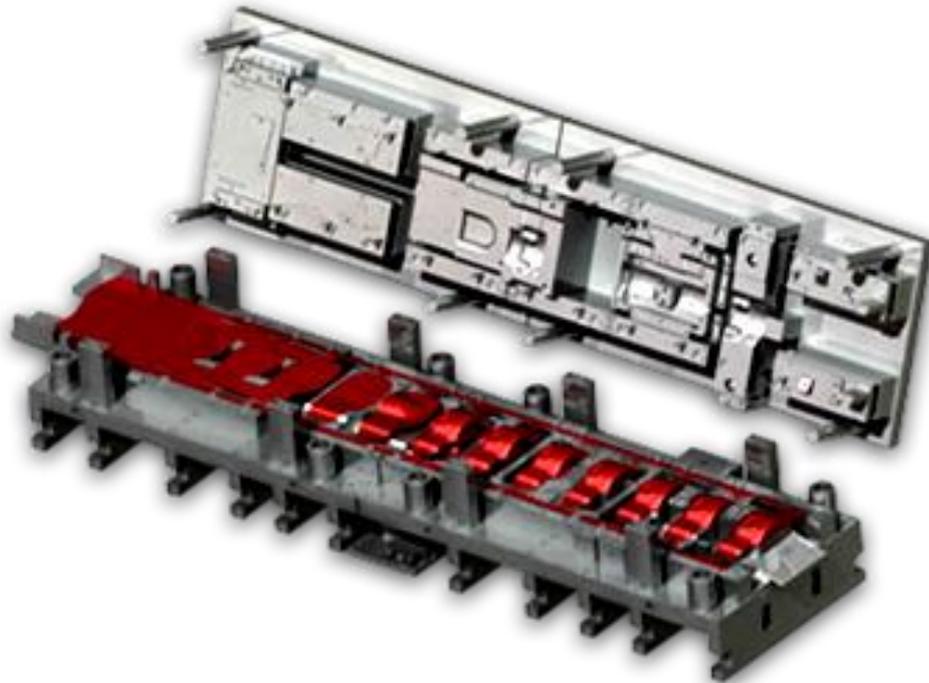


Fuente: http://tecnigarp.com/wp-content/gallery/herramientales/1_0.jpg

- Troqueles progresivos.

Son troqueles complejos y de gran desarrollo, también llamados matrices progresivas. Constan de, incluso decenas de etapas o pasos, en cada uno de ellos se modifica la lámina con una secuencia establecida por el diseñador (secuencia de corte) de tal manera que al final se obtiene una o varias piezas terminadas. (MARÍN VILLAR)

Figura 14. Troquel progresivo



Fuente: <http://www.rim.com.mx/prodsrim/2014/semana36/Images/softwarediseno.png>

2.2.1.2 Partes de un troquel de corte.

A continuación se hará una descripción de las partes que conforman un troquel:

- Base superior (parte móvil)

La base superior tiene por objetivo alojar a las placas y elementos que sujetan a los punzones del troquel; como la espiga, la porta espiga, la placa de choque o sufridera, la placa porta punzón, bujes, etc.

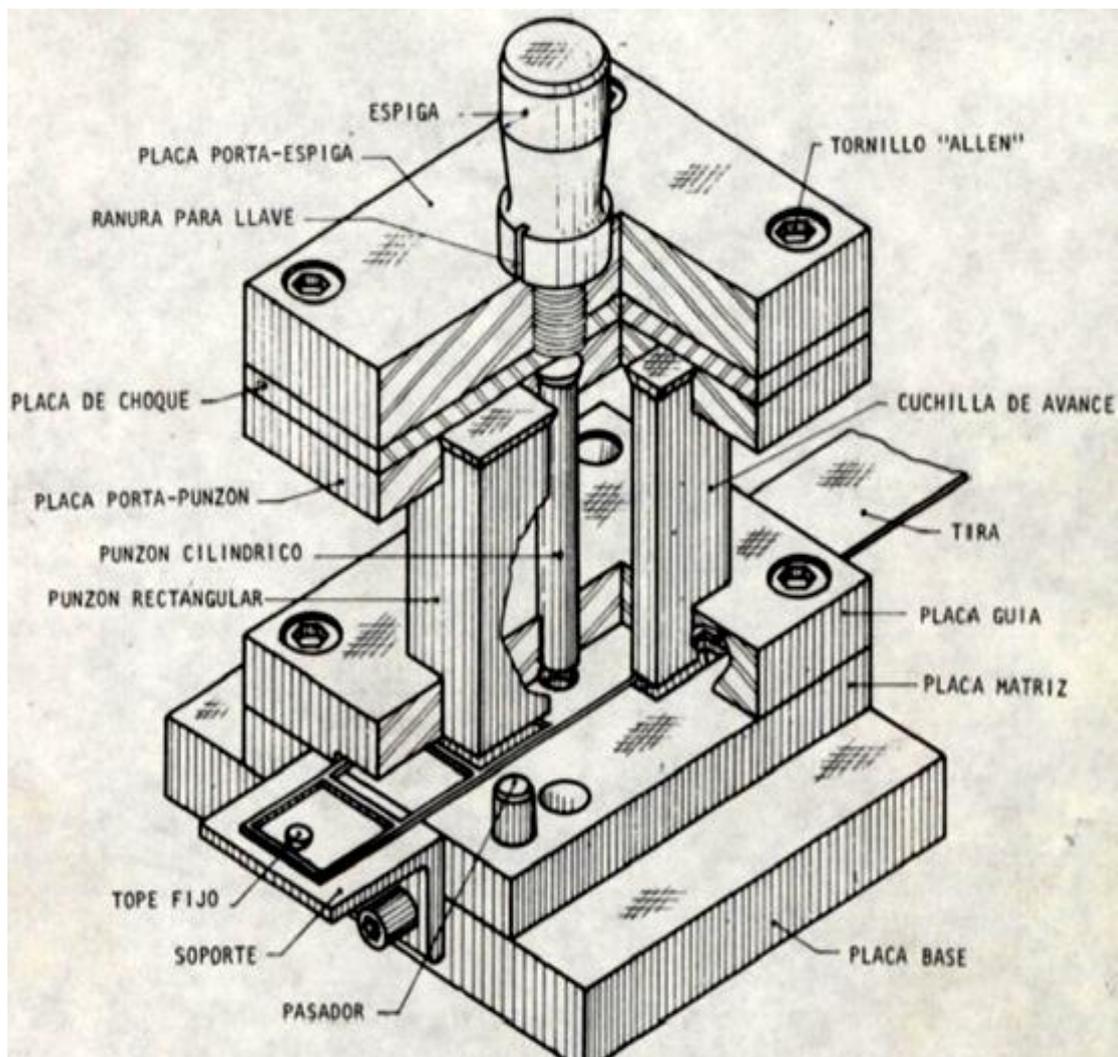
Además de ser la encargada de transmitir la fuerza hacia los punzones, para que a su vez puedan ingresar en la matriz dándole la forma deseada a la lámina. Esto debido al movimiento rectilíneo que posee las prensas o troqueladoras.

- Base inferior (placa fija)

La base inferior es la que permite el alojamiento de las placas y elementos que conforman la matriz; como son la placa guía, placa matriz, placa base, topes, columnas (guías), etc., al mismo tiempo es parte fundamental en la sujeción con la bancada de la troqueladora.

También la placa base tiene la función de servir como apoyo; debido a que soporta toda la fuerza que ejerce la troqueladora por medio de los punzones. Asimismo en la base inferior se colocan las columnas, que sirven como guías, para el correcto centrado entre la placa superior e inferior y así poder realizar un trabajo adecuado entre los punzones y la matriz.

Figura 15. Partes del troquel de corte

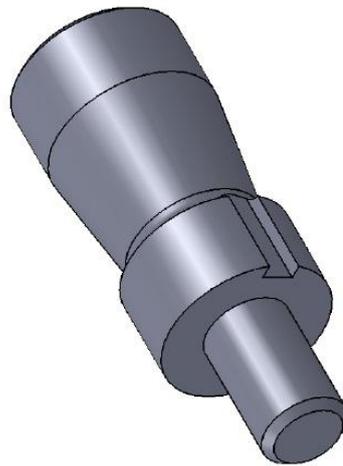


Fuente: <http://www.scribd.com/doc/31789225/Informacion-Tecnologica-Matrices-de-Corte-Definicion-y-Nomenclatura>

- Espiga

Es una pieza cilíndrica, de acero 1020 a 1030 de carbono, que introducida y fijada en el alojamiento de la prensa, sostiene el conjunto superior. (SCRIBD, 2010)

Figura 16. Espiga

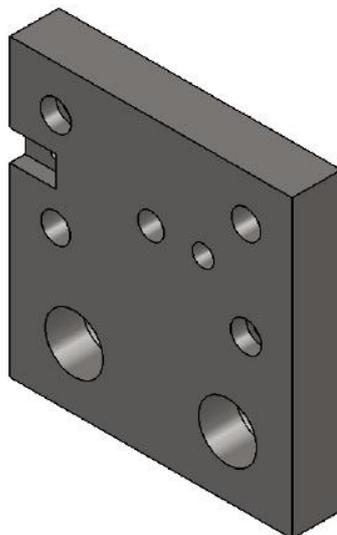


Fuente: Autor

- Placa superior (porta espiga)

Es una placa de acero 1020 a 1030 o de hierro fundido, en la cual se fija la espiga y tiene por finalidad, unir por medio de tornillos la placa de choque y el porta punzón. (SCRIBD, 2010)

Figura 17. Placa superior

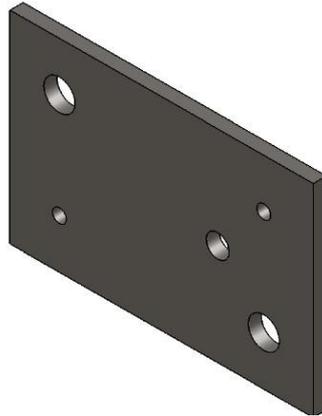


Fuente: Autor

- Placa de choque (sufridera)

Es una placa de acero 1060 a 1070 templada y rectificada que tiene por función soportar los golpes producidos por las cabezas de los punzones en el momento que éstos cortan la chapa, y evitan que los mismos penetren en la placa superior. Su espesor varía de acuerdo al material a cortar. (SCRIBD, 2010)

Figura 18. Placa de choque

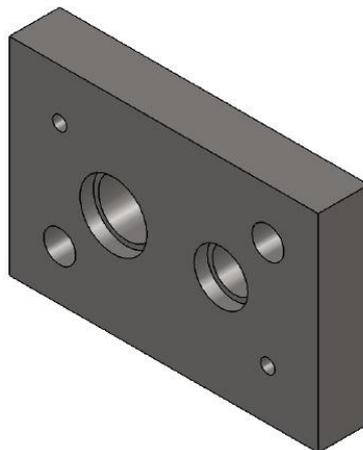


Fuente: Autor

- Placa porta punzones

Es una placa de acero 1020 a 1030 que va situada debajo de la placa de choque o de la placa superior, y se fija a éstos por medio de tornillos. Su función es sostener los punzones, centradores, cuñas y las columnas guías cuando fuese necesario. (SCRIBD, 2010)

Figura 19. Placa porta punzón

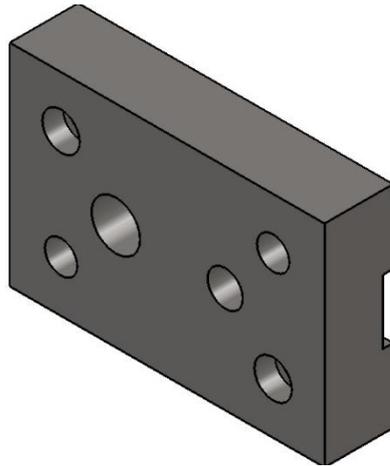


Fuente: Autor

- Placa guía

Es una placa de acero 1020 a 1030 que tiene pro función guiar a los punzones y centradores a las cavidades de la matriz. El espesor de la guía varía según el tamaño de la matriz, la carrera y función de los punzones. Los punzones deberán recibir en la guía un ajuste deslizante H7 g6. (SCRIBD, 2010)

Figura 20. Placa guía

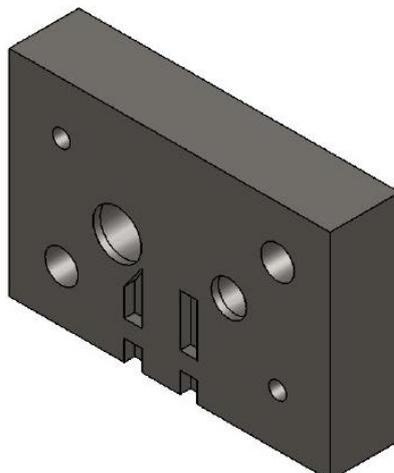


Fuente: Autor

- Placa matriz

Es una pieza de acero indeformable, templada, revenida y rectificad, provista de cavidades que tienen la misma forma de los punzones y cuya función es reproducir piezas por la acción de los mismos. (SCRIBD, 2010)

Figura 21. Placa matriz

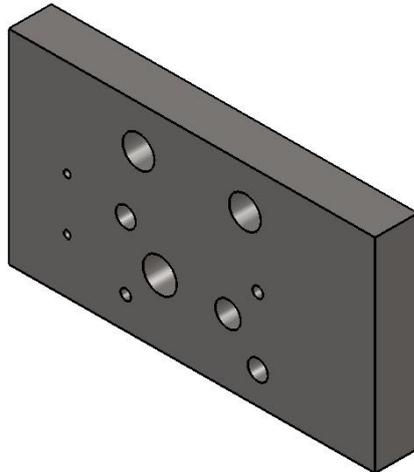


Fuente: Autor

- Placa base

Es una placa que sirve de apoyo a la placa matriz y se fija a este por medio de tornillos y pasadores. Es construida de acero 1020 a 1030 o hierro fundido. Si la pieza obtenida cae por la parte inferior de la matriz, la placa base lleva una cavidad mayor para facilitar su salida. (SCRIBD, 2010)

Figura 22. Placa base

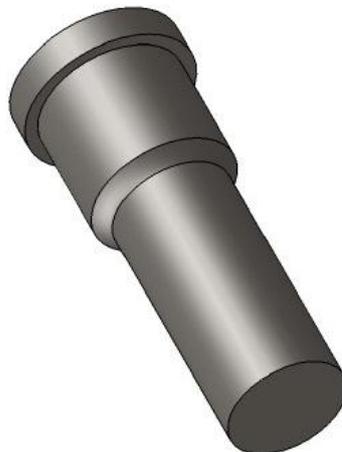


Fuente: Autor

- Punzones

Son piezas de acero indeformable, templadas y revenidas que efectúan el corte al introducirse en las cavidades de la placa matriz, dando forma a la pieza. (SCRIBD, 2010)

Figura 23. Punzón



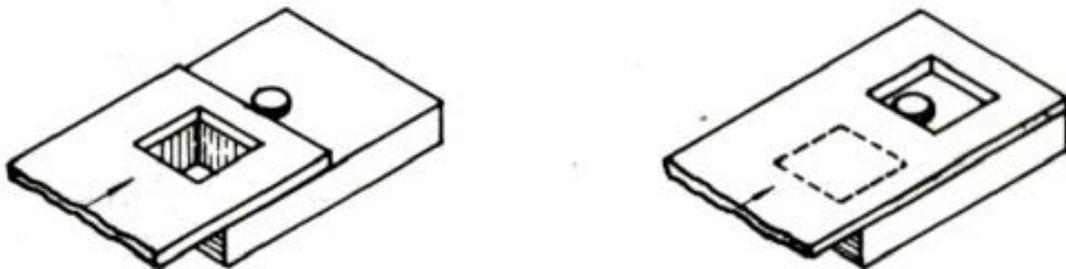
Fuente: Autor

- Topes.

Son dispositivos de retención colocados en la matriz para posicionar la matriz y obtener uniformidad en las piezas. Se lo relaciona directamente con la economía del material. (SCRIBD, 2010)

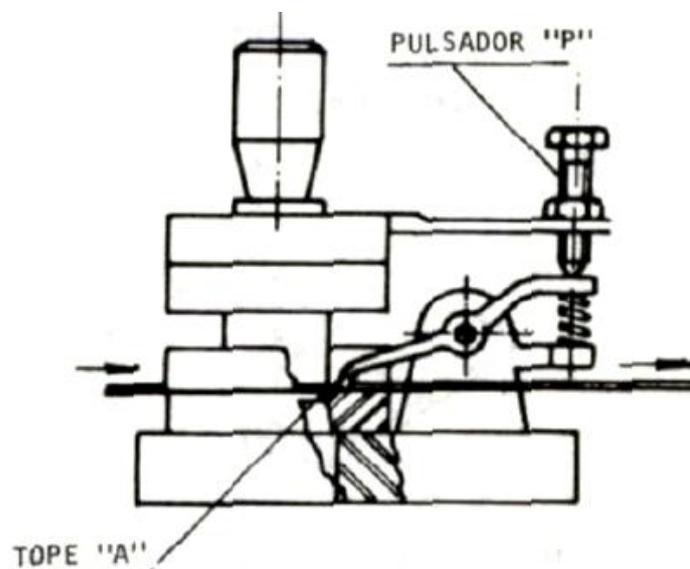
Los topes pueden ser fijos o móviles y eso depende de la configuración del troquel, y la aplicación que vaya a realizar.

Figura 24. Tope fijo



Fuente: <http://www.scribd.com/doc/31789225/Informacion-Tecnologica-Matrices-de-Corte-Definicion-y-Nomenclatura>

Figura 25. Tope móvil



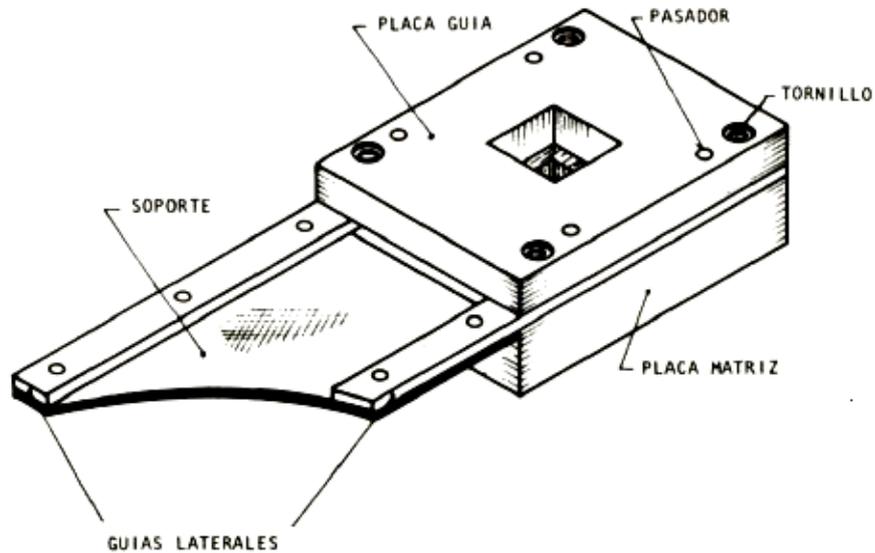
Fuente: <http://www.scribd.com/doc/31789225/Informacion-Tecnologica-Matrices-de-Corte-Definicion-y-Nomenclatura>

- Guías laterales

Son dos piezas de acero 1040 a 1060 que se colocan en los laterales de las placas matrices. Pueden ser templadas y revenidas. Su función es guiar la tira de material a

cortar. El espesor de la guía será de 3 a 4 veces mayor que el de la tira a cortar. Pero cuando la tira es de poco espesor, las guías pueden ser sustituidas por una ranura en la placa guía. (SCRIBD, 2010)

Figura 26. Guías laterales



Fuente: <http://www.scribd.com/doc/31789225/Informacion-Tecnologica-Matrices-de-Corte-Definicion-y-Nomenclatura>

2.2.1.3 Aplicaciones. Los troqueles tienen una gran variedad de aplicaciones dentro de la industria de la manufactura, y esto es debido a la configuración que presenta cada tipo de troquel.

- Aplicaciones de troqueles simples.

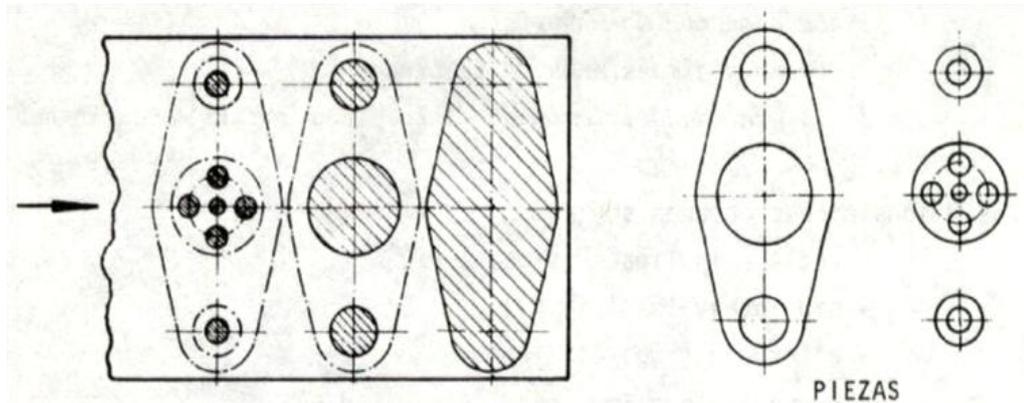
Figura 27. Aplicaciones troquel simple



Fuente: http://upload.wikimedia.org/wikipedia/commons/thumb/2/2d/Operaciones_troquelado.JPG/420px-Operaciones_troquelado.JPG

- Aplicaciones de troqueles compuestos.

Figura 28. Aplicaciones troquel compuesto



Fuente: <http://www.scribd.com/doc/31789225/Informacion-Tecnologica-Matrices-de-Corte-Definicion-y-Nomenclatura>

- Aplicaciones de troqueles progresivos.

Figura 29. Aplicaciones troqueles progresivos



Fuente: <http://image.made-in-china.com/45f3j00ktTaNGiEFQcb/Automotive-Die-Progressive-Die-for-Stamping-Auto-Parts-Used-in-Well-Known-Car.jpg>

2.3 Troqueladora

Son máquinas de fabricación robusta, destinadas a cortar, doblar, repujar o embutir, empleándose los diversos tipos de matrices confeccionadas para alta producción y uniformidad de las mismas. (SCRIBD, 2010)

Figura 30. Troqueladora



Fuente: <http://www.loaderchargeur.com.br/products/11-1-8-1.jpg>

2.3.1 *Clasificación de las troqueladoras.* Las troqueladoras se pueden clasificar en mecánicas e hidráulicas.

- Troqueladora mecánica.

Las prensas mecánicas pueden ser de simple o doble efecto, basculantes o fijas. Además tienen una gran capacidad que va en el rango de 4 a 300 toneladas. Son accionadas por un sistema de bandas que accionan el volante que transmite el movimiento multiplicando la fuerza hasta llegar al cabezal que da el impacto.

Figura 31. Troqueladora mecánica



Fuente: <http://www.maquinariainternacional.com.mx/maquinaria/troqueladoras/>

- Troqueladora hidráulica

Estas prensas pueden ser de simple, doble o triple efecto y permiten tener una alta velocidad de trabajo en comparación con las mecánicas. Su accionamiento se hace por medio de un sistema hidráulico que permite tener una mejor autonomía para el control.

Figura 32. Troqueladora hidráulica



Fuente: <http://www.tecommaquinaria.com/troquelado/468-troqueladora-puente.html>

CAPÍTULO III

3 DISEÑO CIRCUITAL Y SELECCIÓN DE ELEMENTOS DE CONTROL

Previo a realizar la automatización de la troqueladora, es necesario conocer en qué condiciones estaba la misma y así poder realizar una mejora en el control del número de ciclos en función del tiempo y así tener una mejor producción.

3.1 Determinación de las condiciones de la máquina.

Figura 33. Condiciones de la máquina



Fuente: Autor

- La máquina por falta de uso, presentaba fallas en el sistema eléctrico; principalmente en el sistema de transmisión que está a cargo de los embragues electromagnéticos. Por tal motivo se procedió a dar el mantenimiento correctivo a los mismos.

Conociendo las condiciones de la máquina se procede con la recuperación:

Figura 34. Condición de los embragues



Fuente: Autor

- Primero se procedió con una limpieza general de la troqueladora.
- Luego se hizo el desmontaje del eje con los embragues, para proceder con el mantenimiento correctivo.

Figura 35. Desmontaje del eje con los embragues



Fuente: Autor

- Después se realizó el despiece de los embragues, para verificar las fallas y sustituir elementos dañados.

Figura 36. Despiece de los embragues



Fuente: Autor

- Inmediatamente se vuelve a ensamblar los embragues y se realizó pruebas en vacío para verificar el correcto funcionamiento de los mismos.

Figura 37. Embragues



Fuente: Autor

- Seguidamente se hizo el montaje de los embragues en el eje para proceder a acoplar en la troqueladora.

Figura 38. Embragues en el eje de transmisión



Fuente: Autor

Una vez recuperada la máquina se procede con los parámetros para diseñar el circuito de control para la troqueladora.

3.2 Parámetros de diseño circuital.

El diseño circuital para la automatización, tiene por objetivo mejorar el control y funcionabilidad de la troqueladora, reduciendo tiempos de trabajo y aumentando la producción; por ende debe cumplir con ciertos parámetros técnicos para alcanzar dicha meta.

- El diseño circuital debe proporcionar el control del número de ciclos de trabajo, en función del tiempo.
- El diseño circuital debe ser claro y de sencilla comprensión.
- El diseño circuital debe permitir el trabajo continuo de la máquina.
- El diseño circuital debe garantizar la seguridad y ergonomía adecuada, para la persona que opere la máquina.
- El diseño circuital debe permitir la parada total o parcial de la máquina.
- Además el diseño circuital deberá satisfacer las necesidades y requerimientos del ente de financiamiento.

3.3 Análisis y selección de alternativas

A continuación se va a analizar las diferentes alternativas, para realizar el diseño circuital y a su vez, seleccionar la alternativa más adecuada, la cual cumpla con los parámetros mencionados anteriormente. Además las alternativas que se presenten son netamente eléctricas, debido a que la máquina es accionada eléctricamente.

3.3.1 Alternativas: ventajas y desventajas.

Alternativa 1: Automatización mediante el empleo de contactores.

Figura 39. Alternativa (contactor)



Fuente: <http://www.yesss.co.uk/images/products/zoom/1374824401-68167500.jpg>

Ventajas:

- Permite controlar y automatizar máquinas con procesos complejos, mediante elementos auxiliares como: presóstatos, temporizadores, contadores, etc.
- Sencillez en los sistemas de control y de fácil adquisición en el mercado.
- Funciona tanto en servicio intermitente como en continuo y proporciona alto nivel de seguridad para las personas.

Desventajas:

- Requiere de mantenimiento por tener partes en movimiento.
- Necesita un considerable espacio en cuanto al tablero eléctrico.

Alternativa 2: Automatización mediante controladores lógicos programables (PLC).

Figura 40. Alternativa (Controlador lógico programable (PLC))



Fuente: http://www.alltronicsperu.com/catalog/images/teco_plc_extencion.jpg

Ventajas:

- Permite controlar varios equipos con un mismo autómatas.
- Tiene gran flexibilidad en el reemplazo de lógica cableada de un tablero a un programa codificado.
- Facilidad para realizar cambios durante la operación del sistema y estandarización en el mercado.

Desventajas:

- Costos iniciales elevados.
- Necesidad de personal con experiencia en programación.

3.3.2 Selección de alternativas por el método de ponderación. A continuación se valorará la alternativa más óptima a través de la comparación conceptual, la cual evalúa a cada elemento de forma independiente.

Muy satisfactorio	4
Satisfactorio	3
Poco satisfactorio	2
Nada satisfactorio	1

Tabla 1. Valoración de alternativas

Propiedades técnicas	Proyectos		
	Solución 1	Solución 2	Solución ideal
Funcionabilidad	3	3	4
Flexibilidad	2	3	4
Costo inicial	3	2	4
Rentabilidad	3	2	4
Eficiencia	3	3	4
Seguridad	3	3	4
Total	17	16	24

Fuente: Autor

Una vez valorada las alternativas se procede a emplear el factor de ponderación (FP), para evaluar cada alternativa y así poder seleccionar la más óptima:

Tabla 2. Factor de ponderación

Propiedades técnicas	Factor de ponderación (FP)
Funcionabilidad	0,20
Flexibilidad	0,20

Tabla 2. (Continuación)

Costo inicial	0,25
Rentabilidad	0,10
Eficiencia	0,15
Seguridad	0,10

Fuente: Autor

A continuación se elabora la tabla de evaluación por el método de ponderación:

Tabla 3. Evaluación de alternativas por el método de ponderación

Propiedades técnicas	Alternativa 1			Alternativa 2		
	V	FP	P	V	FP	P
Funcionabilidad	3	0,20	0,60	3	0,20	0,60
Flexibilidad	2	0,20	0,40	3	0,20	0,60
Costo inicial	3	0,25	0,75	2	0,25	0,50
Rentabilidad	3	0,10	0,30	2	0,10	0,20
Eficiencia	3	0,15	0,45	3	0,15	0,45
Seguridad	3	0,10	0,30	3	0,10	0,30
Total			2,80			2,65

Fuente: Autor

Dónde:

V = Valoración

FP = Factor de ponderación

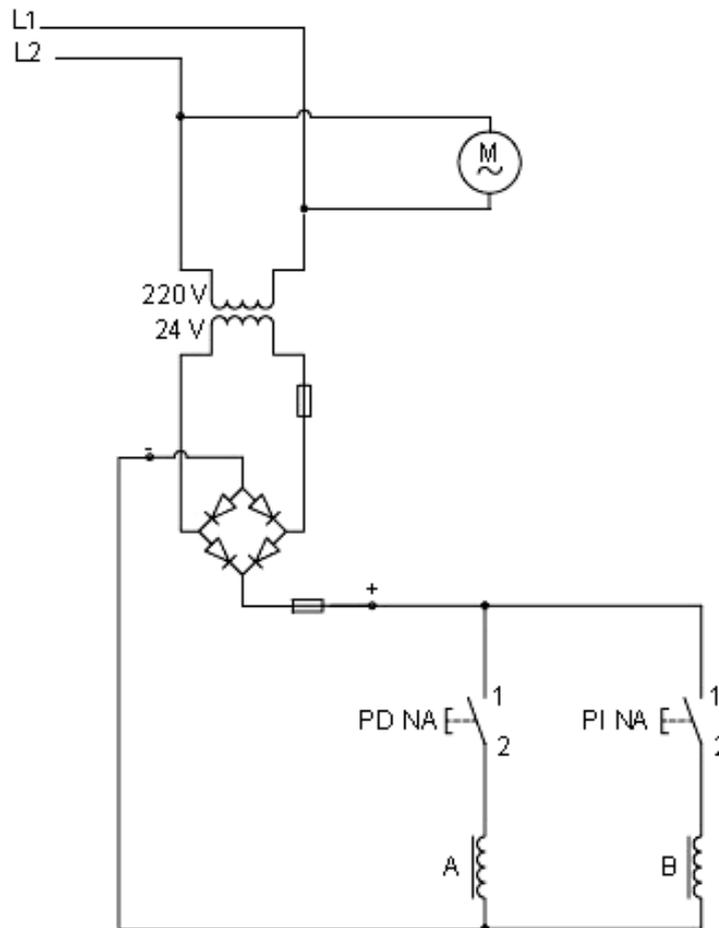
P = Parcial

3.3.3 Resultados. Al evaluar las alternativas por el método de ponderación da como resultado que la alternativa 1 es la más viable en el diseño. Por lo tanto con la alternativa 1 se procede a elaborar el proyecto preliminar del diseño circuital.

3.4 Diseño circuital

Para realizar el diseño circuital, se debe analizar el circuito con el que estaba funcionando la troqueladora.

Figura 41. Circuito previo a la automatización



Fuente: Autor

El análisis da como resultado, que se necesita dar un control desde la alimentación de la máquina y sobre el accionamiento de los embragues.

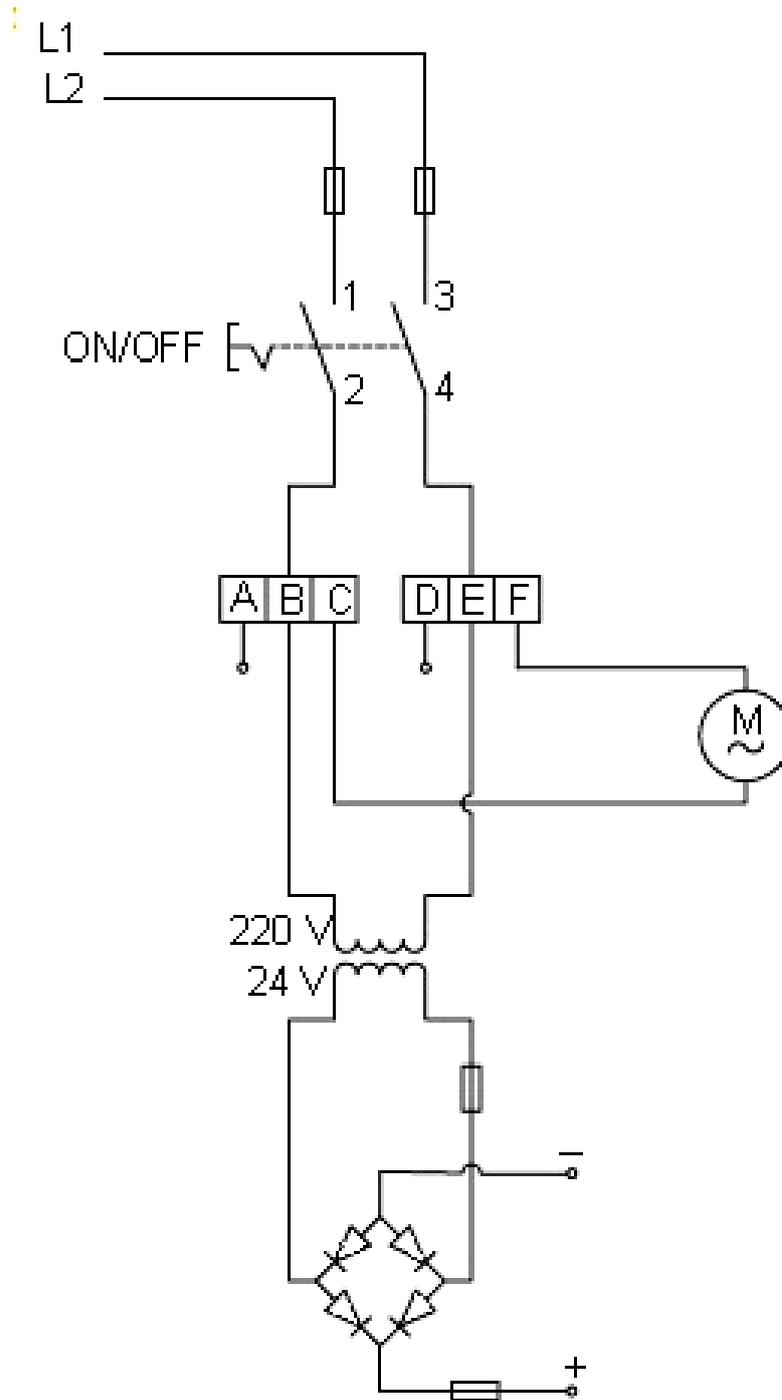
Y que uno de los embragues es el que efectúa el trabajo (A) y el otro sirve como un freno (B).

3.4.1 *Circuito de mando.* El circuito de mando permitirá tener el control eléctrico en la máquina, pero principalmente sobre los embragues electromagnéticos, que son los encargados de acoplarse para transmitir el movimiento hacia el mecanismo de biela-manivela y así poder generar la fuerza en el cabezal para generar el impacto.

3.4.2 *Energización del sistema.* Con la ayuda de una botonera (ON/OFF) con enclavamiento, se tiene el control sobre la alimentación de toda la máquina.

Además se coloca elementos de protección para el circuito eléctrico (fusibles).

Figura 42. Energización del sistema

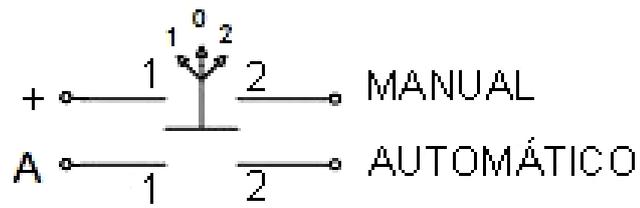


Fuente: Autor

3.4.3 *Accionamiento de los embragues.* El accionamiento de los embragues dependerá de la necesidad del operario, es así que podrá trabajar de forma manual o automática y eso dependerá de la aplicación que vaya a realizar.

Por tal motivo es necesario colocar un selector en el panel de control para poder seleccionar una de las dos alternativas de trabajo.

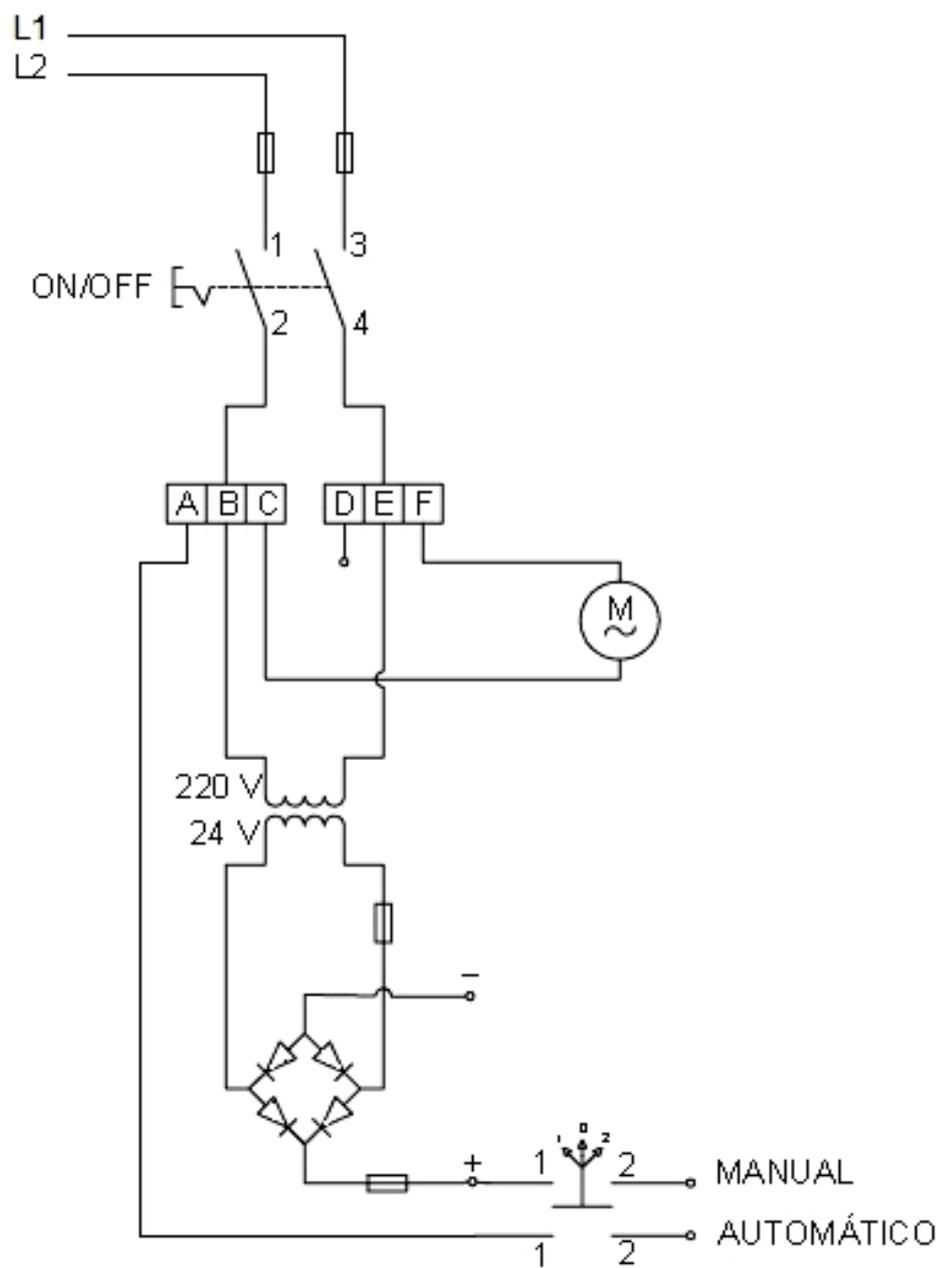
Figura 43. Selector (Trabajo manual ó automático)



Fuente: Autor

Acoplando el selector al circuito de encendido:

Figura 44. Circuito con selector

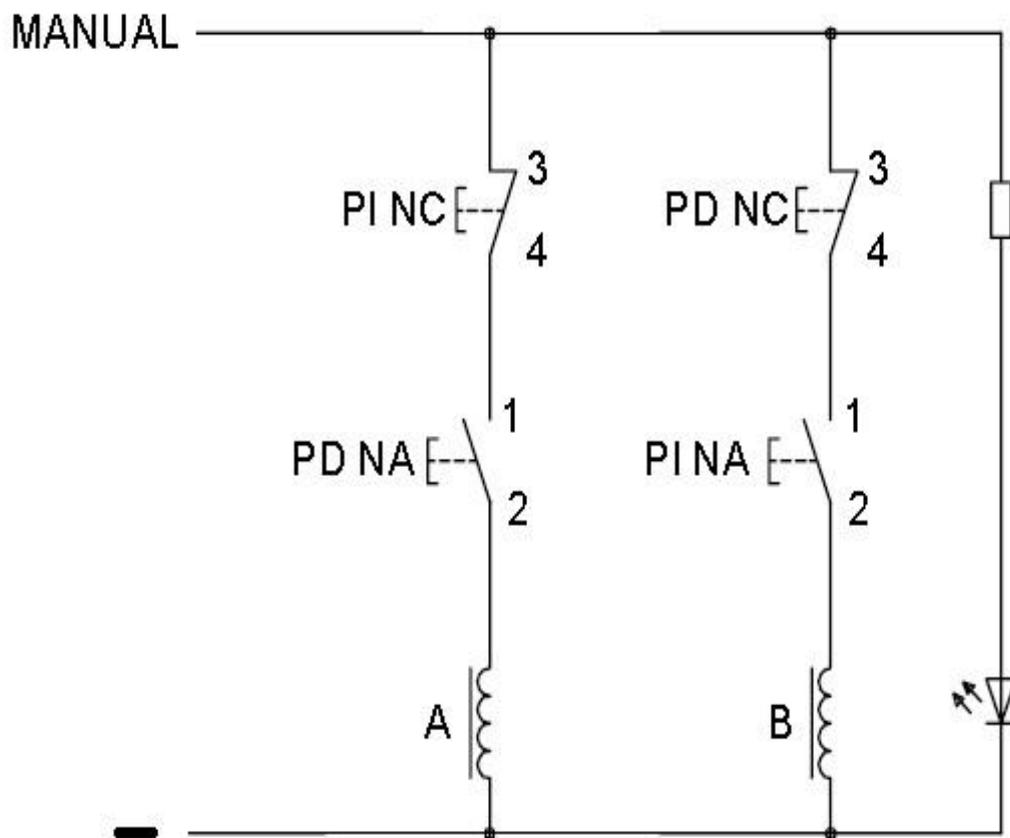


Fuente: Autor

3.4.4 *Accionamiento manual de los embragues.* El diseño del circuito manual fue rediseñado, con el fin de no tener una operación interrumpida, es decir que solamente se podrá accionar un embrague a la vez. Con ello se garantiza que el trabajo de cada embrague será completo y no como en el circuito con el que estaba funcionando la troqueladora.

Además se puso una señal luminosa, que servirá como indicativo que se está trabajando en forma manual.

Figura 45. Accionamiento manual de los embragues

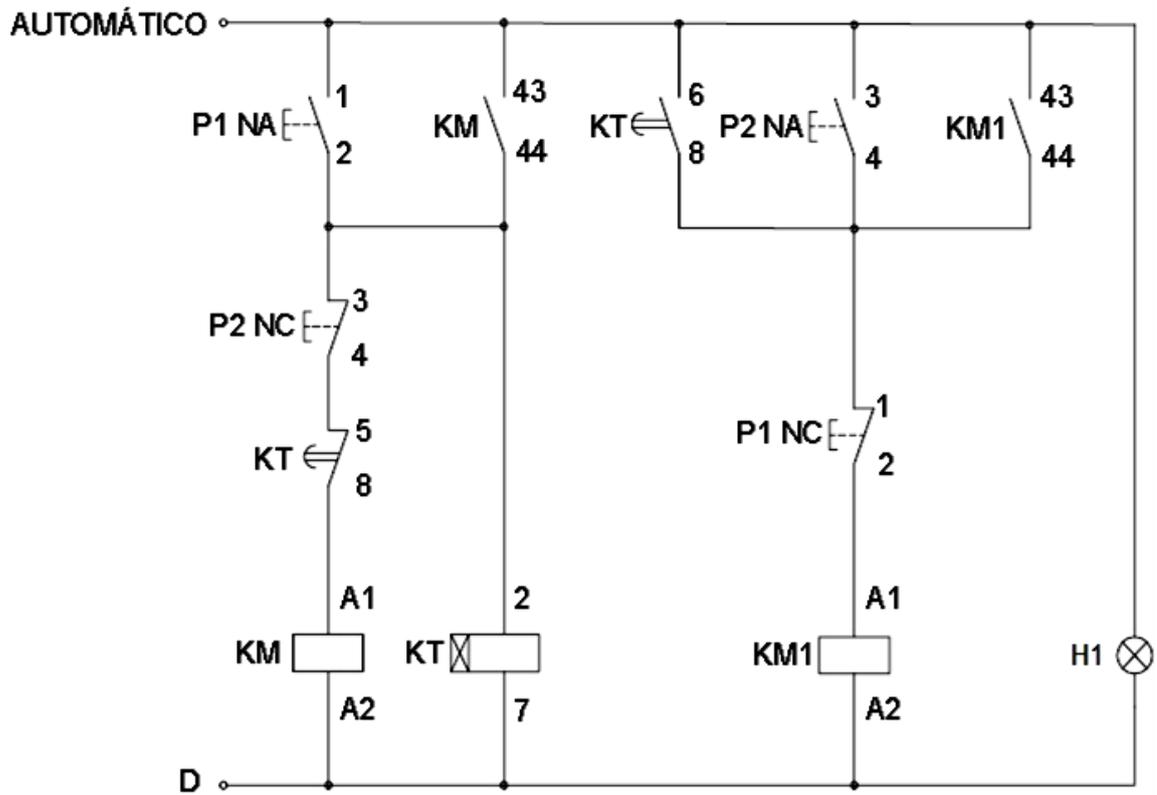


Fuente: Autor

3.4.5 *Accionamiento automático de los embragues.* El diseño del circuito para accionar automáticamente los embragues, se basa en el control del número de impactos en función del tiempo. Por esa razón, se empleará un temporizador con retardo al accionamiento (TIMER ON DELAY) y un contactor para cada embrague.

También se debe conocer que cada impacto tiene una frecuencia de tres segundos, parámetro que sirve para setear el temporizador. Además se puso una señal luminosa, que servirá como indicativo que se está trabajando en forma automática.

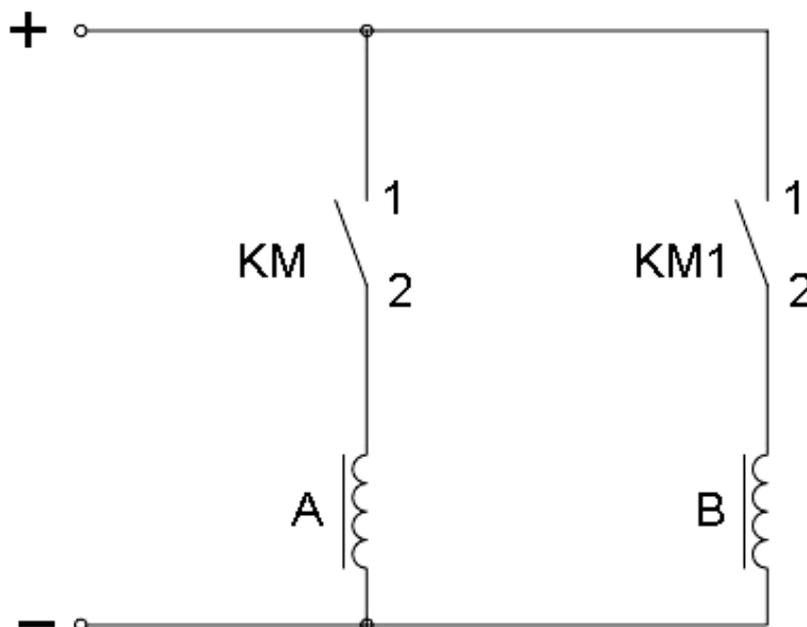
Figura 46. Accionamiento automático de los embragues



Fuente: Autor

Una vez teniendo el circuito de control, se procede a realizar el circuito de potencia de accionamiento automático de los embragues.

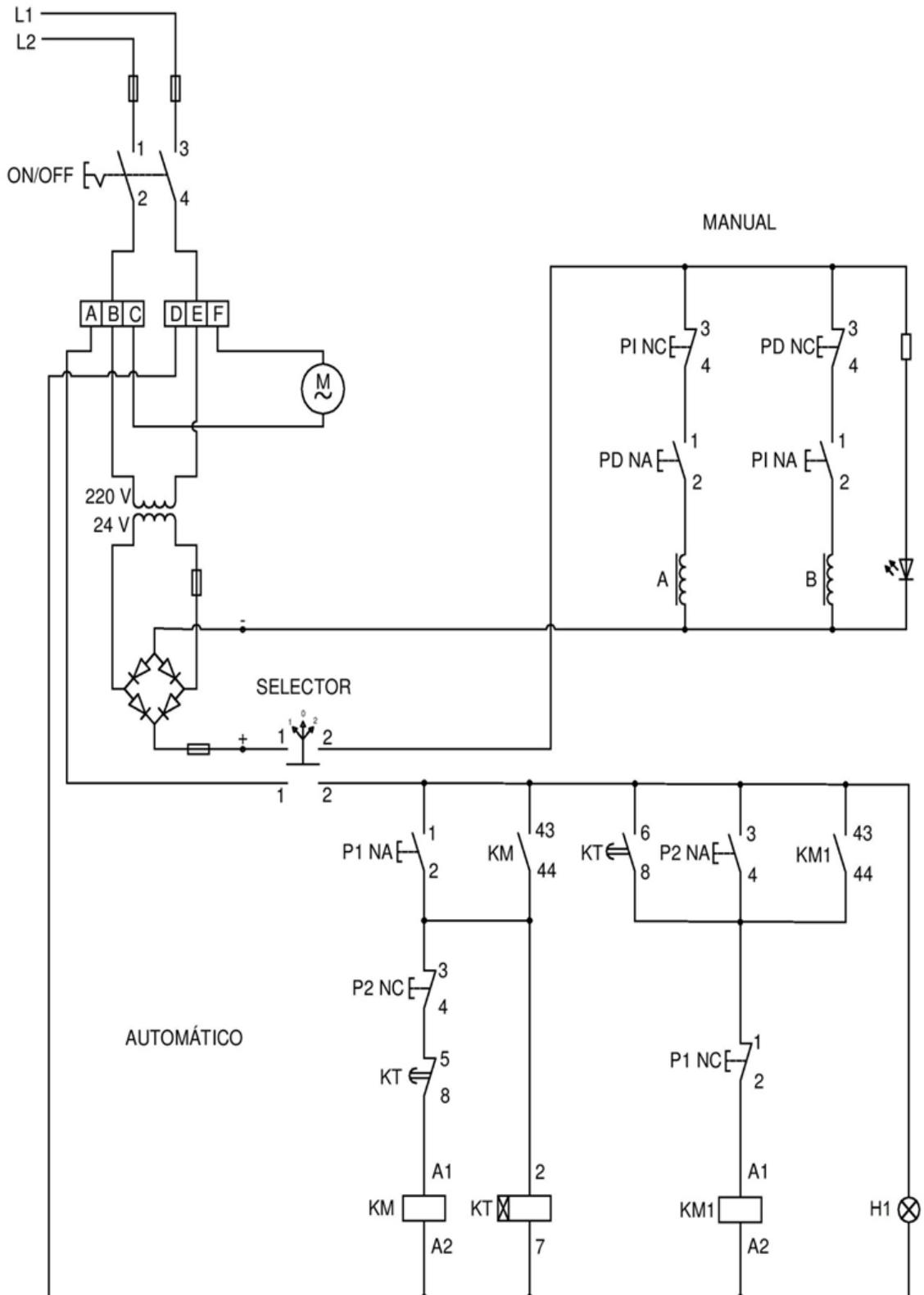
Figura 47. Circuito de potencia



Fuente: Autor

Con los circuitos de control sobre los embragues se procede a realizar el esquema general del control de la troqueladora.

Figura 48. Esquema general del control de la troqueladora



Fuente: Autor

3.5 Selección de los elementos para el control

Los elementos que se seleccionará para el control, se basan en el voltaje y amperaje con el cual trabaja la troqueladora

Tabla 4. Elementos para el control

Elemento	Cantidad	Voltaje	Detalle	Marca modelo
Botonera (ON/OFF)	1	600 V	30 A / 3,75KW	Camsco
Pulsador	4	--	Bloque NA / NC	Camsco
Selector	1	--	3 posiciones	Camsco
Contactador	2	220 V	2,5 KW/11 A	GMC 9
Temporizador	1	24 / 240 V	6 seg – 60 min	Camsco

Fuente: Autor

Tabla 5. Elementos para la protección e iluminación

Elemento	Cantidad	Detalle	Marca
Fusible	4	10 A	Camsco
Led	1	Rojo	--
Resistencia	1	1000 Ω	--
Indicador luminoso	1	Naranja	Camsco

Fuente: Autor

Tabla 6. Cableado

Elemento	Cantidad	Detalle	Marca
Cable sólido	2 m	Rojo #14 AWG	--
Cable sólido	2 m	Negro #14 AWG	--
Cable flexible	5 m	Rojo #14 AWG	--
Cable flexible	5 m	Negro #14 AWG	--
Cable flexible	5 m	Azul #14 AWG	--
Cable flexible	5 m	Amarillo #14 AWG	--
Cable sucre	1 m	Negro	--

Fuente: Autor

Tabla 7. Accesorios

Elemento	Cantidad	Detalle	Marca
Toma Cooper	1	50 A / 240 V	Nema
Riel	1	DIN 35	--
Porta fusibles	2	30 A	--
Tablero	1	--	--
Base para temporizador	1	8 pin	Camsco
Barra para tierra	1	8x12x30mm	--

Fuente: Autor

CAPÍTULO IV

4. DISEÑO DEL TROQUEL

4.1 Parámetros de diseño del troquel

El diseño del troquel tiene por objetivo incrementar la producción de arandelas, optimizando el material de trabajo, y a la vez reduciendo tiempo y costo; por ende debe cumplir con ciertos parámetros técnicos y de funcionabilidad para alcanzar dicha meta.

- El diseño del troquel debe ser claro y de sencilla comprensión.
- El diseño del troquel debe garantizar la precisión de corte del material, durante la operación de punzonado.
- El diseño del troquel debe permitir el trabajo continuo.
- El diseño del troquel debe asegurar la estabilidad del conjunto de trabajo, cuando esté en operación.
- El diseño del troquel debe garantizar una alta confiabilidad, por medio del factor de seguridad.
- Además el diseño del troquel debe satisfacer las necesidades y requerimientos del ente de financiamiento.

4.2 Análisis y selección de alternativas

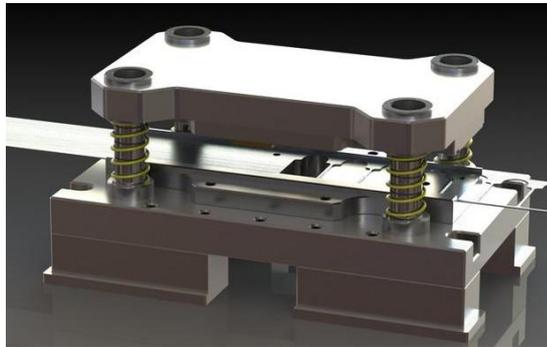
A continuación se va analizar las diferentes alternativas, para realizar el diseño del troquel y a su vez seleccionar la alternativa más adecuada, la cual cumpla con los parámetros mencionados anteriormente.

4.2.1 *Alternativas: ventajas y desventajas.*

Troqueles:

Alternativa 1: Troquel simple.

Figura 49. Troquel simple



Fuente:

http://0.static.wix.com/media/9ccd3f_c177d9e03b0762a395231fab564b4ec9.jpg_1024

Ventajas:

- Costo inicial relativamente bajo.
- Poca necesidad de mantenimiento y gran durabilidad en sus componentes.

Desventajas:

- Solo genera piezas de geometrías sencillas.
- No permite combinar operaciones en un ciclo de trabajo.

Alternativa 2: Troquel compuesto.

Figura 50. Troquel compuesto



Fuente: http://tekaonline.com/wp-content/uploads/2013/10/lobster_tools_advanced_detail_4.jpg

Ventajas:

- Permite generar piezas con geometrías medianamente complejas.
- Su producción es relativamente alta con buena variedad en sus productos.

Desventajas:

- Costo inicial relativamente alto
- Necesidad de mantenimiento.

Alternativa 3: Troquel progresivo.

Figura 51. Troquel progresivo



Fuente: http://www.bianchinepoli.it/_prodotti/foto-stampo-aperto-2.jpg

Ventajas:

- Permite realizar piezas de geometrías con una alta complejidad.
- Tiene una elevada producción con gran diversidad en sus productos.

Desventajas:

- Elevado costo inicial.
- Necesidad de mantenimiento periódico y de personal especializado.

4.2.2 Selección de alternativas por el método de ponderación. A continuación se va a valorar las alternativas por medio de la comparación conceptual, la cual evalúa a cada alternativa en función de las propiedades técnicas; dándole una valoración según los siguientes criterios:

Muy satisfactorio	4
Satisfactorio	3
Poco satisfactorio	2
Nada satisfactorio	1

Tabla 8. Valoración de alternativas (troquel)

Propiedades técnicas	Alternativas generales			
	Alternativa 1	Alternativa 2	Alternativa 3	Alternativa ideal
Funcionabilidad	3	3	3	4
Costo inicial	3	2	2	4
Rentabilidad	3	3	3	4
Seguridad	3	3	3	4
Producción de arandelas	3	2	1	4

Fuente: Autor

Una vez valorada las alternativas se procede a emplear el factor de ponderación (FP), para evaluar cada alternativa y así poder seleccionar la más óptima para el diseño del troquel.

Tabla 9. Factor de ponderación (troquel)

Propiedades técnicas	Factor de ponderación (FP)
Funcionabilidad	0,20
Costo inicial	0,25
Rentabilidad	0,15
Seguridad	0,15
Producción de arandelas	0,25

Fuente: Autor

Tabla 10. Evaluación de alternativas por el método de ponderación

Propiedades técnicas	Alternativa 1			Alternativa 2			Alternativa 3		
	V	FP	P	V	FP	P	V	FP	P
Funcionabilidad	3	0,20	0,60	3	0,20	0,60	3	0,20	0,60
Costo inicial	3	0,25	0,75	2	0,25	0,50	2	0,25	0,50
Rentabilidad	3	0,15	0,45	3	0,15	0,45	3	0,15	0,45
Seguridad	3	0,15	0,45	3	0,15	0,45	3	0,15	0,45
Producción de arandelas	3	0,25	0,75	2	0,25	0,50	1	0,25	0,25
TOTAL			3,00			2,50			2,25

Fuente: Autor

Dónde:

V = Valoración

FP = Factor de ponderación

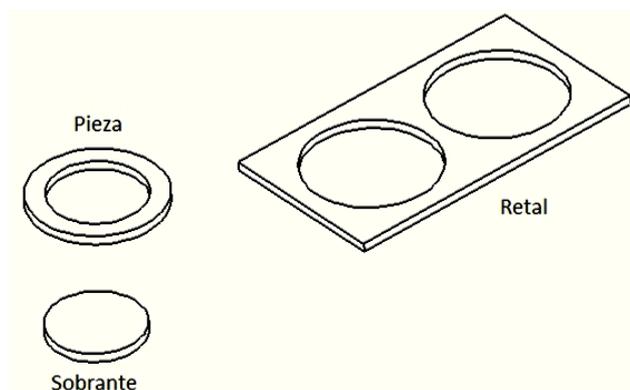
P = Parcial

4.2.3 Resultados. Al evaluar las alternativas por el método de ponderación da como resultado que la alternativa 1 es la más viable en el diseño. Por lo tanto con la alternativa 1 se procede a elaborar el proyecto preliminar del diseño del troquel.

4.3 Diseño mecánico del troquel

El diseño del troquel permitirá obtener una producción en serie; donde el producto terminado se denomina pieza y los sobrantes de la tira retal.

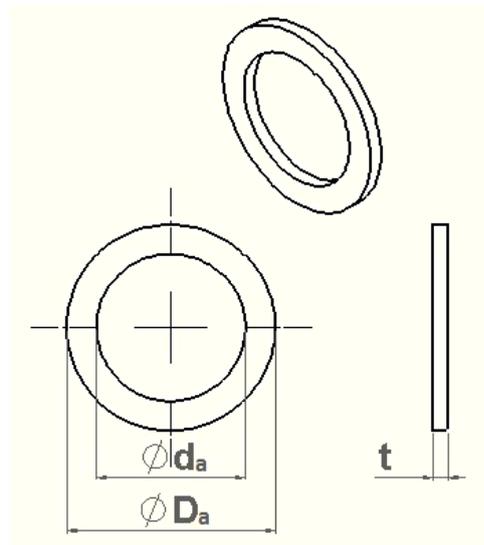
Figura 52. Pieza y retal



Fuente: Autor

Además el diseño mecánico debe optimizar la producción y el material a emplear; por eso es necesario conocer las dimensiones de la arandela requerida y en el material que se desea; así el diseño del troquel se rige bajo los siguientes parámetros:

Figura 53. Arandela



Fuente: autor

Parámetros:

Material: cobre

Resistencia al corte: $S_s = 22 \frac{kg}{mm^2}$ (ANEXO A)

$D_a = 14mm$

$d_a = 10mm$

$t = 1mm$

Con los parámetros de la arandela, se procede a realizar los cálculos para diseñar el troquel.

4.3.1 Fuerza necesaria para el corte. La fuerza necesaria para el corte viene dada por la siguiente expresión:

$$F_c = P_c * t * S_s \quad (1)$$

Dónde:

P_c = Perímetro de la pieza a cortar, en mm.

t = Espesor del fleje, en mm.

S_s = Resistencia al corte (cizalladura).

Para poder analizar la fuerza necesaria de corte, del fleje de cobre, se debe dividir en dos etapas.

a) Etapa 1. Fuerza necesaria para punzonar el perfil interno (F_{c1}).

$$P_{ci} = \pi * d_a$$

$$F_{c1} = P_{ci} * t * S_s$$

$$F_{c1} = \pi * d_a * t * S_s$$

$$F_{c1} = \pi(10\text{mm})(1\text{mm})22 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$F_{c1} = 691,15 \text{ kg}$$

b) Etapa 2. Fuerza necesaria para punzonar el perfil externo (F_{c2}).

$$P_{ce} = \pi * D_a$$

$$F_{c2} = P_{ce} * t * S_s$$

$$F_{c2} = \pi * D_a * t * S_s$$

$$F_{c2} = \pi(14\text{mm})(1\text{mm})22 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$F_{c2} = 967,61 \text{ kg}$$

La fuerza total necesaria para el corte, es la suma de las fuerzas que se efectúan en los cortes 1 y 2.

$$F_c = F_{c1} + F_{c2} \quad (2)$$

$$F_c = 691,15 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} + 967,61 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$F_c = 1658,76 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

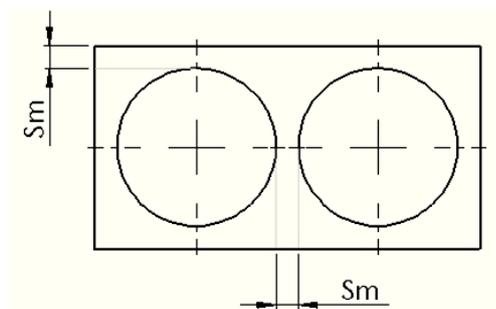
$$F_c \cong 1660 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Al conocer la fuerza total de corte existe la necesidad de tener una troqueladora que genere por lo menos dos toneladas de fuerza (fuerza de impacto)

4.3.2 *Diseño de la tira a troquelar.* El diseño de la tira debe optimizar la cantidad de material; por ello debe cumplir con algunos parámetros de diseño; que son: separación mínima entre las piezas, ancho de la tira y el paso que debe tener para trabajar.

4.3.2.1 *Separación mínima entre piezas a recortar (S_m).* La separación entre piezas debe tener un valor mínimo que garantice y evite la deformación en la tira, por falta de rigidez en las paredes interiores del fleje cuando este haya sido cortado por los punzones. Además debe asegurar que las piezas salgan completas.

Figura 54. Separación mínima entre piezas a recortar



Fuente: Autor

Por lo tanto la separación mínima entre las piezas es de 1,5 a 2 veces el espesor del material.

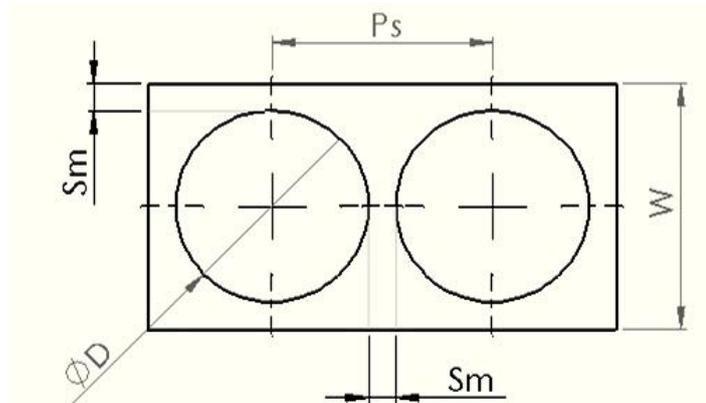
$$S_m = 2 * t \tag{3}$$

$$S_m = 2(1\text{mm})$$

$$S_m = 2 \text{ mm}$$

4.3.2.2 Ancho (W) y paso (P_s) de la tira. Estos valores dependen del diámetro externo de la arandela y la separación mínima.

Figura 55. Ancho y paso de la tira



Fuente: Autor

El ancho de la tira se calcula con la siguiente ecuación:

$$W = D_a + 2 * S_m \quad (4)$$

$$W = 14\text{mm} + 2(2\text{mm})$$

$$W = 18\text{mm}$$

El paso de la tira se calcula con la siguiente ecuación:

$$P_s = D_a + S_m \quad (5)$$

$$P_s = 14\text{mm} + 2\text{mm}$$

$$P_s = 16\text{mm}$$

4.3.2.3 Porcentaje de aprovechamiento de la tira (PA). Permite conocer cuánto material se va aprovechar de la tira, y se lo hace en función del número de piezas obtenidas de la tira.

$$PA = \frac{A_p * N_p}{A_t} * 100\% \quad (6)$$

Dónde:

A_a = Área total de la pieza obtenida, en mm^2 .

N_p = Cantidad de piezas que salen de la tira.

A_t = Área de la tira, en mm^2 .

Área total de la pieza obtenida:

$$A_a = \frac{\pi(D_a^2 - d_a^2)}{4} \quad (7)$$

$$A_a = \frac{\pi(14^2 - 10^2)}{4}$$

$$A_a = 75,40 \text{ mm}^2$$

Cantidad de piezas que salen de la tira.

$$N_p = \frac{L_t}{P_s} \quad (8)$$

Dónde:

L_t = Longitud de la tira, en mm.

P_s = Paso de la tira.

Enseguida se va analizar la cantidad de piezas en un metro de tira (fleje), con la siguiente ecuación:

$$L_t = 1000\text{mm}$$

$$N_p = \frac{1000\text{mm}}{16\text{mm}}$$

$$N_p = 62,5$$

El número de piezas que debe salir de una tira, tiene que ser un valor exacto, por lo tanto la cantidad de piezas es 62.

Área total de la tira:

$$A_t = L_t * W \quad (9)$$

$$A_t = 1000 \text{ mm}(18 \text{ mm})$$

$$A_t = 18000 \text{ mm}^2$$

Teniendo los valores de las áreas y cantidad de piezas se calculará el porcentaje de aprovechamiento de la tira.

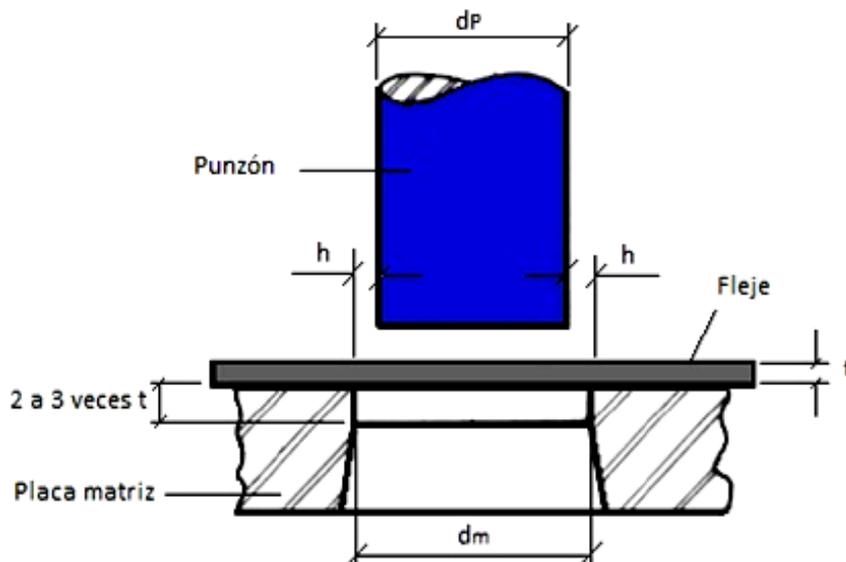
$$PA = \frac{(75,40 \text{ mm}^2)62}{(18000 \text{ mm}^2)} * 100\%$$

$$PA = 26\%$$

4.3.3 *Holgura entre el punzón y la matriz.* Es la holgura (ajuste deslizante) que debe existir entre los punzones y la matriz; con el objetivo de poder producir un corte adecuado en la tira. Además la holgura depende de dos factores como el espesor y material, así por medio del (**ANEXO B**) se puede conocer el valor de la misma:

$$h = 0,05 \text{ mm}$$

Figura 56. Juego entre el punzón y la matriz (contorno interno de la arandela)



Fuente: Autor

Diámetro del punzón de contorno interno (d_p). Este valor debe ser igual al contorno interno de la arandela.

$$d_a = d_p$$

$$d_p = 10 \text{ mm}$$

Diámetro menor de la cavidad de la matriz (d_m).

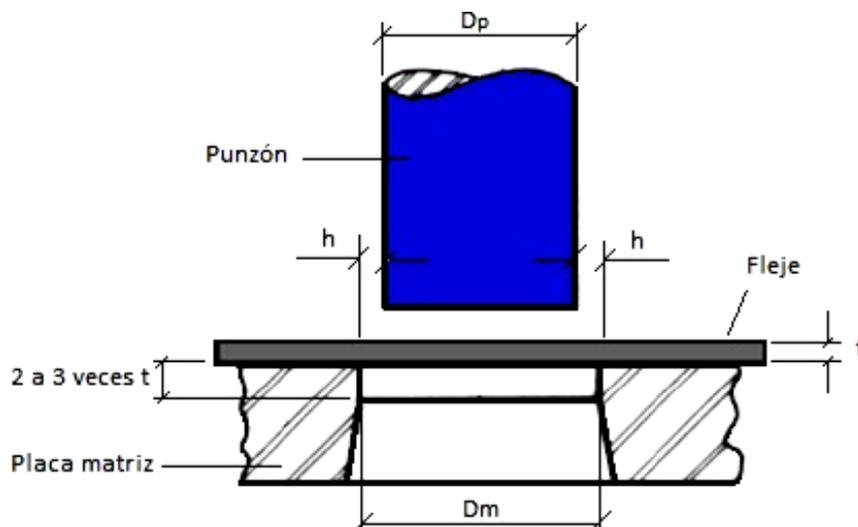
$$d_m = d_p + 2 * h \quad (10)$$

$$d_m = 10 \text{ mm} + 2(0,05\text{mm})$$

$$d_m = 10,10 \text{ mm}$$

Con el valor de la holgura y el diámetro mayor de la cavidad de la matriz se dimensionará el diámetro del punzón de contorno externo

Figura 57. Juego entre el punzón y la matriz (contorno externo de la arandela)



Fuente: Autor

Diámetro de la cavidad mayor de la matriz (D_m). Este valor debe ser igual al contorno externo de la arandela.

$$D_a = D_m$$

$$D_m = 14 \text{ mm}$$

Diámetro del punzón de contorno externo (D_p).

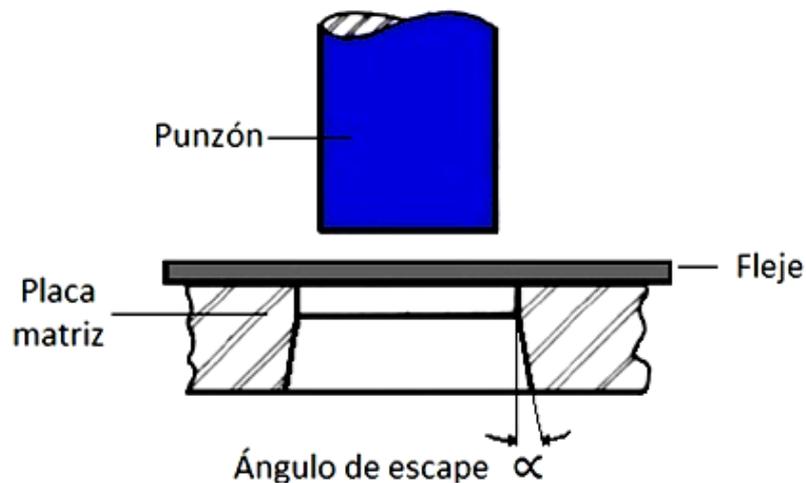
$$D_p = D_m - 2 * h \quad (11)$$

$$D_p = 14 \text{ mm} - 2(0,05\text{mm})$$

$$D_p = 13,90\text{mm}$$

4.3.3 *Ángulo de escape (α)*. Dentro de la matriz se puede producir el fenómeno de atrapamiento del material recortado (retal); eso es debido a que el material (fleje) después de ser recortada la pieza con el punzón este se recupera elásticamente, para evitar ese fenómeno es necesario que la matriz tenga un ángulo de escape, de esa manera se facilita la expulsión del material recortado.

Figura 58. Ángulo de escape



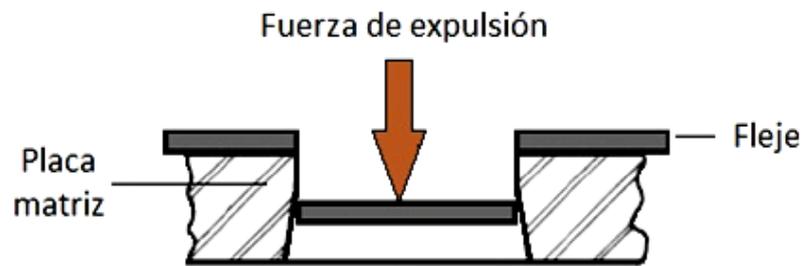
Fuente: Autor

El ángulo de escape recomendado es de 1 a 3 grados, por lo que se escoge el valor de 3° por ser el más óptimo para el diseño del troquel.

$$\alpha = 3^\circ$$

4.3.4 *Fuerza de expulsión (F_{exp})*. Es la fuerza necesaria para expulsar el retal que puede quedar atrapado en la matriz.

Figura 59. Fuerza de expulsión



Fuente: Autor

La fuerza de expulsión es igual al 1 % de la fuerza de corte del punzón interior.

$$F_{\text{exp}} = \frac{1 * F_{c1}}{100} \quad (12)$$

$$F_{\text{exp}} = \frac{1 * 691,15 \text{ kg}}{100}$$

$$F_{\text{exp}} = 6,91 \text{ kg}$$

$$F_{\text{exp}} \cong 7 \text{ kg}$$

La fuerza de expulsión necesaria es de 7 kg.

4.3.5 Fuerza de reposición (F_R). Es la fuerza necesaria para reposicionar a la parte móvil a su posición de trabajo. Además la fuerza de reposición es igual al 3 % de la fuerza de corte total. (Estos valores pueden cambiar según la necesidad del diseño del troquel).

$$F_R = \frac{3 * F_c}{100} \quad (13)$$

$$F_R = \frac{3 * 1660 \text{ kg}}{100}$$

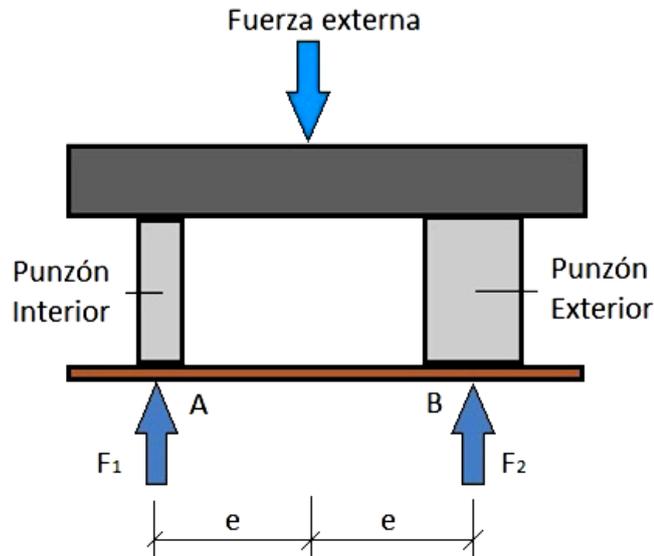
$$F_R = 49,8 \text{ kg}$$

$$F_R \cong 50 \text{ kg}$$

4.3.6 Diseño de los punzones

4.3.6.1 Cálculo de la longitud de los punzones. Al existir una fuerza exterior, que se aplica directamente sobre los punzones se desea evitar el fenómeno del pandeo, que es una inestabilidad longitudinal; por ello se debe analizar el punzón interior, porque es el elemento más propenso al pandeo por tener el menor diámetro.

Figura 60. Análisis de fuerzas en los punzones



Fuente: Autor

Dónde:

F_{ext} = Es la fuerza necesaria para efectuar el corte (F_c).

$$F_{ext} = 1660 \text{ kg}$$

A continuación se procede a realizar la sumatoria de fuerzas y de momentos, para poder determinar el valor de la fuerza que soporta el punzón interior y así proceder con el diseño:

$$\sum F_y = 0$$

$$F_1 + F_2 = F_{ext} \quad (14)$$

$$F_1 + F_2 = 1600 \text{ kg}$$

$$\sum M_A = 0$$

$$-F_{\text{ext}} * e + F_2(2 * e) = 0$$

$$F_2 = \frac{F_{\text{ext}} * e}{2 * e}$$

$$F_2 = \frac{F_{\text{ext}}}{2}$$

$$F_2 = \frac{1660}{2} \text{ kg}$$

$$F_2 = 830 \text{ kg}$$

F_2 se reemplaza en la ecuación (14) para obtener el valor de la fuerza uno que es la fuerza de interés.

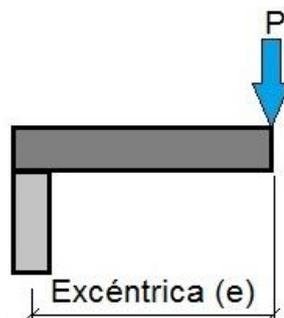
$$F_1 + 830 \text{ kg} = 1600 \text{ kg}$$

$$F_1 = 1600 \text{ kg} - 830 \text{ kg}$$

$$F_1 = 830 \text{ kg}$$

Con la carga de 830 kg se analiza el punzón interior, para evitar deformación en el mismo; y eso es debido a que la fuerza no está aplicada directamente sobre el punzón, por lo tanto se emplea la ecuación de la secante.

Figura 61. Análisis de la columna



Fuente: Autor

Ecuación de la secante:

$$P_{cri} = \frac{S_y * A_p}{1 + \frac{e * c}{r_g^2} \sec\left(\frac{L_p}{r_g} \sqrt{\frac{P}{4 * A * \epsilon}}\right)} \quad (15)$$

Dónde:

P_{cri} = Fuerza crítica, en kg.

S_y = Límite elástico del material del punzón ($S_y = 260 \frac{kg}{mm^2}$)

A_p = Área transversal del punzón, en mm^2 .

e = Excéntrica (distancia que existe desde la carga hasta el centro de la columna), en mm.

c = Fibra más lejana, en mm.

r_g = Radio de giro, en mm.

P = Carga que soporta el punzón, en kg.

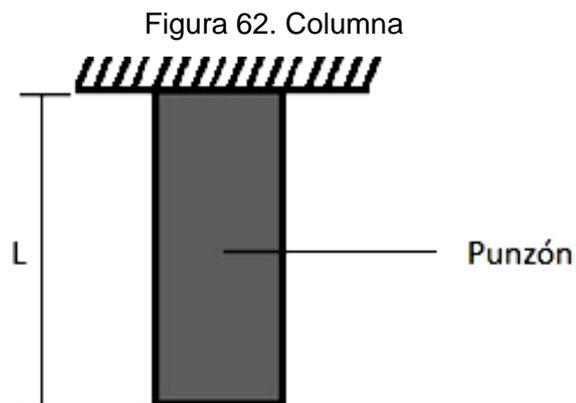
L_p = Longitud de pandeo, en mm.

ϵ = Módulo de Young ($21500 \frac{kg}{mm^2}$).

Ecuación del radio de giro:

$$r_g = \frac{d_p}{4} \quad (16)$$

La columna por estar empotrada en uno de sus extremos y libre en el otro, la longitud de pandeo es dos veces la longitud de la columna.



Fuente: Autor

$$L_p = 2 * L \quad (17)$$

$$L_p = 2(50) \text{ mm}$$

$$L_p = 100 \text{ mm}$$

Reemplazando las ecuaciones (16) y (17) en la ecuación (15) se obtiene la siguiente expresión:

$$P_{cri} = \frac{S_y \left(\frac{\pi * d_p^2}{4} \right)}{1 + \frac{e \left(\frac{d_p}{2} \right)}{\left(\frac{d_p}{4} \right)^2} \sec \left(\frac{L_p}{\frac{d_p}{4}} \sqrt{\frac{P}{4 \left(\frac{\pi * d_p^2}{4} \right) \epsilon}} \right)}$$

$$P_{cri} = \frac{260 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \left(\frac{\pi * 10^2 \text{mm}^2}{4} \right)}{1 + \frac{17 \text{mm} \cdot \left(\frac{10 \text{ mm}}{2} \right)}{\left(\frac{10 \text{mm}}{4} \right)^2} \sec \left(\frac{100 \text{mm}}{\frac{10 \text{mm}}{4}} \sqrt{\frac{830 \text{ kg}}{4 \left(\frac{\pi * 10^2 \text{mm}^2}{4} \right) \left(21500 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)}} \right)}$$

$$P_{cri} = 1271,80 \text{ kg}$$

Con el valor de la carga crítica se procede a encontrar el factor de seguridad que debe tener la columna; la cual debe tener un valor mínimo de 1,3.

$$\eta = \frac{P_{cri}}{P} \quad (18)$$

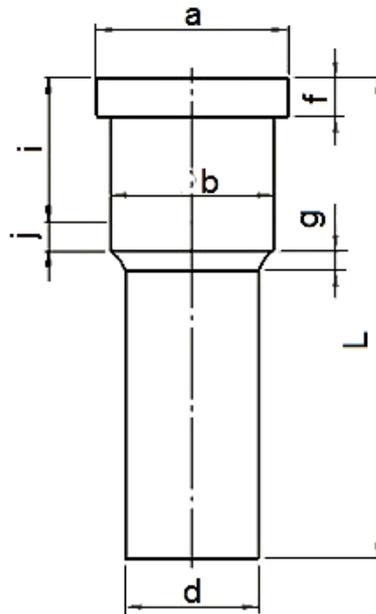
$$\eta = \frac{1271,80 \text{ kg}}{830 \text{ kg}}$$

$$\eta = 1,53$$

Como el factor de seguridad obtenido es mayor al factor de seguridad recomendado, la longitud del punzón recomendada es de 50 mm.

4.3.6.2 Dimensionamiento de los punzones.

Figura 63. Dimensiones del punzón



Fuente: Autor

Dónde:

a = Diámetro de la cabeza para un correcto apoyo en la placa porta punzón (3mm mayor que b), en mm.

b = Diámetro de ajuste en el porta punzón (3mm mayor que d), en mm.

d = Diámetro del punzón, en mm.

f = Espesor de la cabeza de apoyo para el porta punzón (8 a 10% de L), en mm.

g = Chablán de 2 mm.

i = Medida del porta punzón (30% de L), en mm.

j = Medida de 3mm aproximadamente (aumenta la estabilidad del punzón), en mm.

L = Longitud del punzón, en mm

A continuación se realiza los cálculos para conocer las medidas de cada uno de los punzones:

a) Punzón de contorno interno (ρ_i):

$$d_p = 10\text{mm}$$

$$b_{\rho_i} = d_p + 3\text{mm} \quad (19)$$

$$b_{pi} = 10\text{mm} + 3\text{mm}$$

$$b_{pi} = 13\text{mm}$$

$$a_{pi} = b_{pi} + 3\text{mm} \quad (20)$$

$$a_{pi} = 13\text{mm} + 3\text{mm}$$

$$a_{pi} = 16\text{mm}$$

$$f_{pi} = \frac{8 * L}{100} \quad (21)$$

$$f_{pi} = \frac{8 * 50\text{mm}}{100}$$

$$f_{pi} = 4\text{mm}$$

$$i_{pi} = \frac{30 * L}{100} \quad (22)$$

$$i_{pi} = \frac{30 * 50\text{mm}}{100}$$

$$i_{pi} = 15\text{mm}$$

b) Punzón de contorno externo (pe):

$$D_p = 13,90\text{mm}$$

$$b_{pe} = D_p + 3\text{mm}$$

$$b_{pe} = 13,90\text{mm} + 3\text{mm}$$

$$b_{pe} = 16,90\text{mm}$$

$$b_{pe} \cong 17\text{mm}$$

$$a_{pe} = b_{pe} + 3\text{mm}$$

$$a_{pe} = 17\text{mm} + 3\text{mm}$$

$$a_{pe} = 20\text{mm}$$

$$f_{pe} = \frac{8 * L}{100}$$

$$f_{pe} = \frac{8 * 50\text{mm}}{100}$$

$$f_{pe} = 4\text{mm}$$

$$i_{pe} = \frac{30 * L}{100}$$

$$i_{pe} = \frac{30 * 50\text{mm}}{100}$$

$$i_{pe} = 15\text{mm}$$

4.4 Elementos del troquel

4.4.1 Placa matriz. La placa matriz es una pieza de acero indeformable, que se puede construir en acero AISI D2 (k100), posteriormente tratada térmicamente (templado y revenido); asimismo la placa está provista de cavidades con la misma geometría que los punzones, pero con un juego deslizante (holgura). Además la geometría de la placa está en función de los punzones y la tira.

A continuación se realiza el cálculo del espesor de la placa, que es un 40% de la longitud de los punzones.

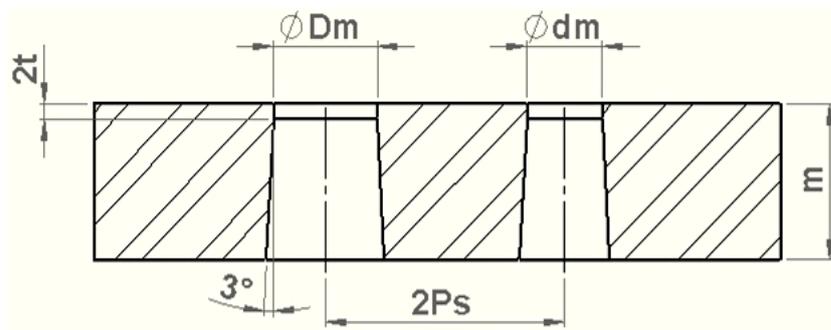
$$m = \frac{40 * L}{100} \tag{23}$$

$$m = \frac{40 * 50 \text{ mm}}{100}$$

$$m = 20 \text{ mm}$$

Las cavidades de la matriz tienen una parte recta (dos veces el espesor) y después eso cada cavidad empieza a convertirse en una zona cónica debido al ángulo de escape (α). La separación entre las cavidades es el paso; pero por el dimensionamiento de los punzones el paso será dos veces su valor.

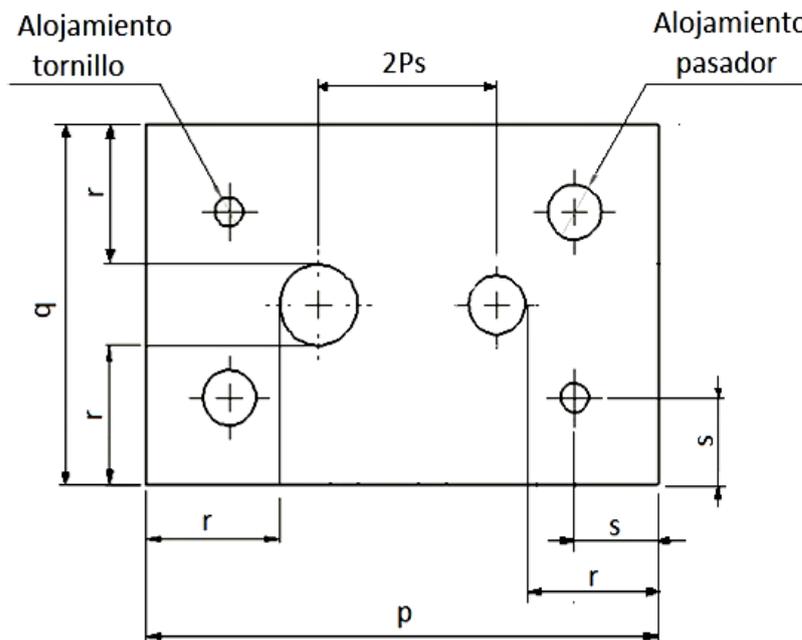
Figura 64. Placa matriz



Fuente: Autor

El largo y ancho de la placa matriz se puede configurar según el siguiente esquema:

Figura 65. Dimensionamiento placa matriz



Fuente: Autor

Dónde:

p = Largo de la placa matriz.

q = Ancho de la placa matriz.

r = Distancia entre el borde exterior y diámetro (cavidad) de la matriz, y puede ser 1,7 a 2 veces el tamaño de la cavidad más grande de la matriz.

s = Distancia entre el borde exterior y centro de los diámetros de los tornillos.

$$r = 1,7 * D_m \quad (24)$$

$$r = 1,7 * 14 \text{ mm}$$

$$r = 23,80 \text{ mm}$$

$$r \cong 24 \text{ mm}$$

La distancia s es igual al tres cuartos del espesor de la matriz (siempre y cuando el espesor de la placa sea mayor o igual a 20 mm)

$$s = \frac{3 * m}{4} \quad (25)$$

$$s = \frac{3 * 20 \text{ mm}}{4}$$

$$s = 15 \text{ mm}$$

El largo de la placa matriz:

$$p = 2 * r + 2 * P_s + \frac{D_m}{2} + \frac{d_m}{2} \quad (26)$$

$$p = 2(24 \text{ mm}) + 2(16 \text{ mm}) + \frac{14 \text{ mm}}{2} + \frac{9,90 \text{ mm}}{2}$$

$$p = 91,95 \text{ mm}$$

$$p \cong 92 \text{ mm}$$

El ancho de la placa matriz:

$$q = 2 * r + D_m \quad (27)$$

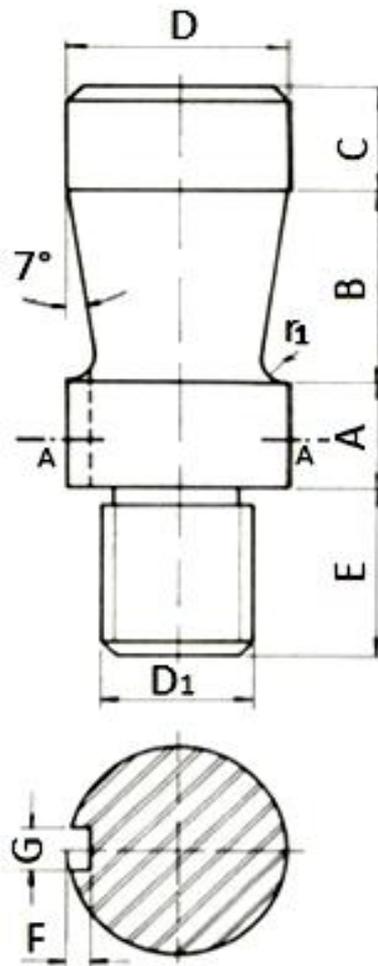
$$q = 2(24 \text{ mm}) + 14 \text{ mm}$$

$$q = 62 \text{ mm}$$

4.4.2 Espiga. La espiga es un elemento que se diseña en función del tonelaje que va a soportar el troquel y se construye en acero 1020.

Por tal razón el dimensionamiento de la espiga se basa en el siguiente gráfico (medidas en mm):

Figura 66. Espiga



Fuente: <http://www.scribd.com/doc/31789225/Informacion-Tecnologica-Matrices-de-Corte-Definicion-y-Nomenclatura>

En el **ANEXO C** se indica las dimensiones de la espiga según la capacidad de la prensa. Pero como los valores empiezan desde 10 ton., se realiza el método de extrapolación para 2 ton.

Tabla 11. Dimensiones de la Tabla

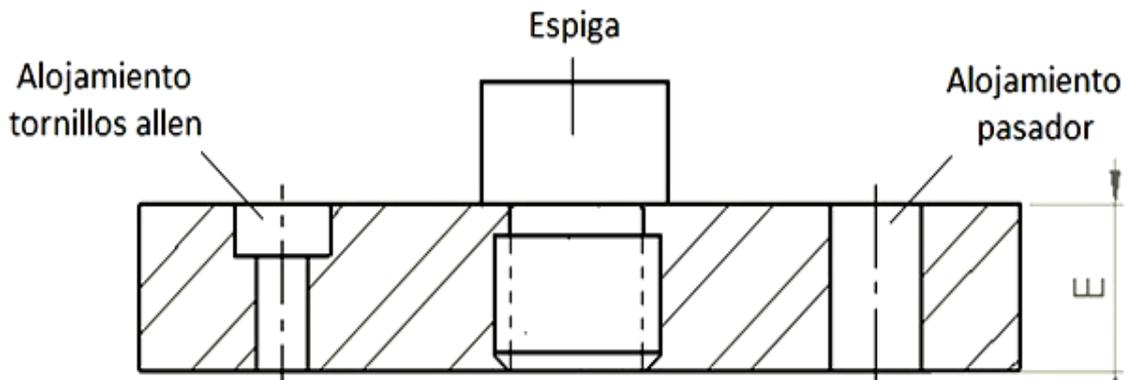
Capacidad de la prensa	D	A	B	C	r ₁	D1 (Métrica fina)	E	F	G
2 ton	19,8	10,6	18,6	10,6	2,6	M10x1,5	16	1,9	3,8
10 ton	25	13	23	13	3	M14x1,5	20	2,5	5
30 ton	38	19	34	19	4	M27x1,5	30	4	8

Fuente: Autor

4.4.3 Placa porta espiga. La placa porta espiga o placa superior se diseña en función del largo de la rosca de la espiga y se lo fabrica en acero AISI 1018 o AISI 1020.

Asimismo la placa superior es donde se alojan los tornillos y pasadores para la sujeción con el resto de placas de la parte superior.

Figura 67. Diseño placa porta espiga



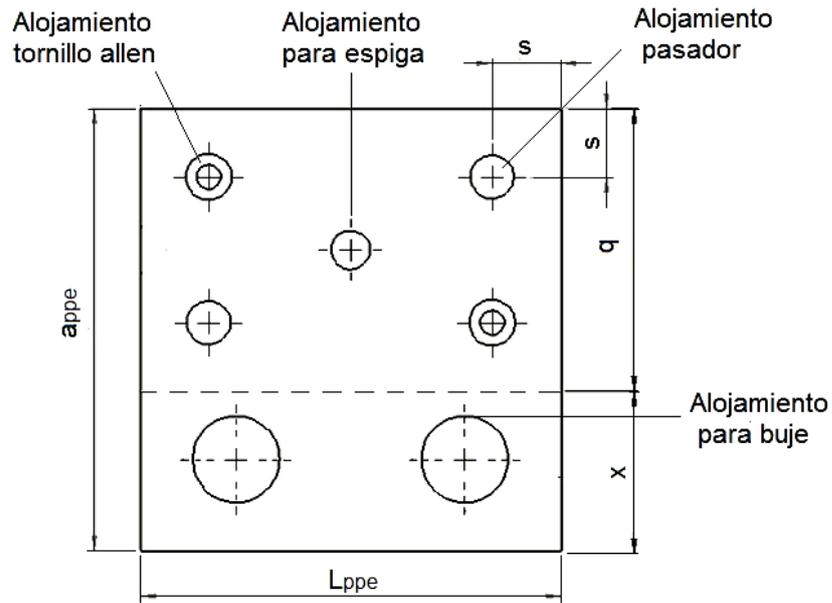
Fuente: Autor

Espesor de la placa porta espiga (E):

$$E = 16 \text{ mm}$$

El dimensionamiento de la placa porta espiga se basa en la geometría de la placa matriz,

Figura 68. Dimensionamiento placa porta espiga



Fuente: Autor

Dónde:

L_{ppe} = Largo placa porta espiga, en mm.

a_{ppe} = Ancho placa porta espiga, en mm.

x = Medida para ubicar las columnas guías (aproximadamente 35 mm)

$$x \cong 35 \text{ mm}$$

$$L_{ppe} = p$$

$$L_{ppe} = 92 \text{ mm}$$

$$a_{ppe} = q + x \tag{28}$$

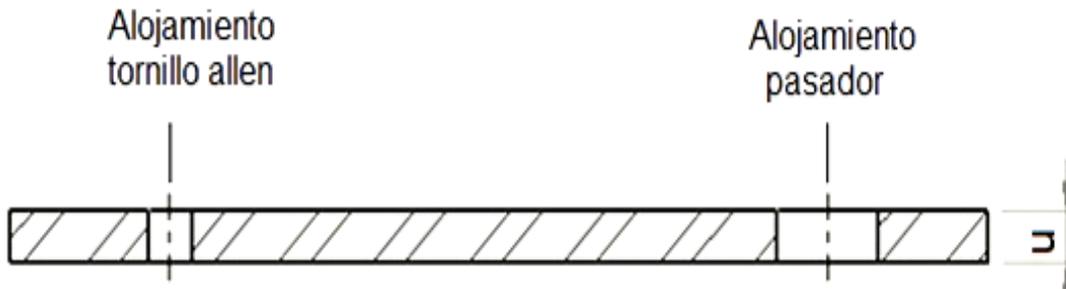
$$a_{ppe} = 62 \text{ mm} + 35 \text{ mm}$$

$$a_{ppe} = 97 \text{ mm}$$

4.4.4 Placa de choque (sufridera). La placa de choque se diseña en función del espesor de la tira y se lo fabrica en acero 1070 con tratamiento térmico (templado y revenido).

Así se tiene que el espesor de la placa de choque es igual a cuatro veces el espesor del fleje.

Figura 69. Diseño placa de choque



Fuente: Autor

Espesor de la placa de choque (u):

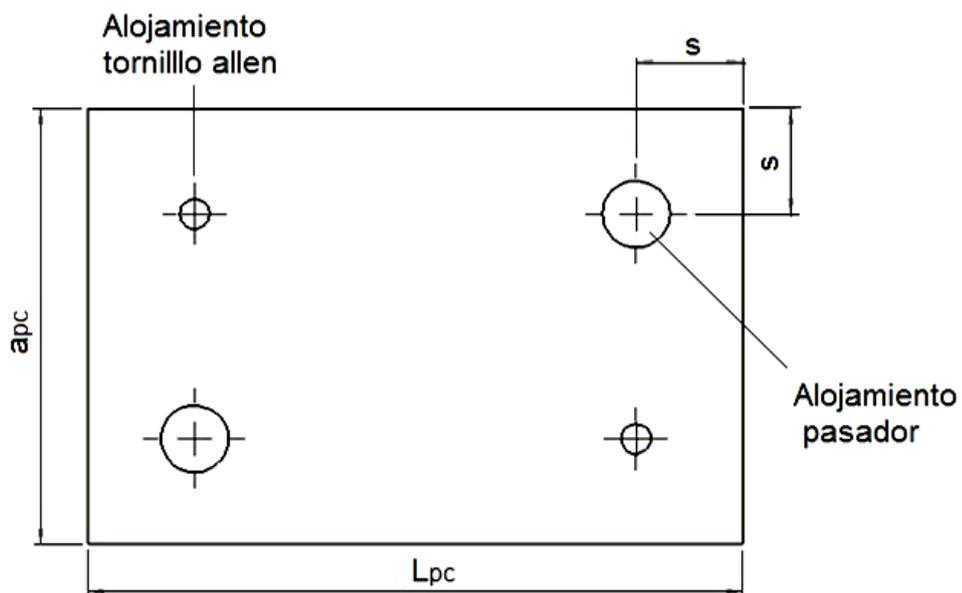
$$u = 4 * t \quad (29)$$

$$u = 4 * 1 \text{ mm}$$

$$u = 4 \text{ mm}$$

El dimensionamiento de la placa de choque se basa en la geometría de la placa matriz:

Figura 70. Dimensionamiento placa de choque



Fuente: Autor

Dónde:

L_{pc} = Largo de la placa de choque, en mm.

a_{pc} = Ancho de la placa de choque, en mm.

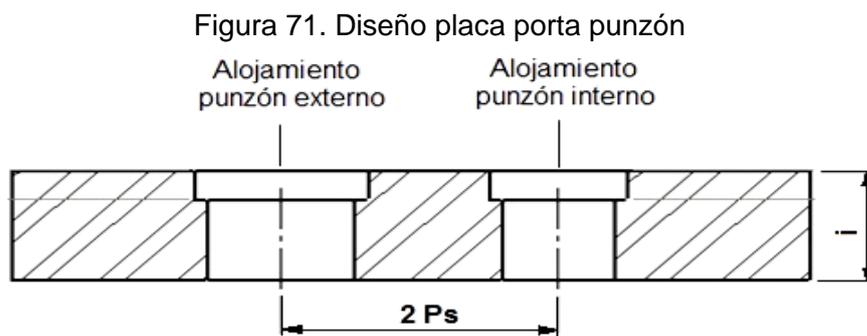
$$L_{pc} = p$$

$$L_{pc} = 92 \text{ mm}$$

$$a_{pc} = q$$

$$a_{pc} = 62 \text{ mm}$$

4.4.5 Placa porta punzón. El diseño de la placa porta punzón se basa en la longitud de los punzones y se lo fabrica en acero 1020.



Fuente: Autor

Espesor de la placa porta punzón (i):

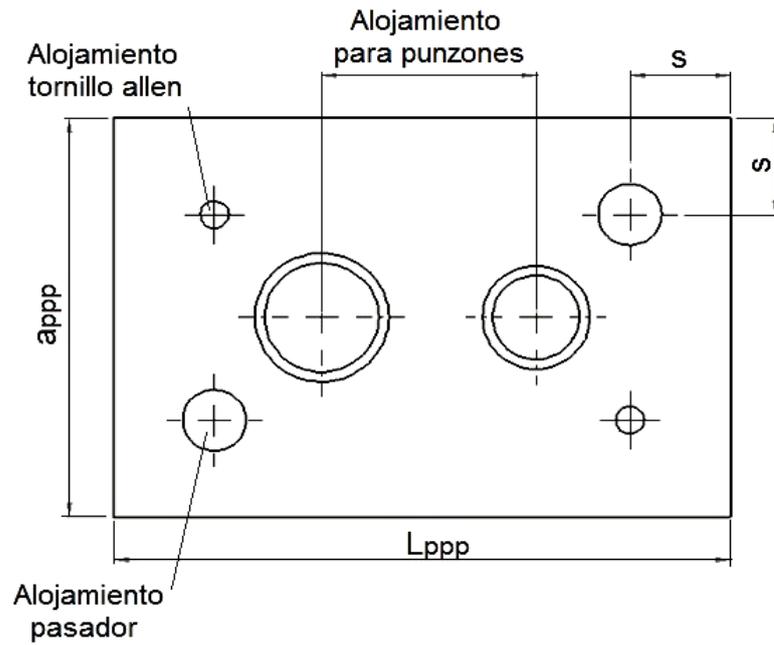
$$i = \frac{30 * L}{100} \quad (30)$$

$$i = \frac{30 * 50 \text{ mm}}{100}$$

$$i = 15 \text{ mm}$$

El dimensionamiento de la placa porta punzón se basa en la geometría de la placa matriz

Figura 72. Dimensionamiento de la placa porta punzón



Fuente: Autor

Dónde:

L_{ppp} = Largo placa porta punzón, en mm.

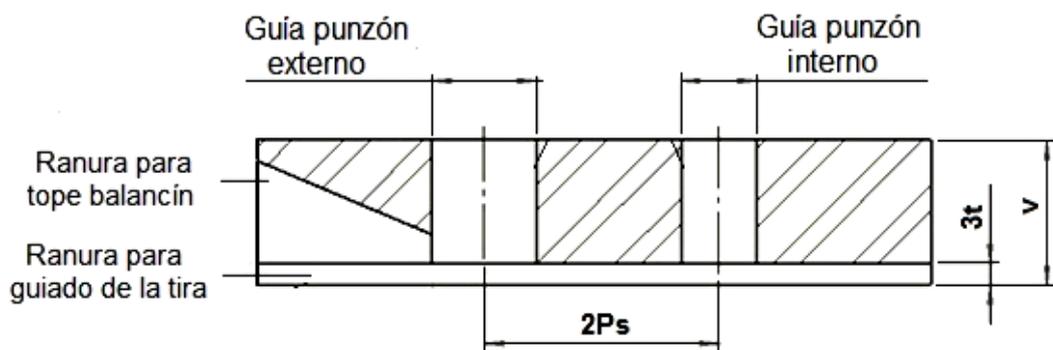
a_{ppp} = Ancho placa porta punzón, en mm.

$$L_{ppp} = p = 92 \text{ mm}$$

$$a_{ppp} = q = 62 \text{ mm}$$

4.4.6 Placa guía. La placa guía se basa en la longitud de los punzones (40% de la longitud), y se lo fabrica en acero 1020.

Figura 73. Placa guía



Fuente: Autor

Espesor de la placa guía (v):

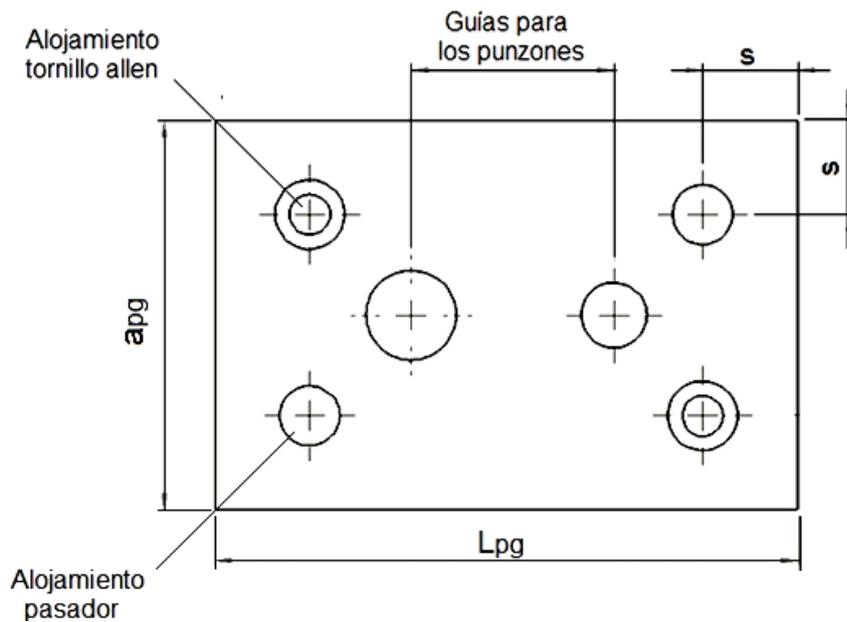
$$v = \frac{40 * L}{100} \quad (31)$$

$$v = \frac{40 * 50 \text{ mm}}{100}$$

$$v = 20 \text{ mm}$$

El dimensionamiento de la placa guía se basa en la geometría de la placa matriz.

Figura 74. Dimensionamiento de la placa guía



Fuente: Autor

Dónde:

L_{pg} = Largo placa guía, en mm.

a_{pg} = Ancho placa guía, en mm.

$$L_{pg} = p$$

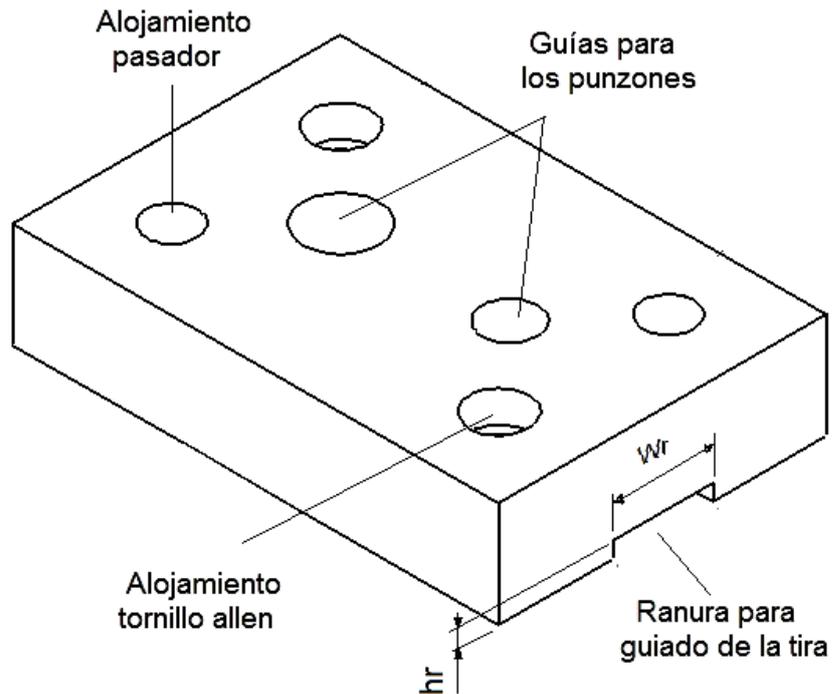
$$L_{pg} = 92 \text{ mm}$$

$$a_{pg} = q$$

$$a_{pg} = 62 \text{ mm}$$

4.4.6.1 Guiado de la tira. El guiado de la tira depende del espesor de la tira y se lo diseña en la placa guía si el espesor es menor a 3 mm, pero si supera ese valor se debe realizar guías laterales con el espesor del material y tolerancias.

Figura 75. Ranura para el guiado de la tira



Fuente: Autor

El ancho de la ranura (w_r) para el guiado, es igual al ancho de la tira más 1/32 de pulgada (0,8mm) recomendado; así se tiene que:

$$w_r = w + 0,8 \text{ mm} \quad (32)$$

$$w_r = 18 \text{ mm} + 0,8 \text{ mm}$$

$$w_r = 18,8 \text{ mm}$$

Y la altura de de la ranura (h_r) puede ser dos a tres veces el espesor de la tira.

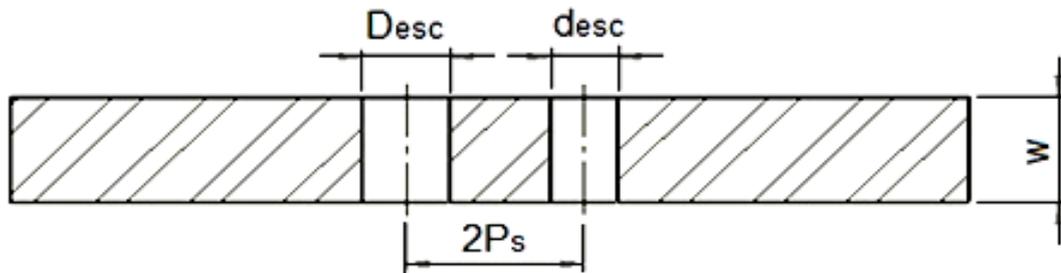
$$h_r = 3 * t \quad (33)$$

$$h_r = 3(1 \text{ mm})$$

$$h_r = 3 \text{ mm}$$

4.4.7 Placa base. La placa base se diseña en función del espesor de la placa matriz y se construye en acero 1020.

Figura 76. Placa base



Fuente: Autor

Dónde:

w = Espesor de la placa base (w), en mm.

D_{esc} = Diámetro de escape de la arandela, en mm.

d_{esc} = Diámetro de escape del material sobrante, en mm.

$$w = m$$

$$w = 20 \text{ mm}$$

$$D_{esc} = D_m + 2 \text{ mm} \quad (34)$$

$$D_{esc} = 13,90 \text{ mm} + 2 \text{ mm}$$

$$D_{esc} = 15,90 \text{ mm} \cong 16 \text{ mm}$$

$$D_{esc} \cong 16 \text{ mm}$$

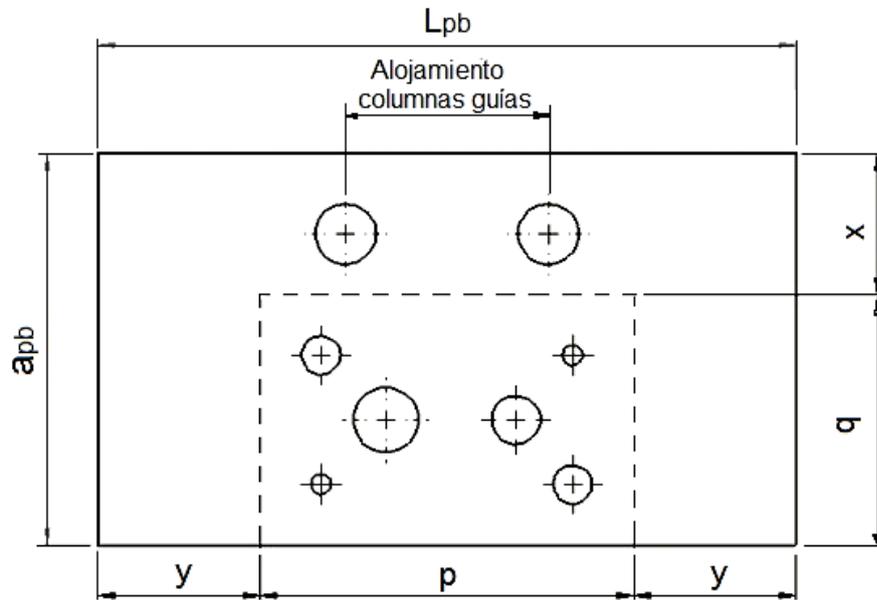
$$d_{esc} = d_m + 2 \text{ mm} \quad (35)$$

$$d_{esc} = 10 \text{ mm} + 2 \text{ mm}$$

$$d_{esc} = 12 \text{ mm}$$

El dimensionamiento de la placa guía se basa en la geometría de la placa matriz.

Figura 77. Dimensionamiento de la placa base



Fuente: Autor

Dónde:

L_{pb} = Largo placa base.

a_{pb} = Ancho placa base.

y = Distancia para la sujeción adecuada con la bancada de la troqueladora.

$$y \cong 40 \text{ mm}$$

$$L_{pb} = p + 2 * y \tag{36}$$

$$L_{pb} = 92 \text{ mm} + 2(40 \text{ mm})$$

$$L_{pb} = 172 \text{ mm}$$

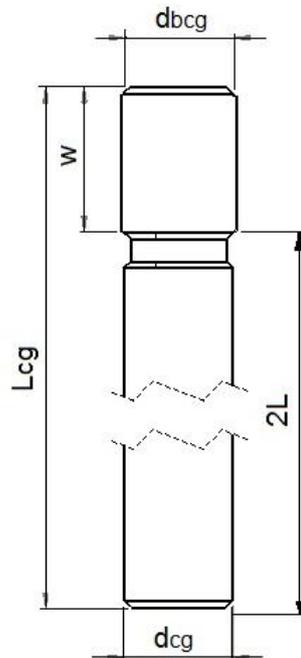
$$a_{pb} = q + x \tag{37}$$

$$a_{pb} = 62 \text{ mm} + 35 \text{ mm}$$

$$a_{pb} = 97 \text{ mm}$$

4.4.8 Columnas guías. Las columnas guías tienen la función de permitir deslizar la parte superior hacia la parte fija del troquel. El diseño de las guías se basa en la longitud de los punzones y el espesor de la placa base en donde debe recibir un ajuste fijo (0,1 a 0,2 mm); además se lo construye en acero SAE 705. (Acero 4340).

Figura 78. Columna guía



Fuente: Autor

Dónde:

L_{cg} = Longitud de la columna guía, en mm.

d_{cg} = Diámetro de la columna guía (mayor que D_p), en mm.

d_{bcg} = Diámetro para la base de la columna (mayor que d_{cg}), en mm.

$$L_{cg} = w + 2 * L \quad (38)$$

$$L_{cg} = 20 \text{ mm} + 2(50 \text{ mm})$$

$$L_{cg} = 120 \text{ mm}$$

$$15 \text{ mm} > D_p = 13,90 \text{ mm}$$

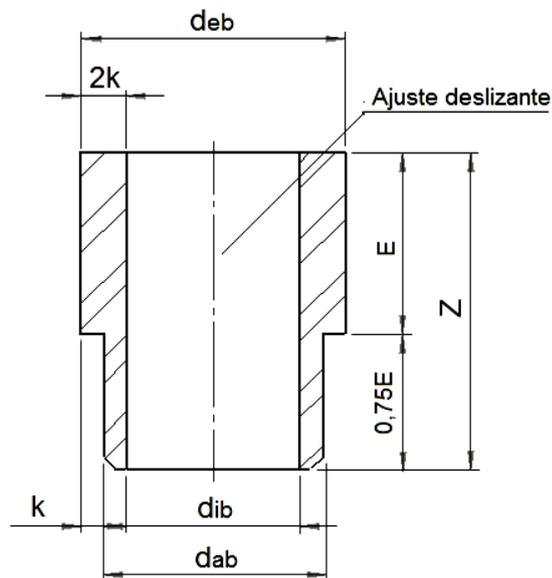
$$d_{cg} = 15 \text{ mm}$$

$$16 \text{ mm} > d_{cg} = 15 \text{ mm}$$

$$d_{bcg} = 16 \text{ mm}$$

4.4.9 Buje (bocín o casquillo). Los bocines tienen la función de reducir la fricción entre metales. Por tal motivo se lo fabrica en materiales blandos (bronce, cobre, etc.), y su diseño se basa en el diámetro de la columna guía y el espesor de la placa porta espiga.

Figura 79. Bocín



Fuente: Autor

Dónde:

z = Largo del bocín, en mm.

k = Espesor de medida aproximada a 2mm.

d_{ib} = Diámetro interno del bocín con ajuste deslizante (0,1 a 0,2 mm), en mm.

d_{ab} = Diámetro para el ajuste con la placa porta espiga, en mm.

d_{eb} = Diámetro externo del bocín, en mm.

$$d_{ib} = d_{cg} + 0,2 \text{ mm} \quad (39)$$

$$d_{ib} = 15 \text{ mm} + 0,20 \text{ mm}$$

$$d_{ib} = 15,20 \text{ mm}$$

$$d_{ab} = d_{ib} + 2 * k \quad (40)$$

$$d_{ab} = 15,20 \text{ mm} + 2(2 \text{ mm})$$

$$d_{ab} = 19,20 \text{ mm}$$

$$d_{eb} = a + 2 * k \quad (41)$$

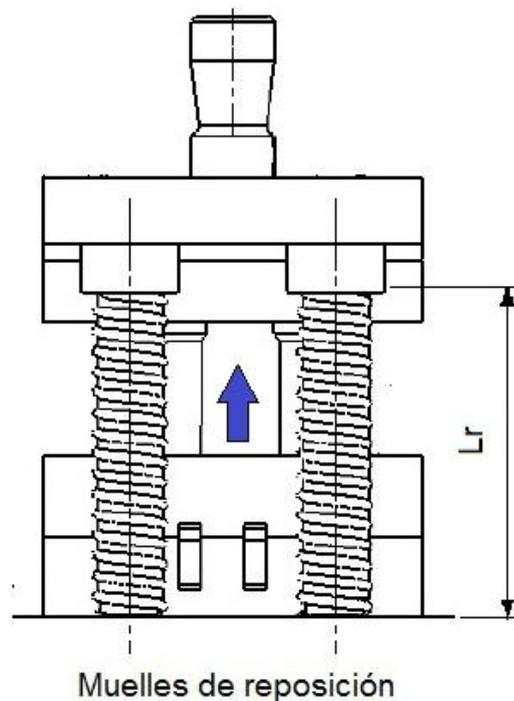
$$d_{eb} = 19,20 \text{ mm} + 2(2 \text{ mm})$$

$$d_{eb} = 23,20 \text{ mm}$$

4.5 Sistemas del troquel

4.5.1 *Sistema de reposición.* El sistema de reposición está encargado de posicionar a la base superior a su estado inicial por medio de los muelles de reposición y eso lo hace cuando se retira la carga externa.

Figura 80. Sistema de reposición

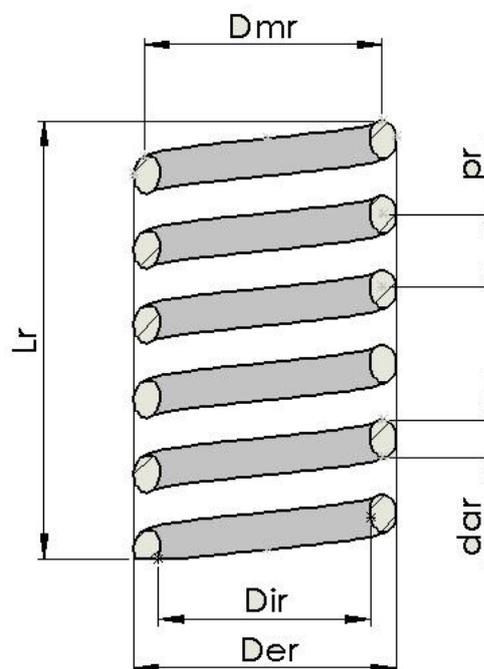


Fuente: Autor

Por tal efecto se debe dimensionar y diseñar adecuadamente los muelles, ya que son los encargados de que funcione correctamente el sistema y en gran parte del funcionamiento de todo el troquel; ya que si no se reposiciona la base superior, no se podría efectuar el avance de la tira y por ende no se podría generar arandelas.

Además para el dimensionamiento del muelle es necesario tener en cuenta que el diámetro interno del muelle está en función del diámetro de la columna guía y la longitud del muelle debe ser adecuado para que los punzones ingresen aproximadamente dos milímetros en la placa guía.

Figura 81. Muelle de reposición



Fuente: Autor

Dónde:

L_r = Longitud libre del muelle (no comprimido), en mm.

D_{ir} = Diámetro interno del muelle, en mm.

D_{er} = Diámetro externo del muelle, en mm.

D_{mr} = Diámetro medio del muelle, en mm.

d_{ar} = Diámetro del alambre del muelle, en mm.

p_r = Paso del muelle, en mm.

$$L_r = 80 \text{ mm}$$

$$D_{ir} = 16 \text{ mm}$$

$$d_{ar} = 1,5 \text{ mm}$$

$$D_{er} = D_{ir} + 2 * d_{ar} \quad (42)$$

$$D_{er} = 16 \text{ mm} + 2(1,5 \text{ mm})$$

$$D_{er} = 19 \text{ mm}$$

$$D_{mr} = \frac{D_{ir} + D_{er}}{2} \quad (43)$$

$$D_{mr} = \frac{16 \text{ mm} + 19 \text{ mm}}{2}$$

$$D_{mr} = 17,5 \text{ mm}$$

El número de espiras que presenta un muelle se lo calcula a partir de la longitud del muelle cuando está comprimido y el diámetro del alambre.

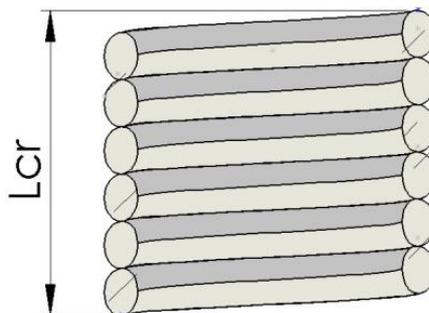
$$N_t = \frac{L_{cr}}{d_r} \quad (44)$$

Dónde:

N_t = Número de espiras.

L_{cr} = Longitud sólida del muelle (comprimido), en mm.

Figura 82. Muelle comprimido



Fuente: Autor

La longitud del muelle comprimido se calcula a partir de la siguiente ecuación:

$$L_{cr} = L_r - \delta_r \quad (45)$$

Dónde:

δ_r = Deformación del muelle. Para garantizar que los punzones ingresen aproximadamente dos milímetros en la placa matriz se tiene lo siguiente:

$$\delta_r = m = 20 \text{ mm}$$

Con lo cual se calcula la longitud del muelle comprimido:

$$L_{cr} = 80 \text{ mm} - 20 \text{ mm} = 60 \text{ mm}$$

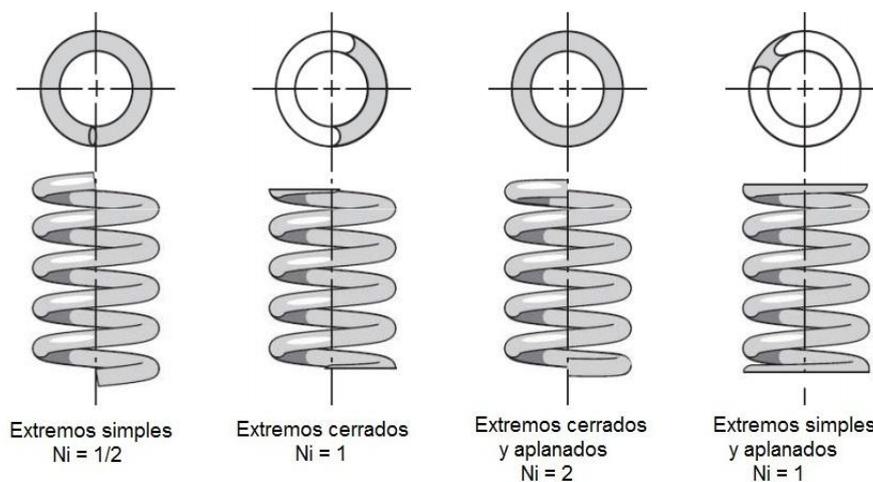
Conociendo dicha longitud se procede a conocer el número de espiras total.

$$N_t = \frac{60 \text{ mm}}{1,5 \text{ mm}}$$

$$N_t = 40$$

Además se debe conocer el número de espiras activas en el muelle y eso depende del número total de espiras y las espiras inactivas (extremos del muelle).

Figura 83. Tipos de extremos de muelles a compresión



Fuente:

http://tecdigital.tec.ac.cr/file/3604992/Exposici%C3%B3n_Cap%C3%ADtulo_12.pdf

Número de espiras activas se calcula con la siguiente ecuación:

$$N_a = N_t - N_i \quad (46)$$

Dónde:

N_a = Número de espiras activas.

N_i = Número de espiras inactivas.

$$N_a = 40 - 2 = 38$$

A continuación se calcula la separación mínima entre espiras (S_{me}):

$$S_{me} = \frac{\delta_r}{\#espiras} \quad (47)$$

$$S_{me} = \frac{20 \text{ mm}}{40}$$

$$S_{me} = 0,5 \text{ mm}$$

Con el valor de la separación mínima se calcula el paso del muelle:

$$p_r = 2 * d_r + S_{me} \quad (48)$$

$$p_r = 2(1,5 \text{ mm}) + 0,5 \text{ mm}$$

$$p_r = 3,5 \text{ mm}$$

4.5.1.1 Pandeo en el muelle. Cuando la relación entre la longitud libre del muelle y el diámetro medio es superior a 4 se debe verificar que no se presente pandeo.

$$\frac{L_r}{D_{mr}} \leq 4 \quad (49)$$

$$\frac{80 \text{ mm}}{17,5 \text{ mm}} \leq 4$$

$$4,57 \leq 4$$

Como el valor obtenido es mayor al valor recomendado de cuatro se procede con el análisis del pandeo seleccionando un material adecuado para la fatiga como el alambre para cuerda musical ASTM A228, con un valor de límite elástico por cortadura (**ANEXO D**):

$$G = 11,5 \text{ e}6 \text{ psi} = 81,7 \text{ e}9 \text{ Pa}$$

Además se debe conocer el valor de la deflexión del muelle, la longitud libre y el diámetro medio, para poder ver en un anagrama si existe o no pandeo.

Distensión del muelle (γ).

$$\gamma = \frac{8 * F_R * D_{mr}^3 * N_a}{d_{ar}^4 * G} \quad (50)$$

$$\gamma = \frac{8(50 \text{ kg})(17,5 \text{ mm})^3(38)}{(1,5 \text{ mm})^4 \left(\frac{81,7 \text{ e}9 (9,8)}{(1000)^2} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)}$$

$$\gamma = 20,09 \text{ mm}$$

Conocida la deflexión, la longitud libre y diámetro medio del muelle se procede a ingresar a las curvas de zona pandeo se debe tener las relaciones: entre deflexión con longitud libre, y longitud libre con diámetro medio. (SHIGLEY-MITCHELL, 1997)

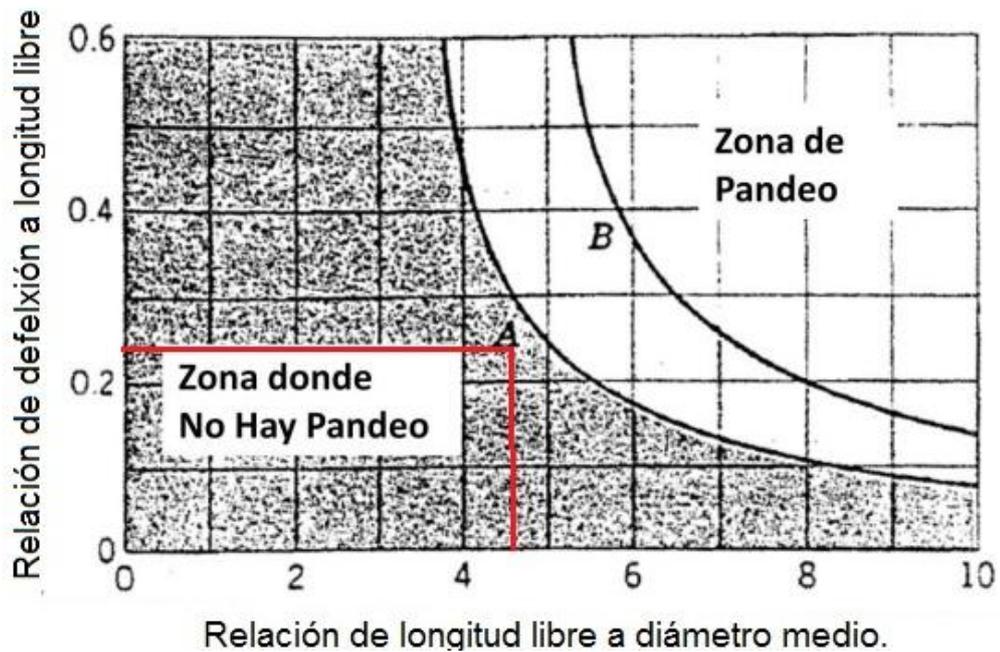
$$\frac{\gamma}{L_r} = \frac{20,09 \text{ mm}}{80 \text{ mm}} = 0,25$$

$$\frac{\gamma}{L_r} = 0,25$$

$$\frac{L_r}{D_{mr}} = \frac{80 \text{ mm}}{17,50 \text{ mm}} = 4,57$$

$$\frac{L_r}{D_{mr}} = 4,57$$

Figura 84. Curvas de pandeo en resortes helicoidales a compresión

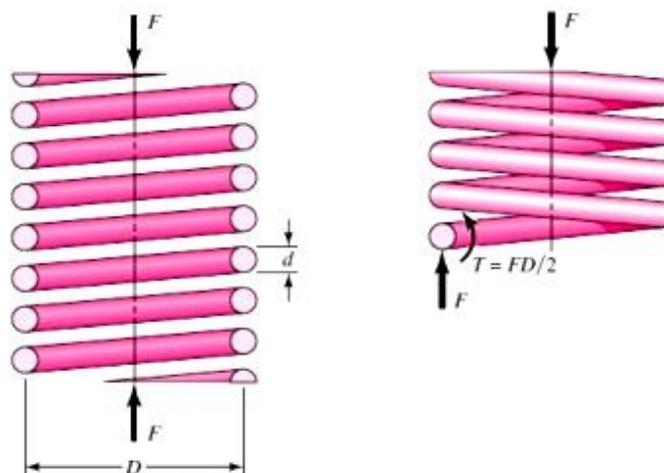


Fuente: JOSEPH E. SHIGLEY (IV Edición). Diseño en Ingeniería Mecánica

Al ingresar las relaciones se puede observar que está en una zona segura, es decir no existe pandeo, además como los muelles de reposición van a estar cada uno en un eje, eso garantiza aún más que no existirá pandeo.

4.5.1.2 Análisis de la fatiga en el muelle. Debido a que existen fuerzas variables presentes en el muelle se procede con un análisis a fatiga.

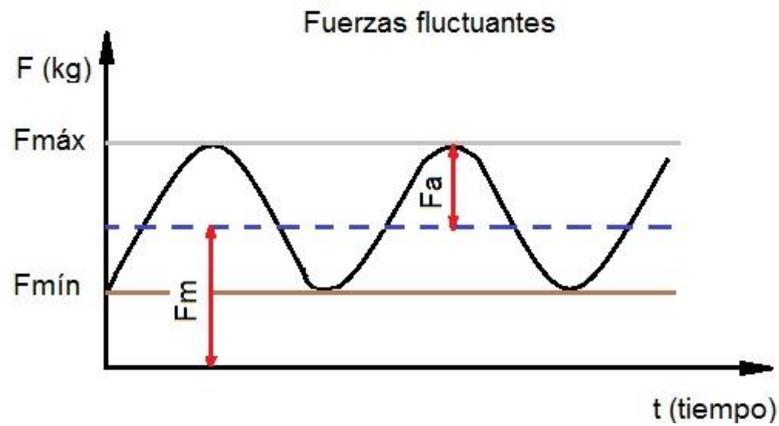
Figura 85. Fuerzas y esfuerzos presentes en un muelle a compresión



Fuente: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/3379/1/pfc5169.pdf>

Además se debe conocer los valores de trabajo del muelle, para poder diseñarlo.

Figura 86. Fluctuación de las fuerzas en el tiempo



Dónde:

$F_{máx}$ = Carga máxima aplicada al muelle, en kg.

$F_{mín}$ = Carga mínima aplicada al muelle, en kg.

F_a = Fuerza de amplitud, en kg

F_m = Fuerza media, en kg.

Fuerzas que actúen en el muelle:

La carga máxima aplica al muelle es igual a la fuerza de reposición.

$$F_{máx} = F_R = 50 \text{ kg}$$

La fuerza mínima es igual al peso de las placas de la base superior (4 kg).

$$F_{mín} = 4 \text{ kg}$$

La fuerza media se calcula con la siguiente ecuación:

$$F_m = \frac{F_{máx} + F_{mín}}{2} \tag{51}$$

$$F_m = \frac{50 \text{ kg} + 4 \text{ kg}}{2}$$

$$F_m = 27 \text{ kg}$$

La fuerza de amplitud se calcula con la siguiente ecuación:

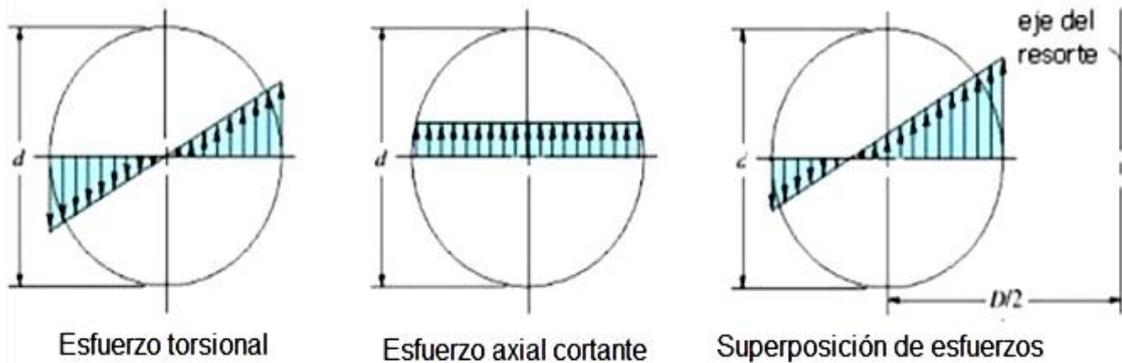
$$F_a = \frac{F_{\text{máx}} - F_{\text{min}}}{2} \quad (52)$$

$$F_a = \frac{50 \text{ kg} - 4 \text{ kg}}{2}$$

$$F_a = 23 \text{ kg}$$

Esfuerzos cortantes que actúan en el muelle:

Figura 87. Esfuerzos cortantes



Fuente: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/3379/1/pfc5169.pdf>

Por la superposición de los esfuerzos se tiene un esfuerzo máximo cortante, pero para poder analizar la fatiga en el muelle, se debe conocer los siguientes esfuerzos:

Esfuerzo cortante de amplitud:

$$\tau_a = K_s \frac{8 * F_a * D_{mr}}{\pi * d_{ar}^3} \quad (53)$$

Esfuerzo cortante medio:

$$\tau_m = K_s \frac{8 * F_m * D_{mr}}{\pi * d_{ar}^3} \quad (54)$$

Dónde:

K_s = Factor de corrección del esfuerzo.

Y se calcula con la siguiente ecuación:

$$K_s = \frac{2 * C_r + 1}{2 * C_r} \quad (55)$$

Dónde:

C_r = Índice del muelle.

$$C_r = \frac{D_{mr}}{d_{ar}} \quad (56)$$

$$C_r = \frac{17,5 \text{ mm}}{1,5 \text{ mm}}$$

$$C_r = 11,67$$

Con el valor del índice se calcula el factor de corrección del esfuerzo.

$$K_s = \frac{2 * C_r + 1}{2 * C_r} \quad (57)$$

$$K_s = \frac{2(11,67) + 1}{2(11,67)}$$

$$K_s = 1,04$$

Una vez obtenido el factor de corrección se procede a calcular los esfuerzos cortantes.

$$\tau_a = 1,04 \left[\frac{8(23 \text{ kg})(17,5 \text{ mm})}{\pi(1,5 \text{ mm})^3} \right]$$

$$\tau_a = 315,84 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$\tau_m = 1,04 \left[\frac{8(27 \text{ kg})(17,5 \text{ mm})}{\pi(1,5 \text{ mm})^3} \right]$$

$$\tau_m = 370,77 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Factor de seguridad para evitar una posible falla por fatiga:

$$\eta = \frac{S_{sf}}{\tau_a} \quad (59)$$

Dónde:

S_{sf} = Resistencia a la fatiga en función del número de ciclos.

$$S_{sf} = 10^C * N^b \quad \leftrightarrow \quad 10^3 \leq N \leq 10^6 \quad (60)$$

Dónde:

N = Número de ciclos.

C_{sf} = Exponente de resistencia a la fatiga.

b_{sf} = Exponente de resistencia a la fatiga.

$$C_{sf} = \log \left[\frac{(0,8 * S_{su})^2}{S_{se}} \right] \quad (61)$$

$$b_{sf} = -\frac{1}{3} * \log \left(\frac{0,8 * S_{su}}{S_{se}} \right) \quad (62)$$

Dónde:

S_{se} = Límite de resistencia a la fatiga corregido.

S_{su} = Límite de resistencia última a la torsión.

A continuación se calcula el límite de resistencia a la fatiga corregido (S_{se}), el cual se modifica debido a la concentración de esfuerzos, confiabilidad y vida útil del muelle.

$$S_{se} = \mathcal{K}_e * \mathcal{K}_c * S'_{se} \quad (63)$$

Dónde:

\mathcal{K}_e = Factor de modificación de concentración de esfuerzos

\mathcal{K}_c = Factor de confiabilidad.

S'_{se} = Límite de resistencia a la fatiga.

Factor de modificación de concentración de esfuerzos.

$$\mathcal{K}_e = \frac{1}{\mathcal{K}_f} \quad (64)$$

Dónde:

\mathcal{K}_f = Factor de efectos diversos.

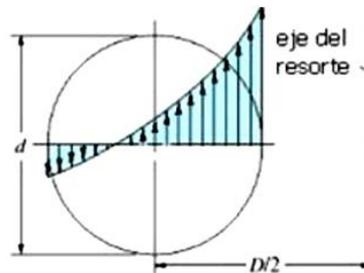
Debido a que la sensibilidad en la muesca de los aceros para muelles es cercana a la unidad se tiene lo siguiente:

$$\mathcal{K}_f = K_c$$

Dónde:

K_c = Efecto de curvatura

Figura 88. Distribución de esfuerzos más el efecto de la curvatura en el muelle



Fuente: <http://repositorio.bib.upct.es/dspace/bitstream/10317/3379/1/pfc5169.pdf>

Ecuación del efecto de la curvatura:

$$K_c = \frac{K_w}{K_s} \quad (65)$$

Dónde:

K_w = Factor de corrección de Wahl.

$$K_w = \frac{4 * C_r - 1}{4 * C_r - 4} + \frac{0,615}{C_r} \quad (66)$$

Reemplazando el valor de C_r se tiene lo siguiente:

$$K_w = \frac{4(11,67) - 1}{4(11,67) - 4} + \frac{0,615}{11,67}$$

$$K_w = 1,12$$

$$K_c = \frac{1,12}{1,04} = 1,08$$

$$K_f = 1,08$$

$$K_e = \frac{1}{1,08} = 0,93$$

El factor de confiabilidad se obtiene del (**ANEXO E**), con una confiabilidad del 99%, se tiene un valor igual a:

$$\text{Sí: } R = 0,99 \rightarrow K_c = 0,814$$

El límite de resistencia a la fatiga del muelle según Zimmerli puede tener dos valores:

$$S'_{se} = 310 \text{ MPa} \quad \text{Para resortes no graneados.}$$

$$S'_{se} = 465 \text{ MPa} \quad \text{Para resortes graneados.}$$

Para el diseño se toma el valor de 310 MPa porque los resortes no han sido granallados.

$$S_{se} = (0,93)(0,814) \left[\frac{(310 \text{ e}6)(9,8)}{(1000)^2} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right]$$

$$S_{se} = 2299,83 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

A continuación se calcula el límite de resistencia última a la torsión con un valor promedio de la resistencia última a la tracción:

$$S_{su} = 0,6 * S_{ut} \quad (67)$$

Dónde:

S_{ut} = Límite último a la tracción.

$$S_{ut} = \frac{\mathcal{A}}{d_{ar}^m} \quad (68)$$

Dónde:

\mathcal{A} = Constante de la resistencia a la tensión.

m = Exponente de la resistencia a la tensión.

Los valores de \mathcal{A} y m se obtiene del (**ANEXO F**):

$$\mathcal{A} = 2170 \text{ MPa} \quad m = 0,146$$

Reemplazando se obtiene el valor de (S_{ut}):

$$S_{ut} = \frac{2170 \text{ e}6(9,8) \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{(1000)^2 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{ut} = \frac{2170 \text{ e}6(9,8) \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{(1,5 \text{ mm})^{0,146}} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{ut} = 20043,64 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

$$S_{su} = 0,6 \left(20043,64 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)$$

$$S_{su} = 12026,18 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Con los valores obtenidos de los límites se calcula los exponentes de la resistencia a la fatiga:

$$C_{sf} = \log \left[\frac{\left(0,8 * 12026,18 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)^2}{2299,83 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}} \right]$$

$$C_{sf} = 4,60$$

$$b_{sf} = -\frac{1}{3} * \log \left(\frac{0,8 * 12026,18 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{2299,83 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}} \right)$$

$$b_{sf} = -0,21$$

Con los exponentes se calcula la resistencia a la fatiga en función del número de ciclos. Por tal motivo el número de ciclos para el diseño de los muelles es igual a 1000000 de ciclos de trabajo.

$$S_{sf} = 10^{4,60} (1\ 000\ 000)^{-0,21}$$

$$S_{sf} = 3067,49 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}$$

Por lo tanto el factor de seguridad es igual a:

$$\eta = \frac{2187,76 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{315,84 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}$$

$$\eta = 6,93$$

El factor de seguridad encontrado garantiza que no existirá un fallo ocasionado por los esfuerzos cortantes presentes en el muelle.

4.5.1.3 Frecuencia crítica fundamental en el muelle. La frecuencia crítica es la oscilación elástica presente en el muelle porque carecen fuerzas de amortiguamiento; a fin de evitar la resonancia en el muelle, la frecuencia debe tener un valor elevado y no menor a diez ciclos por segundo ($10^c/\text{seg}$); caso contrario se debe rediseñar en función de la deflexión (γ).

$$f = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k_r * g}{\mathcal{W}}} \quad (69)$$

Dónde:

k_r = Módulo del muelle (constante del resorte).

g = Aceleración de la gravedad.

\mathcal{W} = Peso del muelle.

Módulo del muelle (constante del resorte).

$$k_r = \frac{d_{ar}^4 * G}{8 * D_{mr}^3 * N_a} \quad (70)$$

$$k_r = \frac{(1,5 \text{ mm})^4 \left(\frac{81,7 \text{ e}9 (9,8)}{(1000)^2} \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)}{8(17,5 \text{ mm})^3 (38)}$$

$$k_r = 2,49 \frac{\text{kg}}{\text{mm}}$$

Peso del muelle.

$$\mathcal{W} = \frac{\pi^2 * d_{ar}^2 * D_{mr} * N_a * \rho_r}{4} \quad (71)$$

Dónde:

ρ_r = Densidad del alambre del muelle (**ANEXO G**)

$$\rho_r = 0,283 \frac{\text{lb}}{\text{in}^3} = 7,83 \text{ e} - 6 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3}$$

$$\mathcal{W} = \frac{\pi^2 (1,5 \text{ mm})^2 (17,5 \text{ mm}) (38) \left(7,83 \text{ e} - 6 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^3} \right)}{4} = 0,03 \text{ kg}$$

Con el peso se procede a calcular la frecuencia crítica.

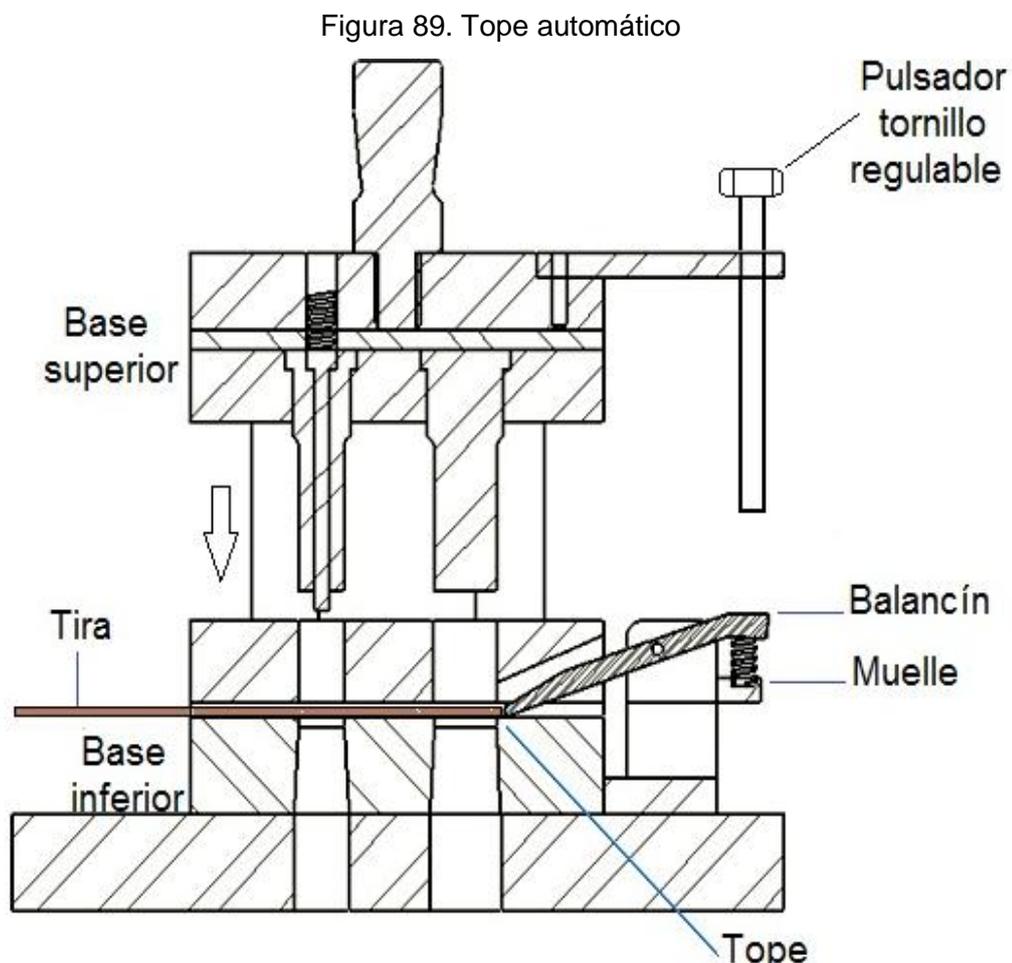
$$f = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{2,49 \frac{\text{kg}}{\text{mm}} \left(9800 \frac{\text{mm}}{\text{seg}^2} \right)}{0,03 \text{ kg}}}$$

$$f = 450,94 \frac{\text{ciclos}}{\text{seg}}$$

Como el valor de la frecuencia es superior a diez ciclos por segundo el diseño del muelle se acepta como seguro.

4.5.2 Sistema de tope automático. El sistema permite dar el paso adecuado y continuo de la tira, porque tiene un tope basculante que es accionado por el movimiento de la base superior del troquel.

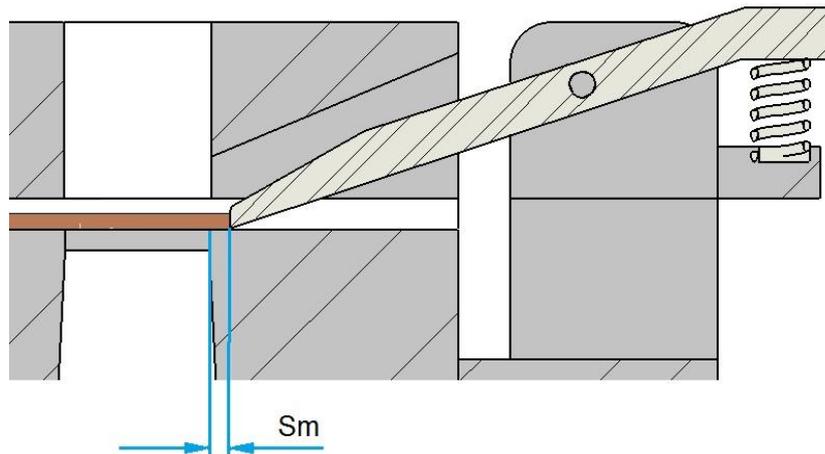
Este sistema se lo emplea para aumentar la productividad y en sistemas de alimentación automática.



Fuente: Autor

La distancia del tope con respecto a la cavidad del diámetro externo de la matriz, es igual a la separación mínima de la tira; con eso se garantiza que cada corte se efectúa a un paso.

Figura 90. Separación entre el balancín y cavidad del diámetro externo de la matriz



Fuente: Autor

Además la altura del muelle está en función del tamaño que se tiene para que el balancín se mueva y permita dar paso adecuado para el avance del fleje. Así se tiene que las siguientes medidas: longitud libre 10 mm, diámetro del alambre 1mm, diámetro externo 7 mm, diámetro interno 5 mm, paso de 2 mm y número de espiras total 5.

Pandeo en el muelle:

$$\frac{L_r}{D_{mr}} \leq 4$$
$$\frac{10 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} \leq 4$$
$$2 \leq 4$$

Como la relación entre la longitud libre con el diámetro medio es menor a cuatro, no existe la presencia de pandeo. Además el material será alambre para piano ASTM A228, con lo que se garantiza que el muelle puede trabajar a fatiga. Asimismo el valor de la carga máxima es un valor muy pequeño (0,2 kg); por lo que no existe la necesidad de comprobar el factor de seguridad, porque ya está sobrevalorado por el material.

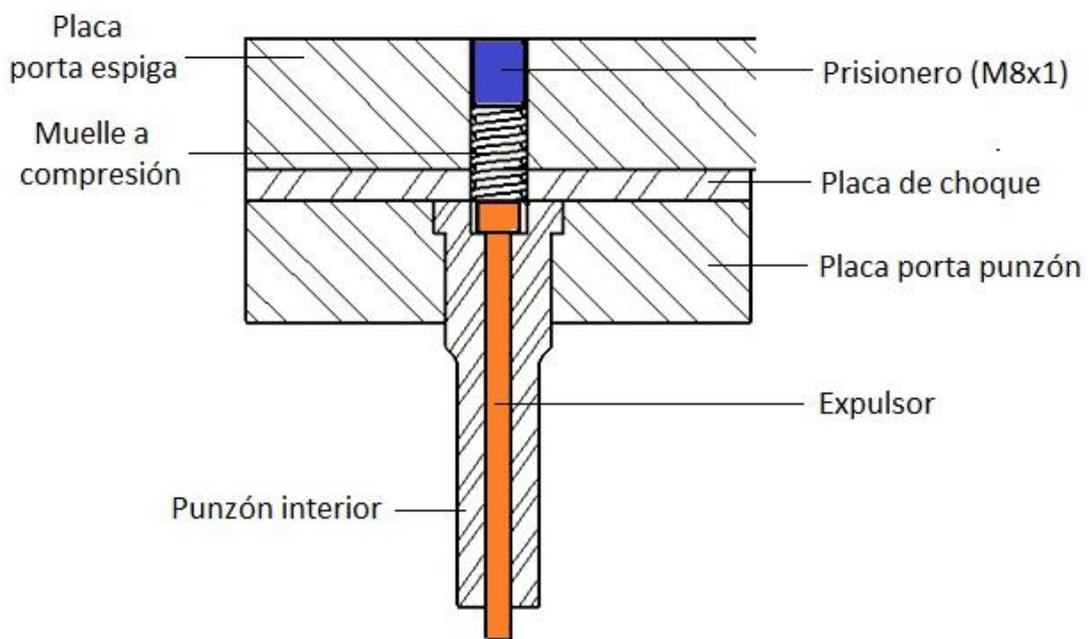
Funcionamiento:

- Al descender la base superior (por acción de la fuerza externa) y los punzones efectúan el corte, el tope se levanta porque el pulsador aplasta el balancín comprimiendo el muelle.

- b. Una vez efectuado el corte, la tira queda libre y se puede empujar, para que el tope descienda en la cavidad siguiente de la tira; porque el muelle obliga al balancín a volver a su posición normal quedando en una nueva posición de corte.

4.5.3 Sistema de expulsión. El sistema de expulsión ayuda a expulsar el sobrante de la tira de la matriz, porque con un resorte de compresión se genera la fuerza de expulsión y por medio del expulsor deslizante da un impacto en el sobrante, y este es expulsado de la matriz.

Figura 91. Sistema de expulsión



Fuente: Autor

Con las ecuaciones de dimensionamiento se obtiene los siguientes datos del muelle: longitud libre 12 mm, paso 2 mm, diámetro del alambre de 1 mm, diámetro externo de 6 mm, diámetro interno de 4 mm, paso 2 mm y número de espiras total 6.

Además el muelle debe tener una fuerza de compresión máxima igual a la fuerza de expulsión que es de 7 kg, también el muelle no tiene precarga.

El material a emplear es alambre para cuerda musical ASTM A228.

Pandeo en el muelle:

$$\frac{L_r}{D_{mr}} \leq 4$$

$$\frac{12 \text{ mm}}{5 \text{ mm}} \leq 4$$

$$2,4 \leq 4$$

Como la relación entre la longitud libre con el diámetro medio es menor a cuatro, no existe presencia de pandeo.

Factor de seguridad para evitar una posible falla por fatiga:

La cantidad de ciclos es igual a los muelles de reposición.

$$\eta = \frac{S_{sf}}{\tau_a}$$

$$\eta = \frac{2137,96 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{49,02 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}$$

$$\eta = 43,61$$

Frecuencia crítica fundamental en el muelle:

$$f = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{k_r * g}{W}}$$

$$f = \frac{1}{2} \sqrt{\frac{200,17 \frac{\text{kg}}{\text{mm}} \left(9800 \frac{\text{mm}}{\text{seg}^2} \right)}{38,64 \text{ e} - 3 \text{ kg}}}$$

$$f = 3562,57 \frac{\text{ciclos}}{\text{seg}}$$

El muelle presenta un elevado factor de seguridad y no existirá problemas de armónicas en el muelle, porque el valor de la frecuencia crítica es elevadamente superior a diez ciclos por segundo.

Por lo que se puede concluir que el muelle se diseño para una vida infinita. Además para evitar que el muelle salga disparado de las placas es necesario seleccionar un prisionero M8x1 (**ANEXO H**).

Pandeo en el punzón:

Por realizar una perforación en el punzón interno, se debe verificar que no exista pandeo, y con ello se podrá conocer el diámetro máximo del expulsor.

El valor del diámetro del expulsor será el siguiente:

$$d_e = \frac{1}{8} \text{ in} \cong 3,2 \text{ mm}$$

$$P_{\text{cri}} = \frac{S_y \left(\frac{\pi(d_p^2 - d_e^2)}{4} \right)}{1 + \frac{e \left(\frac{d_p}{2} \right)}{\left(\frac{d_p}{4} \right)^2} \sec \left(\frac{L_p}{\frac{d_p}{4}} \sqrt{\frac{P}{4 \left(\frac{\pi(d_p^2 - d_e^2)}{4} \right) \varepsilon}} \right)}$$

$$P_{\text{cri}} = \frac{260 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \left(\frac{\pi(10^2 - 3,2^2) \text{mm}^2}{4} \right)}{1 + \frac{17 \text{mm} \left(\frac{10 \text{mm}}{2} \right)}{\left(\frac{10 \text{mm}}{4} \right)^2} \sec \left(\frac{100 \text{mm}}{\frac{10 \text{mm}}{4}} \sqrt{\frac{830 \text{kg}}{4 \left(\frac{\pi(10^2 - 3,2^2) \text{mm}^2}{4} \right) \left(21500 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2} \right)}} \right)}$$

$$P_{\text{cri}} = 1249,20 \text{ kg}$$

Con el valor de la carga crítica se procede a encontrar el factor de seguridad que debe tener la columna; la cual debe tener un valor mínimo de 1,3.

$$\eta = \frac{P_{\text{cri}}}{P}$$

$$\eta = \frac{1249,20 \text{ kg}}{830 \text{ kg}}$$

$$\eta = 1,51$$

$$\eta = 1,5 > 1,3$$

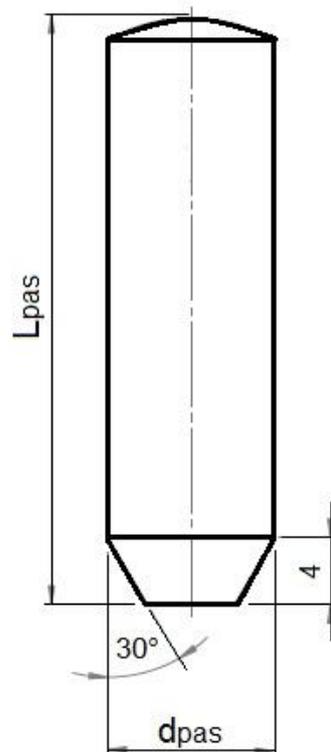
El diámetro máximo para el expulsor es de 3,2 mm lo cual no afecta al punzón porque el valor de la carga crítica no presenta una variación significativa; dando como resultado un factor de seguridad igual a 1,5.

4.6 Elementos de fijación y sujeción en el troquel

4.6.1 Elementos de fijación.

4.6.1.1 *Pasadores.* Los pasadores se diseñan en función del espesor de las placas que vayan a estar en contacto. Se construye en acero plata o acero 4340.

Figura 92. Pasador



Fuente: Autor

Dónde:

L_{pas} = Longitud del pasador, en mm.

d_{pas} = Diámetro del pasador, en mm.

Base inferior.

$$L_{pas} = v + mm + w \quad (72)$$

$$L_{pas} = 20 \text{ mm} + 20 \text{ mm} + 20 \text{ mm}$$

$$L_{pas} = 60 \text{ mm}$$

Del **(ANEXO I)** el valor del diámetro está en función del largo del pasador, así se tiene:

$$d_{pas} = 10 \text{ mm}$$

Base superior.

$$L_{pas} = E + u + i \quad (73)$$

$$L_{pas} = 16 \text{ mm} + 4 \text{ mm} + 15 \text{ mm}$$

$$L_{pas} = 35 \text{ mm}$$

$$d_{pas} = 10 \text{ mm}$$

4.6.2 Elementos de sujeción.

4.6.2.1 Tornillos allen. Son los más recomendados cuando se construye una matriz. Asimismo se escoge los tornillos en función del largo de las placas. Por tal motivo se selecciona los tornillos del **(ANEXO J)**

Base superior.

2 tornillos allen M5x30

Base Inferior.

2 tornillos allen M6x55

CAPÍTULO V

5. CONSTRUCCIÓN DEL CIRCUITO DE CONTROL Y PRUEBAS

5.1 Construcción del circuito de control

La construcción de los diferentes circuitos que conforman el diseño circuital de la máquina, se lo realizó con las siguientes máquinas-herramientas:

- Multímetro.
- Pinzas.
- Peladora de cables.
- Desarmadores.
- Cautín.
- Alicata.

A continuación se elabora una tabla con los elementos del circuito eléctrico.

Tabla 12. Elementos constitutivos del circuito eléctrico

Sistema	Elemento	Cantidad	Detalle
Energización del sistema	Toma Cooper	1	220 V
	Porta fusibles	1	30 A
	Botonera ON / OFF	1	30 A / 600 V
	Barra neutral	2	Latón
	Toma del motor	1	--
	Transformador	1	220 a 24 V
	Rectificador	1	Diodos
	Selector	1	3 posiciones
Accionamiento manual	Pulsador verde	1	Bloque NA / NC
	Pulsador rojo	1	Bloque NA / NC
	Led	1	Rojo
	Resistencia	1	1000 Ω
	Toma de embrague A	1	Trabajo
	Toma del embrague B	1	Freno

Tabla 12. (Continuación)

Accionamiento automático	Pulsador verde	1	Bloque NA / NC
	Pulsador rojo	1	Bloque NA / NC
	Temporizador	1	6seg – 6min
	Contactores	2	30 A
	Indicador luminoso	1	Naranja
	Toma del embrague A	1	Trabajo
	Toma del embrague B	1	Freno

Fuente: Autor

5.1.1 Operaciones tecnológicas. Son las operaciones que se realizan en función del tiempo para construir el circuito eléctrico.

Tabla 13. Operaciones tecnológicas

Sistema	Elemento	N°	Operación tecnológica	Tiempo (minutos)
Energización del sistema	Toma Cooper	1	Conectar	2
	Porta fusibles	2	Conectar	2
	Botonera ON / OFF	3	Conectar	5
	Barra neutral	4	Conectar	5
	Toma del motor	5	Conectar	5
	Transformador	6	Conectar	5
	Rectificador	7	Conectar	5
	Selector	8	Conectar	5
Accionamiento manual	Pulsador verde	9	Conectar	5
	Pulsador rojo	10	Conectar	5
	Led	11	Conectar	2
	Resistencia	12	Conectar	1
	Toma del embrague A	13	Conectar	2
	Toma del embrague B	14	Conectar	2
Accionamiento automático	Pulsador verde	15	Conectar	5
	Pulsador rojo	16	Conectar	5
	Temporizador	17	Conectar	10
	Contactores	18	Conectar	30

Tabla 13. (Continuación)

	Indicador luminoso	19	Conectar	5
	Toma del embrague A	20	Conectar	2
	Toma del embrague B	21	Conectar	2

Fuente: Autor

A continuación se elabora una tabla para conocer el tiempo empleado en la construcción del circuito eléctrico.

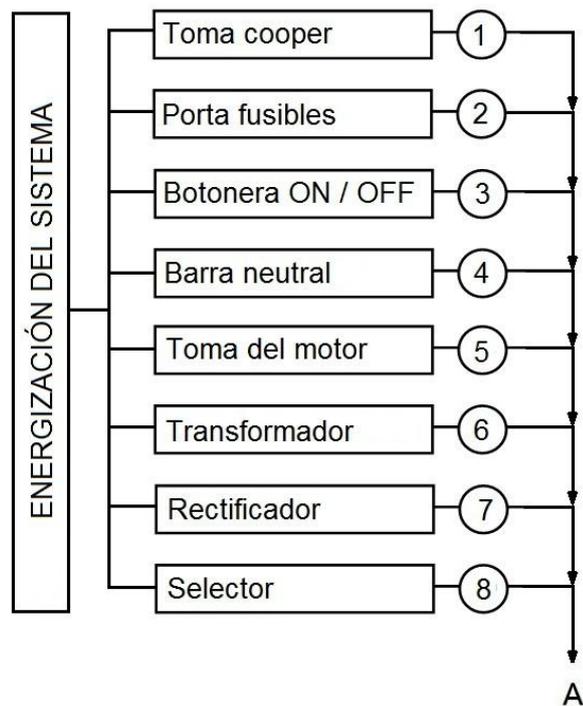
Tabla 14. Tiempo total empleado en la construcción del circuito

Energización del sistema	Accionamiento manual	Accionamiento automático	Circuito Eléctrico
34 minutos	17 minutos	59 minutos	110 minutos

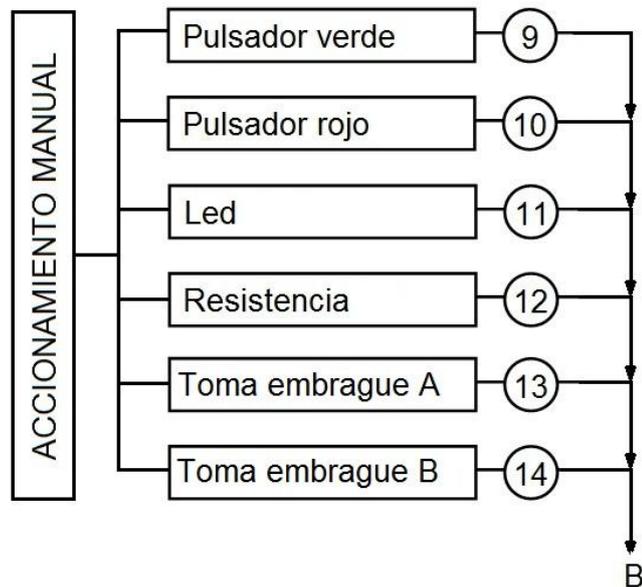
Fuente: Autor

5.1.2 Cursograma de construcción. El curso grama de construcción es un diagrama en el cuál se indican paso a paso, como se elaboro el circuito eléctrico.

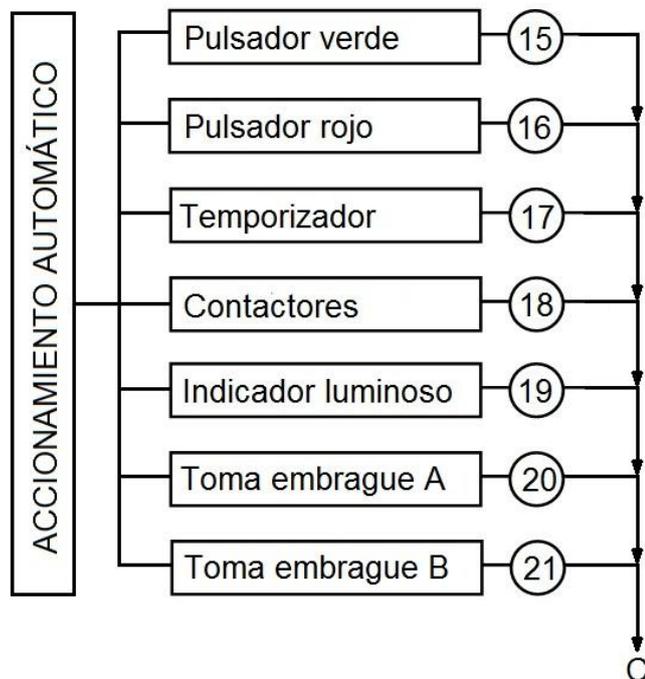
Cursograma de construcción del circuito para la energización del sistema.



Cursograma de construcción del circuito del accionamiento manual.



Cursograma de construcción del circuito de accionamiento automático.



5.1.3 Montaje del circuito. Es un procedimiento secuencial para colocar el circuito eléctrico en un tablero y caja de control, y así poder hacer un montaje en la troqueladora. Además el tablero y caja son desmontables, de tal manera se facilita el montaje y cuando se necesite dar mantenimiento presentará un fácil desmontaje.

A continuación se elaboran tablas de montaje de los diferentes elementos que componen el circuito eléctrico y esto se lo hace en función del tiempo.

Tabla 15. Tiempos de montaje del circuito de energización

Tiempos de montaje del circuito de energización		
N°	Operación	Tiempo (Minutos)
M1	Montaje de la toma Cooper	10
M2	Montaje del porta fusibles	5
M3	Montaje de la botonera	10
M4	Montaje de la barra neutral	5
M5	Montaje de la toma del motor	5
M6	Montaje del transformador	5
M7	Montaje del rectificador	5
M8	Montaje del selector	10

Fuente: Autor

Tabla 16. Tiempo de montaje del accionamiento manual

Tiempos de montaje del accionamiento manual		
N°	Operación	Tiempo (Minutos)
M9	Pulsador verde	5
M10	Pulsador rojo	5
M11	Led	10
M12	Resistencia	5
M13	Toma del embrague A	5
M14	Toma del embrague B	5

Fuente: Autor

Tabla 17. Tiempo de montaje del accionamiento automático

Tiempos de montaje del accionamiento automático		
N°	Operación	Tiempo (Minutos)
M15	Pulsador verde	5
M16	Pulsador rojo	5
M17	Temporizador	30

Tabla 17. (Continuación)

M18	Contactores	30
M19	Indicador luminoso	10
M20	Toma del embrague A	5
M21	Toma del embrague B	5

Fuente: Autor

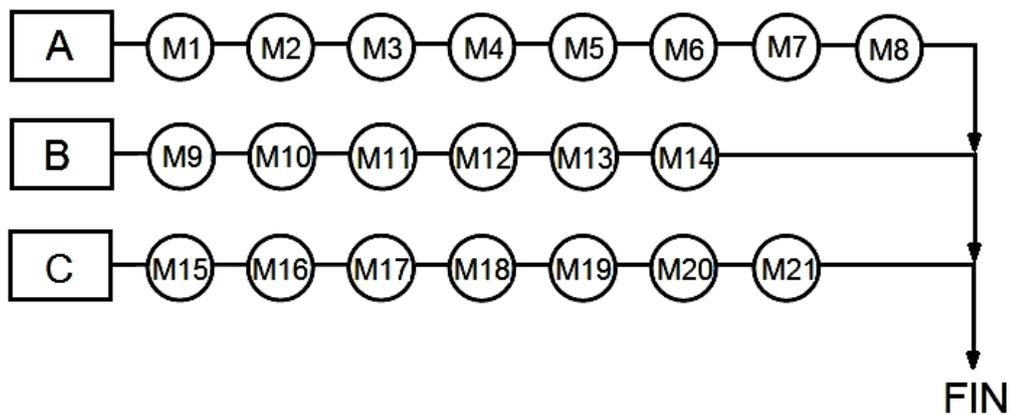
Enseguida se elabora una tabla para conocer el tiempo empleado en el ensamble del circuito eléctrico.

Tabla 18. Tiempo total empleado en el ensamble del circuito eléctrico

Energización del sistema	Accionamiento manual	Accionamiento automático	Conjunto
55 minutos	35 minutos	90 minutos	180 minutos

Fuente: Autor

Cursograma de montaje del circuito eléctrico



5.2 Pruebas

Las pruebas se las realiza con el fin de garantizar que el circuito funcione de forma adecuada, brindando seguridad al operario y obteniéndose un control óptimo.

5.2.1 Plan de pruebas.

Prueba N°1, verificación del adecuado funcionamiento de la energización del sistema.

Prueba N°2, verificación del adecuado funcionamiento del accionamiento manual.

Prueba N°3, verificación del adecuado funcionamiento del accionamiento automático.

Prueba N°4, evaluación del comportamiento de todo el circuito eléctrico.

Pruebas y resultados.

La primera prueba es verificar el correcto funcionamiento de la energización del circuito.

Tabla 19. Prueba N°1 (automatización)

Elemento	Funcionamiento		
	Bueno	Regular	Deficiente
Botonera	x		
Transformador	x		
Rectificador	x		
Selector	x		
Motor	x		

Fuente: Autor

La segunda prueba consiste en verificar que los mandos manuales estén funcionando adecuadamente.

Tabla 20. Prueba N°2 (automatización)

Elemento	Funcionamiento		
	Bueno	Regular	Deficiente
Pulsador verde	x		
Pulsador rojo	x		
Led (señal luminosa)	x		

Fuente: Autor

La tercera prueba consiste en verificar que se tiene el control adecuado de los embragues en función del tiempo, es decir que al poner un valor (setear) en el temporizador en un determinado tiempo los embragues al ser accionados trabajarán durante ese tiempo y luego se detendrán acabado el mismo.

Tabla 21. Prueba N°3 (Automatización)

Elemento o sistema	Tiempo									
	1 min		2 min		3 min		4 min		5 min	
	Trabaja		Trabaja		Trabaja		Trabaja		Trabaja	
	Si	No								
Temporizador	x		x		x		x		x	
Contactador A	x		x		x		x		x	
Contactador B	x		x		x		x		x	

Fuente: Autor

La cuarta prueba consiste en evaluar el comportamiento del circuito general en función del tiempo.

Tabla 22. Prueba N°4 (Automatización)

Elemento o sistema	Tiempo									
	1 min		2 min		3 min		4 min		5 min	
	Trabaja		Trabaja		Trabaja		Trabaja		Trabaja	
	Si	No								
Energización del sistema	x		x		x		x		x	
Accionamiento manual	x		x		x		x		x	
Accionamiento automático	x		x		x		x		x	

Fuente: Autor

5.3 Verificación de los parámetros del diseño circuital

Tabla 23. Verificación de parámetros (Automatización)

Parámetros	Verificación	
	Si cumple	No cumple
• El diseño circuital debe proporcionar el control del número de ciclos de trabajo, en función del tiempo.	x	
• El diseño circuital debe ser claro y de sencilla comprensión.	x	

Tabla 23. (Continuación)

<ul style="list-style-type: none"> • El diseño circuital debe permitir el trabajo continuo de la máquina. 	x	
<ul style="list-style-type: none"> • El diseño circuital debe garantizar la seguridad y ergonomía adecuada, para la persona que opere la máquina. 	x	
<ul style="list-style-type: none"> • El diseño circuital debe permitir la parada total o parcial de la máquina. 	x	
<ul style="list-style-type: none"> • Además el diseño circuital deberá satisfacer las necesidades y requerimientos del ente de financiamiento. 	x	

Fuente: Autor

CAPÍTULO VI

6. CONSTRUCCIÓN DEL TROQUEL Y PRUEBAS

6.1 Construcción del troquel

La construcción de los diferentes elementos que conforman el troquel, se lo realizó con las siguientes máquinas-herramientas:

- Centro de mecanizado CNC.
- Torno.
- Rectificadora.
- Taladradora de pedestal.
- Sensor de posición.
- Limas.
- Entenalla (tornillo de banco).
- Machuelos.
- Brocas.
- Cuchillas.
- Sierra.
- Calibrador.

A continuación se elabora una tabla con los elementos constitutivos del troquel.

Tabla 24. Elementos constitutivos del troquel

Sistema	Elemento	Cantidad	Material
Base superior (móvil)	Eje redondo (20x60)mm	1	Acero AISI 1018
	Chapa (100x95x20)mm	1	Acero AISI 1020
	Chapa (95x65x5)mm	1	Acero AISI 1045
	Chapa (95x65x20)mm	1	Acero AISI 1020
	Eje redondo (25x120)mm	1	Acero AISI ~D2
	Eje redondo (25x70)mm	1	Bronce
	Eje redondo (10x80)mm	1	Acero AISI 4340
	Pletina (55x12x6)mm	1	Acero AISI 1020

Tabla 24. (Continuación)

Base superior (móvil)	Eje redondo (3x60)mm	1	Acero AISI 1018
	Muelle (12)mm	1	Acero ASTM A228
	Tornillo	2	Allen M5x30
	Tornillo	1	Allen M4x10
	Tornillo	1	M4x80
Base inferior (fija)	Chapa (95x65x22)mm	1	Acero AISI 1020
	Chapa (95x65x22)mm	1	Acero AISI ~D2
	Chapa (175x100x22)mm	1	Acero AISI 1020
	Eje redondo (20x260)mm	1	Acero AISI 4340
	Eje redondo (10x250)mm	1	Acero AISI 4340
	Chapa (50x25x15)mm	1	Acero AISI 1020
	Pletina (200x12x6)	1	Acero AISI 1020
	Muelle (80)mm	2	Acero ASTM A228
	Muelle (10)mm	1	Acero ASTM A228
	Tornillo	2	Allen M6x30
	Tornillo	2	Allen M4x8

Fuente: Autor

6.1.1 Operaciones tecnológicas del troquel. Son las operaciones que se realizan en función del tiempo para construir cada pieza que conforma el troquel.

Tabla 25. Operaciones tecnológicas (troquel)

Sistema	Elemento	N°	Operación tecnológica	Tiempo (hora)
Base superior (móvil)	Espiga	1	Torneado	4,0
		2	Roscado	0,5
		3	Pulido	0,5
	Placa porta espiga	4	Rectificado	2,0
		5	Centrado	4,0
		6	Taladrado punteado	0,5
		7	Taladrado profundo	4,0
		8	Taladrado avellanado	2,0
		9	Escariado	1,5

Tabla 25. (Continuación)

Base superior (móvil)		10	Roscado	1,0
		11	Fresado	1,0
	Placa de choque	12	Rectificado	1,0
		13	Centrado	4,0
		14	Taladrado punteado	0,5
		15	Taladrado profundo	1,0
		16	Taladrado avellanado	0,5
		17	Escariado	0,5
		18	Roscado	0,5
		Placa porta punzones	19	Rectificado
	20		Centrado	4,0
	21		Taladrado punteado	0,5
	22		Taladrado profundo	3,0
	23		Taladrado avellanado	1,5
	24		Escariado	1,5
	25		Roscado	1,0
	Punzón contorno interno	26	Cortado	0,1
		27	Torneado	3,0
		28	Taladrado	0,5
		29	Pulido	0,5
		30	Templado	6,0
		31	Revenido	3,0
	Punzón contorno externo	32	Cortado	0,1
		33	Torneado	3,0
		34	Pulido	0,5
		35	Templado	6,0
		36	Revenido	3,0
	Pasador	37	Cortado	0,1
		38	Torneado	1,0
		39	Pulido	0,5
	Expulsor	40	Cortado	0,1
		41	Soldado	0,1
		42	Limado	0,1

Tabla 25. (Continuación)

	Bocines	43	Cortado	0,1
		44	Torneado	1,0
		45	Taladrado	0,1
		46	Pulido	0,1
	Muelle de expulsión	47	Enrollado	0,2
		48	Esmerilado	0,1
	Palanca de accionamiento	49	Cortado	0,1
		50	Taladrado	0,1
		51	Limado	0,1
Base inferior (fija)	Placa guía	52	Rectificado	2,0
		53	Centrado	4,0
		54	Taladrado punteado	0,5
		55	Taladrado profundo	2,0
		56	Taladrado avellanado	1,0
		57	Escariado	1,0
		58	Mandrinado	0,5
		59	Roscado	0,1
		60	Fresado	0,1
	Placa matriz	61	Rectificado	2,0
		62	Centrado	4,0
		63	Taladrado punteado	0,5
		64	Taladrado profundo	4,0
		65	Taladrado avellanado	2,0
		66	Escariado	2,0
		67	Mandrinado	1,0
		68	Roscado	0,5
		69	Fresado	0,5
		70	Templado	6,0
		71	Revenido	3,0
	Placa base	72	Rectificado	2,0
		73	Centrado	4,0
		74	Taladrado punteado	0,5
		75	Taladrado profundo	4,0

Tabla 25. (Continuación)

Base inferior (fija)		76	Taladrado avellanado	2,0
		77	Escariado	2,0
		78	Roscado	0,5
	Columnas guías	79	Cortado	0,1
		80	Torneado	1,0
		81	Pulido	0,1
	Pasadores	82	Cortado	0,1
		83	Torneado	1,0
		84	Pulido	0,1
	Base del balancín	85	Cortado	0,2
		86	Taladrado	0,1
		87	Limado	1,0
	Balancín	88	Cortado	0,2
		89	Taladrado	0,1
		90	Limado	0,5
	Muelles de reposición	91	Enrollado	1,0
92		Esmerilado	0,1	
Topes	93	Cortado	0,1	
	94	Limado	2,0	

Fuente: Autor

A continuación se elabora una tabla para conocer el tiempo empleado en la construcción de cada sistema del troquel y el tiempo total en la construcción de todo el troquel.

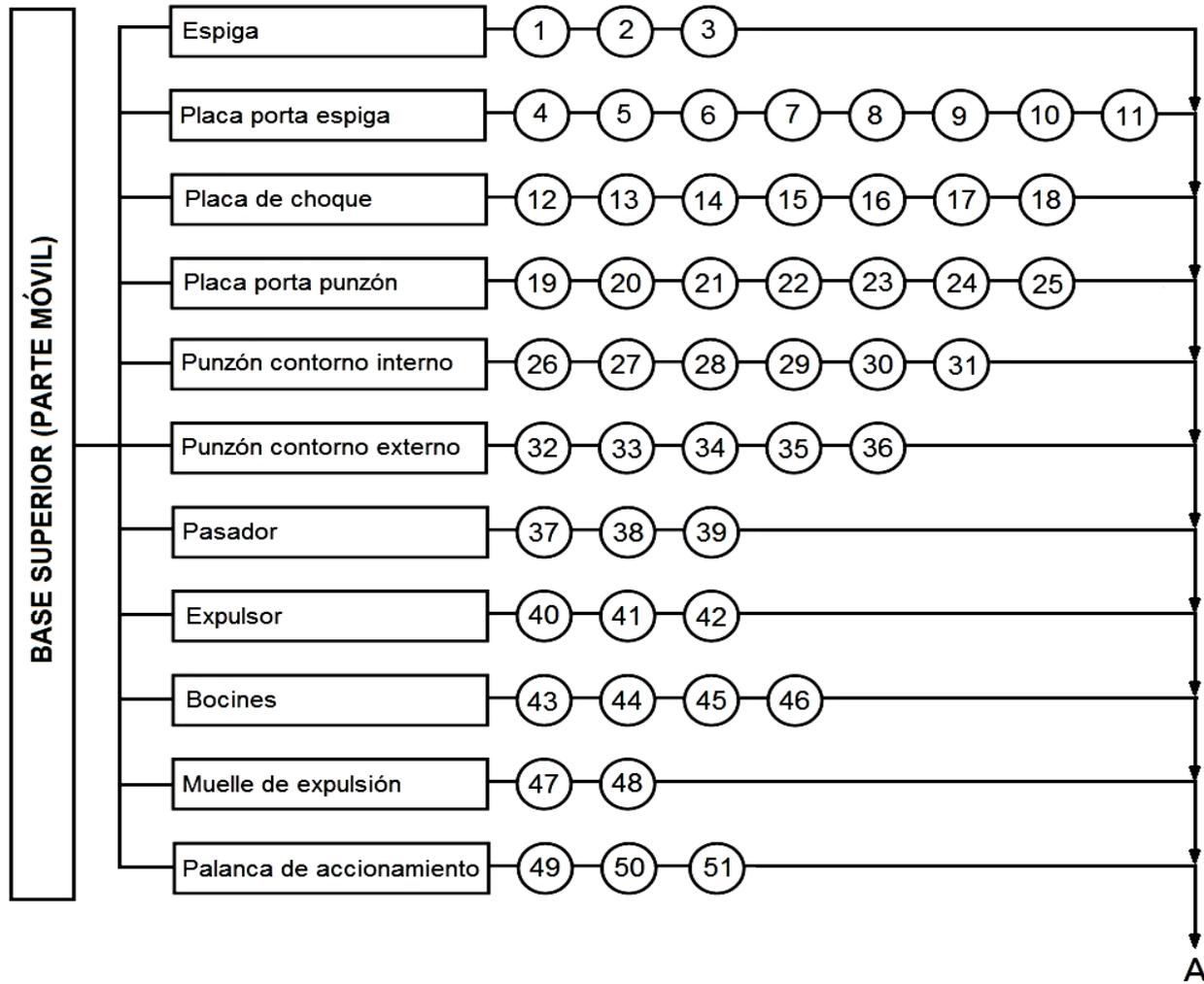
Tabla 26. Tiempo total empleado en la construcción del conjunto

Base superior (móvil)	Base inferior (fija)	Conjunto
72 Horas	59,4 Horas	131,4 Horas

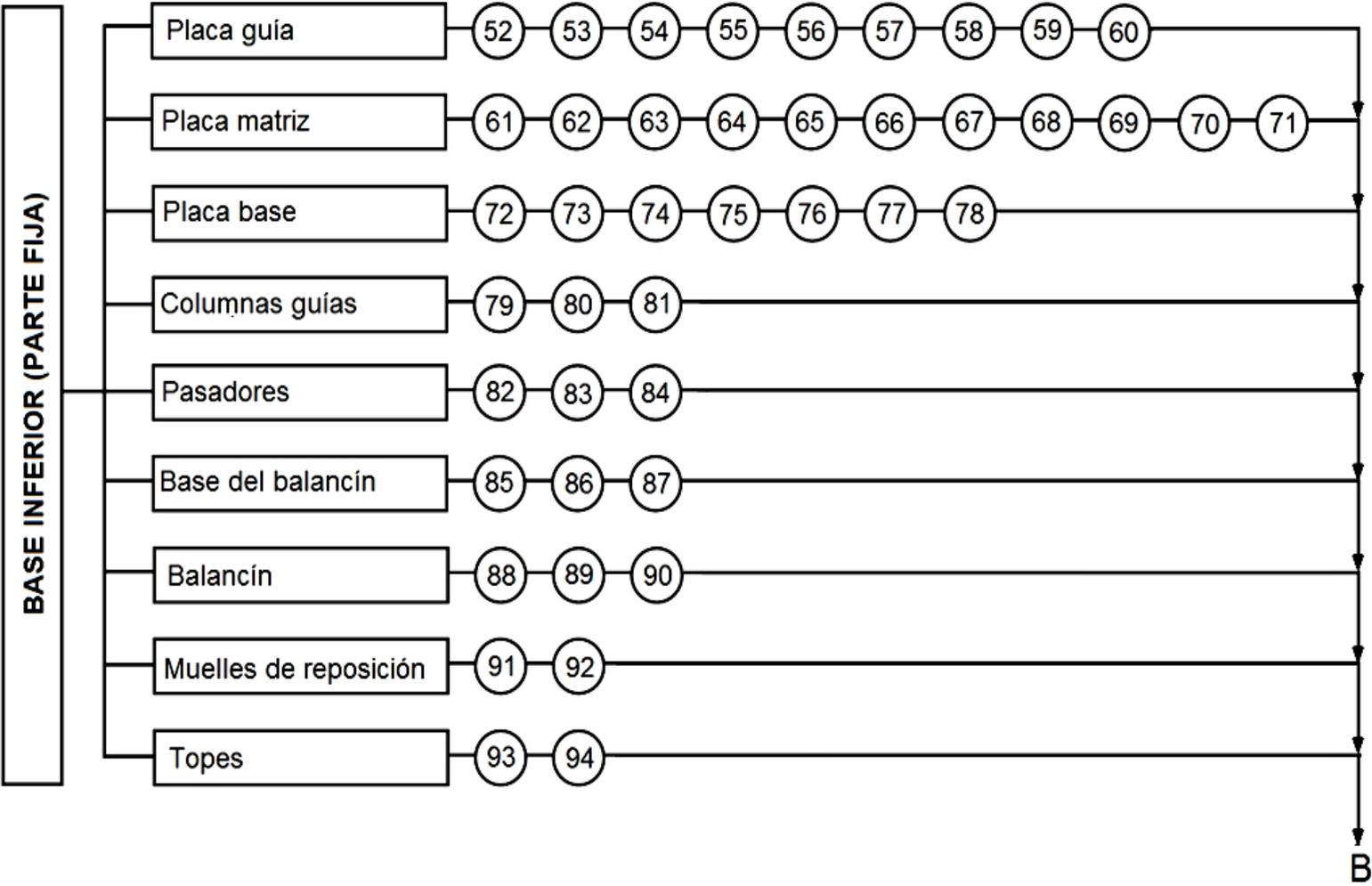
Fuente: Autor

6.1.2 Cursograma de construcción. El cursograma de construcción es un diagrama en el cuál se indican paso a paso, como se fueron elaborando las diferentes piezas que conforman el conjunto (troquel).

Cursograma de construcción de la base superior (móvil).



Cursograma de construcción de la base inferior (fija).



6.1.3 Montaje del troquel. Es un procedimiento secuencial para ensamblar las diferentes piezas que conformarán el troquel. Además todas las piezas son desmontables, de tal manera se facilita el montaje y cuando se necesite dar mantenimiento presentará un fácil desmontaje.

El montaje de la base superior empieza colocando los punzones en la placa porta punzón así se tiene el siguiente orden de montaje:

Tabla 27. Tiempos de montaje de la base superior (móvil)

Tiempos de montaje de la base superior (móvil)		
N°	Operación	Tiempo (Minutos)
M1	Montaje de los punzones	30
M2	Montaje placa de choque	1
M3	Montaje placa porta espiga	1
M4	Montaje pasadores y tornillos	5
M5	Montaje bocines	10
M6	Montaje espiga	2
M7	Montaje del expulsor	1
M8	Montaje muelle y prisionero	2
M9	Montaje palanca de accionamiento	2
Tiempo de montaje		54

Fuente: Autor

El montaje de la base inferior empieza colocando las columnas guías en la placa base así se tiene el siguiente orden de montaje:

Tabla 28. Tiempos de montaje de la base inferior (fija)

Tiempos de montaje de la base inferior (fija)		
N°	Operación	Tiempo (Minutos)
M10	Montaje de las columnas	30
M11	Montaje de la base del balancín	5
M12	Montaje del balancín	5
M13	Montaje de la placa matriz	1
M14	Montaje de los topes	1

Tabla 28. (Continuación)

M15	Montaje de la placa guía	1
M16	Montaje de los pasadores y tornillos	10
Tiempo de montaje		53

Fuente: Autor

La base inferior es colocada en la base superior con lo que se tiene lo siguiente:

Tabla 29. Tiempo total de montaje del conjunto

Tiempo de montaje del conjunto		
N°	Operación	Tiempo (minutos)
M17	Montaje de la base inferior	3
Tiempo de montaje		3

Fuente: Autor

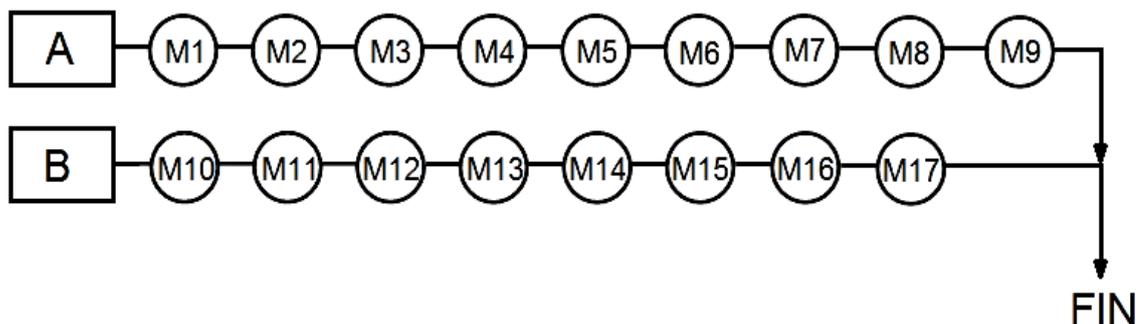
A continuación se elabora una tabla para conocer el tiempo empleado en el ensamble de cada sistema del troquel, asimismo el tiempo total en el ensamblaje general del mismo.

Tabla 30. Tiempo total empleado en el ensamble del troquel

Base superior	Base inferior	Conjunto	Troquel
54 minutos	53 minutos	3 minutos	110 minutos

Fuente: Autor

Cursograma de montaje del troquel.



6.2 Pruebas

Las pruebas se las realiza con el fin de garantizar que el troquel funcione de forma adecuada, brindando seguridad al operario y obteniéndose el producto por el cual fue diseñado.

6.2.1 Plan de pruebas.

Prueba N°1, verificar las dimensiones del troquel.

Prueba N°2, verificación del adecuado funcionamiento de los sistemas del troquel.

Prueba N°3, evaluación del comportamiento del troquel trabajando en vacío.

Prueba N°4, evaluación del comportamiento del troquel trabajando a carga.

Pruebas y resultados.

La primera prueba es verificar las dimensiones de alto, ancho, largo, base superior, base inferior, distancia entre punzones, ranura para el guiado, distancia para la sujeción con la bancada y separación entre bases sin carga, sean las correctas.

Tabla 31. Prueba N°1 (troquel)

Dimensiones (mm)	Aceptación	
	Si	No
Alto (168)	x	
Ancho (97)	x	
Largo (172)	x	
Base superior (35)	x	
Base inferior (60)	x	
Distancia entre punzones (20)	x	
Ranura para el guiado (18,8x3)	x	
Distancia para la sujeción con la bancada (40)	x	
Separación entre bases sin carga (33)	x	

Fuente: Autor

La segunda prueba consiste en verificar que los sistemas estén cumpliendo con la función para la cual fueron diseñados.

Tabla 32. Prueba N°2 (troquel)

Sistema	Funcionamiento		
	Bueno	Regular	Deficiente
Reposición	x		
Tope automático	x		
Expulsión	x		
Guiado en columnas	x		

Fuente: Autor

La tercera prueba consiste en evaluar el comportamiento del troquel cuando está trabajando en vacío (sin material de trabajo). Además se lo hará trabajar durante 5 minutos, porque cada impacto en la troqueladora dura 3 segundos (100 impactos).

Tabla 33. Prueba N°3 (troquel)

Elemento o sistema	Tiempo									
	1 min		2 min		3 min		4 min		5 min	
	Falla		Falla		Falla		Falla		Falla	
	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No	Si	No
Sistema de reposición		x		x		x		x		x
Sistema de tope automático		x		x		x		x		x
Guiado de punzones		x		x		x		x		x
Guiado en columnas		x		x		x		x		x

Fuente: Autor

La cuarta prueba consiste en evaluar el comportamiento del troquel cuando está trabajando a carga (con material de trabajo).

Tabla 34. Prueba N°4 (troquel)

Elemento o sistema	Tiempo									
	1 min		2 min		3 min		4 min		5 min	
	Trabaja		Trabaja		Trabaja		Trabaja		Trabaja	
	Si	No								
Sistema de reposición	x		x		x		x		x	

Tabla 34. (Continuación)

Sistema de expulsión	x	x	x	x	x
Sistema de tope automático	x	x	x	x	x
Guiado de punzones	x	x	x	x	x
Guiado en columnas	x	x	x	x	x
Ángulo de escape	x	x	x	x	x
Punzones efectúan corte	x	x	x	x	x
Troquel genera arandelas	x	x	x	x	x

Fuente: Autor

6.3 Verificación de los parámetros de diseño mecánico

Tabla 35. Verificación de parámetros (troquel)

Parámetros	Verificación	
	Si cumple	No cumple
• El diseño del troquel debe ser claro y de sencilla comprensión.	x	
• El diseño del troquel debe garantizar la precisión de corte del material, durante la operación de punzonado.	x	
• El diseño del troquel debe permitir el trabajo continuo.	x	
• El diseño del troquel debe asegurar la estabilidad del conjunto de trabajo, cuando esté en operación.	x	
• El diseño del troquel debe tener un factor de seguridad adecuado.	x	
• Además el diseño del troquel debe satisfacer las necesidades y requerimientos del ente de financiamiento.	x	

Fuente: Autor

CAPÍTULO VII

7. MANTENIMIENTO Y OPERACIÓN DE LA MÁQUINA

7.1 Manual de funcionamiento

El funcionamiento de la troqueladora parte de la puesta en marcha, que es el proceso de arranque y regulación de los diferentes componentes de la misma. Por tal motivo es imprescindible seguir los siguientes pasos:

Paso 1. La máquina debe estar libre de cualquier objeto que sea ajeno a la misma.

Paso 2. Controlar y verificar que las partes del equipo estén bien ajustadas.

Paso 3. Verificar que el botón de encendido esté en la posición de apagado.

Paso 4. Comprobar que el suministro de voltaje a la máquina esté conectado a una fuente de 220 voltios y 60 Hz.

Paso 5. Colocar el troquel en la mesa de la troqueladora y ajustar a la misma por medio de los pernos de anclaje.

Paso 6. Controlar y verificar que las partes del troquel estén bien alineadas y ajustadas.

Paso 7. Regular la mesa de la troqueladora hasta la altura de trabajo para el troquel (parte más elevada del tornillo de potencia).

Paso 8. Encender la máquina por medio del botón ON.

Paso 9. Seleccionar la forma de trabajo en el selector (manual ó automático).

Si la forma de trabajar es automática debe setear el tiempo de trabajo en el temporizador.

Paso 12. Ingresar el fleje en la ranura para el guiado de la misma, hasta que el tope.

Paso 13. Accionar la máquina para empezar a trabajar por medio de las palancas (manual) ó en el botón de encendido (automático).

El operador de la máquina deberá llevar un registro de los parámetros de funcionamiento, donde se registre el comportamiento y tareas de mantenimiento realizadas ó por realizar.

7.1.1 *Libro de registro de parámetros de funcionamiento.* El registro de los parámetros del comportamiento de la máquina, ayuda sistemáticamente a conocer su funcionamiento; por medio del análisis estadístico desde la puesta en marcha, paradas forzosas o de mantenimiento hasta las posibles fallas que se puedan presentar.

Por tal motivo, es necesario que el libro de registro para el control de la máquina permanezca junta a ella. En la tabla 36 se debe registrar los parámetros de funcionamiento para poder evaluar el comportamiento de la máquina.

Tabla 36. Registro de parámetros de funcionamiento

Fecha			Elemento	Limpieza	Engrase	Ajustes	Cambio	Observ.
D	M	A						
			Motor					
			Banda trapezoidal					
			Banda plana					
			Embrague (Trabajo)					
			Embrague (Freno)					
			Rodamientos					
			Botonera ON-OFF					
			Selector					
			Contactores					
			Temporizador					
			Mandos manuales					
			Mandos automáticos					
			Punzón pequeño					
			Punzón grande					
			Matriz					

Fuente: Autor

7.1.2 Diagnóstico de fallas. Las fallas se pueden presentar de forma imprevista, por eso es necesario diagnosticar que tipo de falla se presentó y tratar de dar una posible solución a dicho problema. Es así que el diagnóstico de fallas en la máquina, es una destreza que se adquiere con el trabajo diario, es decir; es una habilidad netamente desarrollada por el operador.

A continuación se elabora unas tablas que proporcionarán ciertos lineamientos que pueden ayudar en el diagnóstico de fallas y a su vez poder dar una posible solución a esos problemas.

Tabla 37. Diagnóstico de fallas en la parte eléctrica

Síntoma	Causa	Solución
Embragues no trabajan	<ul style="list-style-type: none"> • No llega corriente al embrague. • Conexión floja en la toma. • Sobrecalentamiento de los embragues. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar conexión desde el rectificador. • Verificar y ajustar la conexión en la toma. • Revisar el suministro de energía.
Contactador no queda realimentado (enclavado)	<ul style="list-style-type: none"> • Conexiones flojas. • Daño de la bobina por sobretensión. • Falla mecánica de los muelles. 	<ul style="list-style-type: none"> • Ajustar las conexiones. • Revisar las conexiones y suministro de energía. • Revisar y si es necesario cambiar los muelles.
Motor no arranca	<ul style="list-style-type: none"> • No llega corriente al motor. • Cortocircuito en el devanado del estator. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar tensiones en la red, fusibles y contactos. • Desmontar y encontrar los circuitos abiertos.
Temporizador no trabaja	<ul style="list-style-type: none"> • Mal ajustado a la base del temporizador. • No llega corriente al temporizador. 	<ul style="list-style-type: none"> • Verificar y proceder con el ajuste. • Verificar y ajustar las tomas de energía.
Botonera queda enclavada en posición OFF	<ul style="list-style-type: none"> • Los muelles de la botonera están dañados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar y cambiar los muelles.

Fuente: Autor

Tabla 38. Diagnóstico de fallas en la parte mecánica

Síntoma	Causa	Solución
Embragues no trabajan	<ul style="list-style-type: none"> • Suciedad y grasa en las placas. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desmontar los embragues y eliminar la suciedad.
Ruidos en el motor	<ul style="list-style-type: none"> • El eje está desalineado. • Rodamientos desgastados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Realizar alineación del eje. • Cambiar los rodamientos.
El motor se sobrecalienta	<ul style="list-style-type: none"> • Ventilación defectuosa. 	<ul style="list-style-type: none"> • Limpiar los conductos de ventilación y devanados.
Ruidos en el piñón y rueda dentada	<ul style="list-style-type: none"> • Falta de lubricación. 	<ul style="list-style-type: none"> • Revisar, limpiar y lubricar.
Arandelas defectuosas	<ul style="list-style-type: none"> • Punzón ha perdido filo de corte. • Matriz con el contorno desgastado. 	<ul style="list-style-type: none"> • Desmontar y rectificar la superficie de corte en los dos punzones. • Desmontar y rectificar la superficie del contorno de la matriz.
Base superior no se reposiciona	<ul style="list-style-type: none"> • Muelles fatigados. 	<ul style="list-style-type: none"> • Cambiar muelles.

Fuente: Autor

7.1.3 Capacitación del operador. Para que el operador esté en condiciones de manipular la máquina, es necesario que tenga un adiestramiento de forma práctica y teórico, sobre el funcionamiento del equipo, los nombres de los diferentes elementos que la componen y principalmente el poder llevar a cabo las acciones de mantenimiento tanto preventivo como correctivo.

- Tener conocimientos básicos de mecánica y electricidad.
- Tener habilidades con el manejo de herramientas.
- Tener iniciativa y deducción para solucionar problemas.
- Y sobre todo una alta responsabilidad.

Asimismo las funciones del operador deben estar bien definidas y son:

- a. Arrancar la máquina bajo condiciones normales de trabajo.
- b. Vigilar y verificar que la máquina esté funcionando normalmente.
- c. Realizar las operaciones de trabajo.
- d. Parar la máquina en caso que se presente alguna anomalía.
- e. Llevar a cabo las acciones de mantenimiento programado.
- f. Llenar el libro de registro de funcionamiento.

7.2 Manual de mantenimiento

La máquina por efecto del tiempo y el uso, está sujeta a un proceso irreversible de desgaste, envejecimiento de sus partes y una obsolescencia tecnológica. Por tal motivo es necesario prolongar la vida útil de la misma y esto se lo asocia a un mantenimiento preventivo que es el encargado de aplacar el efecto del tiempo y uso de la misma.

Tabla 39. Manual de mantenimiento

Mantenimiento programado								
Subconjunto	Tarea a realizar	Frecuencia					Responsable	Parada o en marcha
		Diaria	Semanal	Trimestral	Semestral	Anual		
Motor	Revisar estado de la máquina, limpiar y realizar ajustes.		x					P
	Auscultación (ruido) en los rodamientos.				x			M
	Reengrase de los rodamientos.					x		P
	Revisión del rotor y aislamiento.					x		P

Tabla 39. (Continuación)

Banda	Revisar que esté correctamente tensada.		x					P
Rodamientos	Revisar la auscultación.				x			M
	Reengrase.					x		P
Piñón-Rueda	Verificar, limpiar y engrasar				x			P
Embragues	Desmontar, desarmar y limpiar suciedad o grasa presente.				x			P
Contactores	Revisar, limpiar y ajustar los tornillos.			x				P
Temporizador	Revisar, limpiar y ajustar los tornillos.				x			P
Botonera	Revisar, limpiar y ajustar los tornillos.				x			P
Troquel	Revisar, limpiar y ajustar los tornillos.			x				P
Estado:		Observación:						Fecha

Fuente: Autor

7.3 Guía de prevención de riesgos

La guía de prevención de riesgos tiene por objetivo salvaguardar la integridad de la persona que está operando la máquina, por ende es necesario regirse a la norma INEN y al reglamento de seguridad, salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente (decreto ejecutivo 2393).

Para elaborar la guía se debe seguir algunos parámetros de análisis sobre los peligros que se pueden presentar en la máquina.

7.3.1 Análisis de riesgos posibles.

Considerando los límites de la máquina.

- Espacio para poder moverse y recorridos.
- Condiciones de uso.
- Tiempo de vida global y de los componentes

Identificación de posibles riesgos con respecto a diferentes situaciones que se presenten en la máquina.

- En su construcción.
- Transporte.
- En su montaje e instalación.
- En su puesta en marcha.
- En su funcionamiento.
- En su mantenimiento
- En su puesta fuera de servicio

7.3.2 Valoración del riesgo.

- Probabilidad de que se produzca un daño.
- La mayor gravedad previsible resultante de este daño.

La probabilidad de que existan daños está relacionada directamente con la frecuencia que el operador esté en zonas de peligro.

7.3.3 Análisis de los riesgos específicos.

Riesgos mecánicos.

- Atrapamiento en el troquel.
- Contacto fortuito con piezas en movimiento o con herramientas.
- Aplastamiento o corte.
- Impacto por caída de piezas

Figura 93. Riesgos mecánicos



Fuente: http://www.conectapyme.com/gabinete/publicaciones/trabajo_luminarias.pdf

Riesgos eléctricos.

- Cortocircuitos.
- Choque eléctrico.

Figura 94. Riesgos eléctricos



Fuente: <http://riesgoselectrico.blogspot.com/2014/08/riesgos-electricos.html>

7.3.4 Equipo de protección individual necesario para operar la máquina.

- Botas debido a que existe la posibilidad de caída de piezas durante su manipulación.
- Ropa de trabajo para protegerse de enganchones con órganos en movimiento y se trabaja con piezas metálicas.
- Protectores auditivos en el caso de que la emisión acústica sea superior a 85 decibelios (dB).
- Guantes ya que normalmente se trabaja con piezas metálicas que pueden producir cortes.

Figura 95. Equipo de protección personal (EPP's)



Fuente: http://www.conectapyme.com/gabinete/publicaciones/trabajo_luminarias.pdf

7.3.5 *Normas de trabajo seguras y sistemas de protección.*

- Antes de empezar cualquier tarea, es necesario que el personal porte el equipo de protección adecuado.
- En el proceso de preparación de la máquina, la alimentación de la misma debe estar desconectada, con el fin de evitar arranques intempestivos.
- El operador debe verificar que las protecciones de la máquina estén correctamente instaladas.
- La preparación de la máquina y reglaje debe realizarlo una persona con experiencia.
- Retirar las herramientas de la máquina una vez realizado ajustes y reglajes.
- Verificar que las piezas a trabajar sean las adecuadas para las características de la troqueladora y trabajo que se vaya a efectuar.
- Fijar adecuadamente el troquel a la mesa con el sistema de anclaje, antes de empezar el trabajo.
- Cuando se vaya a realizar tareas de mantenimiento la máquina debe estar consignada (sin alimentación de energía).

CAPÍTULO VIII

8. ANÁLISIS ECONÓMICO

8.1 Costos de construcción

8.1.1 Costos directos. Trata sobre los gastos efectuados durante la construcción tales como: materiales, mano de obra, máquinas herramientas y transporte.

Costos de materiales.

Tabla 40. Costo de materiales

Descripción	Cantidad	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Toma Cooper	1,0	9,40	9,40
Botonera ON-OFF	1,0	8,18	8,18
Temporizador CSC 6geg-60min	1,0	16,59	16,59
Contactador GMC 9 220 V	2,0	14,36	28,72
Selector Camsco 3 posiciones	1,0	2,49	2,49
Pulsador Camsco (verde y rojo)	4,0	1,70	6,80
Bloque contacto aux. Camsco NC-NO	4,0	1,72	6,88
Base para temporizador 8 pin	1,0	1,34	1,34
Barra para tierra	0,4	41,28	16,51
Cable sólido rojo #14 AWG	2,0	0,40	0,80
Cable sólido negro #14 AWG	2,0	0,40	0,80
Cable flexible rojo #14 AWG	5,0	0,38	1,90
Cable flexible negro #14 AWG	5,0	0,38	1,90
Cable flexible azul #14 AWG	5,0	0,38	1,90
Cable flexible amarillo #14 AWG	5,0	0,38	1,90
Cable sucre negro	2,0	1,00	2,00
Fusibles de 10 A	4,0	0,10	0,40
Riel DIN 35	0,2	10,00	2,00
Porta fusibles 30 A	2,0	0,85	1,70
Tablero	1,0	6,70	6,70

Tabla 40. (Continuación)

Chapa - Acero 1020 (100x95x20)mm (2,0kg)	2,0	2,40	4,80
Chapa - Acero 1045 (95x65x5)mm (0,5kg)	0,5	1,60	0,80
Chapa - Acero 1020 (95x65x20)mm (1,5kg)	1,5	2,40	3,60
Chapa - Acero 1020 (95x65x22)mm (1,5kg)	1,5	2,70	4,05
Chapa - K100 (95x65x22)mm (1,5kg)	1,5	11,20	16,80
Chapa-Acero 1020 (175x95x22)mm (3,0kg)	3,0	2,70	8,10
Chapa-Acero 1020 (55x25x15)mm (1,5kg)	1,5	2,10	3,15
Eje redondo-K100 (25,5x110)mm (0,5kg)	0,5	11,20	5,60
Eje redondo-Acero 1018 (20x60)mm (0,2kg)	0,2	4,50	0,90
Eje redondo-Acero 4340 (20x260)mm (0,4kg)	0,4	4,90	1,96
Eje redondo-Acero 4340 (10x250)mm (0,3kg)	0,3	4,44	1,33
Eje redondo-Bronce fosfórico (25x70)mm (0,3kg)	0,3	21,27	6,38
Pletina (1000x25x6)mm	1,0	3,75	3,75
Muelle-ASTM A228 (12)mm	1,0	1,0	1,00
Muelle-ASTM A228 (80)mm	2,0	5,0	10,00
Muelle-ASTM A228 (10)mm	1,0	1,0	1,00
Tornillo Allen M5x30	2,0	0,20	0,40
Tornillo Allen M4x10	1,0	0,10	0,10
Tornillo M4x80	1,0	0,25	0,25
Tornillo Allen M6x30	2,0	0,30	0,60
Tornillo Allen M4x8	2,0	0,08	0,16
Tornillo M6x8	50,0	0,05	2,50
Tornillo autorroscante cabeza plana.	10,0	0,02	0,20
Perno (7/16x2)in con tuerca	4,0	1,20	4,80
Prisionero M8x10	1,0	0,15	0,15
Banda trapezoidal tipo A	2,0	3,25	6,50
Rodamiento de bolas oscilantes ZKL	1,0	14,00	14,00
Rodamiento de bolas ZKL	1,0	5,00	5,00
Lija de hierro 100	2,0	0,45	0,90
Tiñer (litro)	1,0	1,34	1,34
Pintura en esmalte azul (litro)	1,0	4,70	4,70
Pintura en esmalte plomo (litro)	1,0	4,70	4,70
Total			238,43

Fuente: Autor

Mano de obra.

Tabla 41. Mano de obra

Descripción	Horas-hombre	Salario-hora (USD)	Costo (USD)
Técnico mecánico	80	4,50	360,00
Técnico eléctrico	15	4,80	72,00
Tornero	20	3,50	70,00
Fresador	2	3,80	7,60
Total			509,60

Fuente: Autor

Máquinas herramientas.

Tabla 42. Máquinas herramientas

Descripción	Horas-máquina	Costo-hora (USD)	Costo (USD)
Centro de mecanizado (CNC)	35	25,00	875,00
Torno	20	1,35	27,00
Rectificadora	8	1,10	8,80
Fresadora	2	1,55	3,10
Taladro de pedestal	4	1,75	7,00
Esmeril	4	1,08	4,32
Amoladora	1	1,22	1,22
Sierra manual	2	0,84	1,68
Escuadra	2	0,85	1,70
Calibrador pie de rey	4	1,10	4,40
Micrómetro	2	1,30	2,60
Flexómetro	1	0,80	0,80
Aceitero	1	1,00	1,00
Machuelo	2	0,85	1,70
Limas	2	0,80	1,60
Multímetro	5	1,20	6,00
Herramientas menores	10	1,08	10,80
Total			958,72

Fuente: Autor

Transporte.

Tabla 43. Costo de transporte

Descripción	Costo (USD)
Transporte de máquina para automatizar	100,00
Transporte material	100,00
Total	200,00

Fuente: Autor

Costos directos (total).

Tabla 44. Costos directos

Descripción	Costo (USD)
Materiales	238,43
Mano de obra	509,60
Máquinas herramientas	958,72
Transporte	200,00
Total	1906,75

Fuente: Autor

8.1.2 Costos indirectos. Son valores que resultan de los costos ingenieriles, que son resultado de la supervisión, automatización, diseño y construcción de la troqueladora y troquel.

Tabla 45. Costos ingenieriles

Descripción	Cantidad (horas)	Costo unitario (USD)	Costo total (USD)
Supervisión	30	7,00	210,00
Automatización	10	7,00	70,00
Diseño	40	7,00	280,00
Construcción	40	7,00	280,00
Total			840,00

Fuente: Autor

Tabla 46. Costos indirectos

Descripción	Costo (USD)
Costos ingenieriles	840,00
Imprevistos	84,00
Total	924,00

Fuente: Autor

8.1.3 Costos totales. Los costos totales son el resultado de los costos directo e indirectos. Además estos precios ya incluyen IVA que es del 12% (Ecuador).

Tabla 47. Costos totales

Descripción	Costo (USD)
Costos directos	1906,75
Costos indirectos	924,00
Costo total	2830,75

Fuente: Autor

El costo total de la automatización de una troqueladora y diseño de un troquel para arandelas de cobre es de USD2830,75 (dos mil ochocientos treinta dólares americanos con setenta y cinco centavos de dólar).

8.2 Rentabilidad del equipo

8.2.1 Depreciación. Es la devaluación de la máquina, como consecuencia de varias causas. La vida normal de los activos enunciados (máquinas y herramientas) es de 8 años, así el porcentaje de depreciación de la máquina es del 12,5% anual.

Clasificación de la amortización.

- *Amortización ordinaria.* Es la devaluación sistemática del bien, determinada previamente de por la empresa.
- *Amortización extraordinaria.* Es la devaluación imprevista o parcial del bien (provocada por un siniestro).

Causas de la depreciación.

- Duración física del activo.
- Agotamiento.
- Desgaste.
- Envejecimiento.
- Duración económica del activo.
- Explotación por tiempo limitado.
- Envejecimiento técnico.

Cálculo de la depreciación.

- Vida útil.* Es el tiempo que tiene un bien como elemento de provecho para la empresa. Las bases para determinar la vida útil son: el tiempo (años) y capacidad de producción (producción total).
- Valor de salvamento.* Es la estimación del valor que a bien tendrá la empresa, una vez cumplido la vida útil. Esto surgirá de la diferencia entre el precio de venta estimado y todas las erogaciones necesarias para retirar el bien de servicio.

El valor de salvamento se calcula por medio de la siguiente ecuación.

$$V_{\text{salvamento}} = V_{\text{inicial}} - \frac{V_{\text{inicial}} * N_{\text{vu}}}{N_{\text{D}}} \quad (74)$$

Dónde:

$V_{\text{salvamento}}$ = Valor de salvamento (USD).

V_{inicial} = Valor de costo inicial (USD 2830,75).

N_{vu} = Tiempo de vida útil (6 años).

N_{D} = Tiempo de depreciación (8 años).

$$V_{\text{salvamento}} = \text{USD } 2830,75 - \frac{\text{USD } 2830,75 * 6 \text{ años}}{8 \text{ años}}$$

$$V_{\text{salvamento}} = \text{USD } 707,69$$

c. *Método de depreciación de la línea recta.* Es uno de los métodos más empleados en las empresas; y eso es debido a que es un método sencillo, donde la diferencia entre el valor inicial y de salvamento del equipo fraccionado para la vida útil del mismo, da como resultado la depreciación anual. Así se tiene la siguiente ecuación:

$$D_{\text{anual}} = \frac{V_{\text{inicial}} - V_{\text{salvamento}}}{N_D} \quad (75)$$

Dónde:

D_{anual} = Depreciación anual.

$$D_{\text{anual}} = \frac{\text{USD } 2830,75 - \text{USD } 707,69}{8} = \text{USD } 265,3825$$

Con el valor de la depreciación anual se procede a elaborar la tabla de depreciación del equipo:

Tabla 48. Depreciación anual del equipo

Tiempo	Depreciación anual (USD)	Costo anual (USD)
0 años	--	2830,75
1 año	2830,75 - 265,3825	2565,3675
2 año	2565,3675 - 265,3825	2299,9850
3 año	2299,9850 - 265,3825	2034,6025
4 año	2034,6025 - 265,3825	17,69,2200
5 año	17,69,2200 - 265,3825	1503,8375
6 año	1503,8375 - 265,3825	1238,4550
7 año	1238,4550 - 265,3825	973,0725
8 año	973,0725 - 265,3825	707,69
Total		707,69

Fuente: Autor

Por lo tanto el valor de salvamento de la máquina será de USD 707,69 (setecientos siete dólares americanos con sesenta y nueve centavos de dólar).

8.2.2 Determinación del costo de energía. El costo de la energía parte del consumo diario de los elementos que conforman el sistema eléctrico, para luego calcular el consumo anual que al ser multiplicado por la tasa de kW-h se puede conocer costo anual de la energía.

En la siguiente tabla se conoce el consumo de los principales elementos del circuito eléctrico.

Tabla 49. Consumo de energía

Elemento	Cantidad	Consumo parcial (kW)	Consumo total (kW)
Motor bifásico	1	4,0	4,0
Transformador	1	0,5	0,5
Contactador	2	1,0	2,0
Temporizador	1	0,5	0,5
Embrague	2	1,0	2,0
Consumo de energía total			9,0

Fuente: Autor

La máquina trabajará en un tiempo estimado de una hora.

$$C_{\text{diario}} = C_{\text{energía}} * N_{\text{diario}} \quad (76)$$

Dónde:

C_{diario} = Consumo de energía diaria (kW-h).

$C_{\text{energía}}$ = Consumo de energía del sistema eléctrico. (kW).

N_{diario} = Tiempo de consumo diario (horas)

$$C_{\text{diario}} = 9,0 \text{ kW} * (1\text{h})$$

$$C_{\text{diario}} = 9,0 \text{ kW} - \text{h}$$

El precio del kW-h en el Ecuador es de USD 0,104

$$C_{ce} = C_{diario} * C_{costo} \quad (77)$$

Dónde:

C_{ce} = Costo del consumo de energía

C_{costo} = Precio en dólares del kW-h.

$$C_{ce} = 9,0 \text{ KW} - \text{h} * \frac{\text{USD}0,104}{\text{kW} - \text{h}}$$

$$C_{ce} = \text{USD } 0,94$$

El costo de la energía anual será:

$$C_{ce} = \frac{\text{USD } 0,94}{\text{día}} * 30\text{día}$$

$$C_{ce} = \text{USD } 28,20 + (\text{Impuestos y recaudaciones})$$

$$C_{ce} = \text{USD } 45,00 * 12 \text{ meses}$$

$$C_{ce} = \text{USD } 540$$

El costo anual por el consumo de energía es de USD 540. Además un valor estimativo del costo de mantenimiento de la máquina será de USD 160.

8.2.3 *Determinación del punto de equilibrio.* Se denomina así al estado de equilibrio entre ingresos y egresos de una empresa. Para determinarlo es necesario conocer los costos fijos, el costo variable del producto y el precio de venta unitario del mismo.

$$PE_{unidades} = \frac{CF}{P_{vup} - C_{vp}} \quad (78)$$

Dónde:

$PE_{unidades}$ = Punto de equilibrio de venta de unidades.

CF = Costos fijos.

C_{vup} = Costo variable unitario del producto.

P_{vup} = Precio de venta unitario del producto.

Costos fijos.

Los costos fijos son el valor de la inversión inicial más la depreciación del equipo:

Tabla 50. Costos fijos

Descripción	Costo (USD)
Inversión	2830,75
Depreciación	265,3825
CF	3096,1325

Fuente: Autor

Costo variable del producto.

Es el costo de la arandela producida, donde intervienen los siguientes aspectos en función de cantidad producida:

$$C_{vup} = \frac{\text{Materiales} + \text{mano de obra} + \text{gastos generales}}{N_p} \quad (78)$$

Dónde:

N_p = Cantidad de piezas.

Donde el costo del material en un metro de fleje es USD 2,00, mano de obra por hora es de USD 4,50 (técnico mecánico) y el tiempo de trabajo será aproximadamente una hora, en el cual se puede producir alrededor de 1200 arandelas de forma continua con 20 metros de fleje.

$$C_{vup} = \frac{20 * \text{USD}2,00 + \text{USD}4,50 + \text{USD}5,00}{1200}$$

$$C_{vup} = \text{USD } 0,04$$

Precio de venta unitario del producto.

Es el costo de la arandela para comercializar, que puede obtener del promedio entre el costo de la arandela producida y el costo de una arandela en el mercado.

$$P_{vup} = \frac{C_{vup} + C_{am}}{2} \quad (79)$$

Dónde:

C_{am} = Costo de la arandela en el mercado (USD 0,10).

$$P_{vup} = \frac{\text{USD } 0,04 + \text{USD } 0,10}{2}$$

$$P_{vup} = \text{USD } 0,07$$

El punto de equilibrio es el siguiente:

$$PE_{\text{unidades}} = \frac{\text{USD } 3096,1325}{\text{USD } 0,07 - \text{USD } 0,04}$$

$$PE_{\text{unidades}} = 103204$$

Cuando se haya producido y vendido 103204 arandelas se tendrá equilibrio entre ingresos y egresos, con lo cual el umbral para poder tener rédito por la inversión realizada empezará a dar frutos.

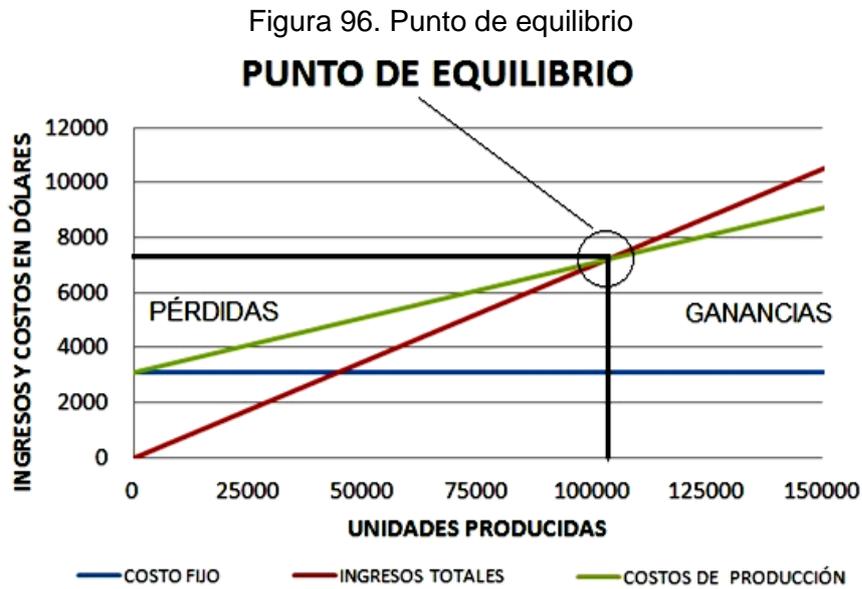
Trabajando una hora diaria, en 20 días laborables al mes se tiene lo siguiente:

$$t_{\text{producción}} = \frac{103204 \text{ unidades}}{1200 \frac{\text{unidades}}{\text{día}}}$$

$$t_{\text{producción}} = \frac{86 \text{ días}}{20 \frac{\text{días}}{\text{mes}}}$$

$$t_{\text{producción}} = 4,3 \text{ meses}$$

Es decir, aproximadamente en cinco meses el dueño de la máquina, podrá obtener beneficios de la producción.



Fuente: Autor

8.2.4 Determinación del beneficio de producción.

$$B_{\text{mensual}} = (C_{\text{acm}} - C_{\text{ap}}) * N_p * t_{\text{dl}} \quad (80)$$

Dónde:

B_{mensual} = Beneficio diario en dólares.

C_{acm} = Costo de la arandela para comercializar en el mercado.

C_{ap} = Costo de la arandela producida.

t_{dl} = Tiempo en días laborables

$$B_{\text{mensual}} = \text{USD}(0,07 - 0,04) * 1200 * 20$$

$$B_{\text{mensual}} = \text{USD } 720$$

Por lo tanto el valor del beneficio anual será:

$$B_{\text{anual}} = B_{\text{mensual}} * 12 \quad (81)$$

$$B_{\text{anual}} = \text{USD } 720 * 12$$

$$B_{\text{anual}} = \text{USD } 8640$$

El beneficio anual por la producción de arandelas, es de cinco mil novecientos cincuenta y dos dólares americanos.

8.3 Cálculo del TIR (Tasa Interna de Retorno) y VAN (Valor Actual Neto)

Para poder calcular el TIR y VAN es necesario tomar en cuenta los valores correspondientes a ingresos y egresos.

Ingresos:

$$B_{\text{anual}} = \text{USD } 8640$$

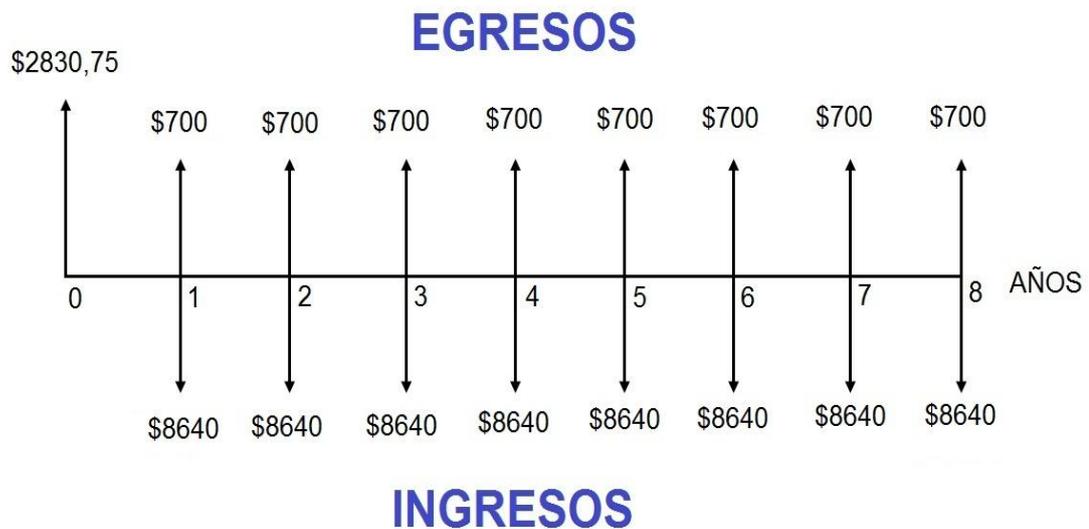
Egresos:

$$C_{\text{máquina}} = \text{USD } 2830,75$$

$$C_{\text{energía+mantenimiento}} = \text{USD } 700$$

A continuación se elabora un gráfico para conocer los ingresos y egresos para el tiempo estimado de vida normal del equipo.

Figura 97. Ingresos y egresos



Fuente: Autor

8.3.1 Cálculo del VAN (Valor Actual Neto). El cálculo del valor actual neto parte del flujo de caja, para realizar una simulación con la inversión, y así conocer las cantidades futuras generadas en los años de vida del equipo y poder saber si es o no viable el proyecto.

Por lo tanto el VAN se calcula con la siguiente expresión:

$$VAN = \sum_{i=1}^n \frac{FNE_i}{(1+k)^i} - I_0 \quad (82)$$

Dónde:

VAN = Valor actual Neto en dólares.

FNE_i = Flujo neto efectivo.

k = Tasa equivalente al costo promedio ponderado del capital.

I₀ = Inversión neta.

n = Tiempo en años.

A continuación se calcula el flujo de caja:

Tabla 51. Flujo de Caja

Año	Inversión (USD)	Valor de salvamento (USD)	Ventas netas (USD)	Egresos (USD)	Depreciación (USD)	Flujo efectivo neto (USD)
--	-2830,75					-2830,75
2015			8640	-700	-265,38	7674,62
2016			8640	-700	-265,38	7674,62
2017			8640	-700	-265,38	7674,62
2018			8640	-700	-265,38	7674,62
2019			8640	-700	-265,38	7674,62
2020			8640	-700	-265,38	7674,62
2021			8640	-700	-265,38	7674,62
2022		707,69	8640	700	-265,38	8382,31
Flujo neto efectivo total						59273,90

Fuente: Autor

En seguida se realiza el cálculo del valor actual neto uno y dos, que emplea una tasa equivalente al costo promedio ponderado del capital de 0,5 y de 0,1 respectivamente.

Tabla 52. VAN 1, k=0,5

Año	Flujo de caja (USD)	$\frac{1}{(1+k)^i}$		$\frac{FNE_i}{(1+k)^i}$ (USD)	Inversión (USD)
--	--	--	--		- 2830,75
2015	7674,62	$1/(1+0,5)^1$	0,667	5118,97	--
2016	7674,62	$1/(1+0,5)^2$	0,444	3407,53	--
2017	7674,62	$1/(1+0,5)^3$	0,296	2271,69	--
2018	7674,62	$1/(1+0,5)^4$	0,198	1519,57	--
2019	7674,62	$1/(1+0,5)^5$	0,132	1013,05	--
2020	7674,62	$1/(1+0,5)^6$	0,088	675,37	--
2021	7674,62	$1/(1+0,5)^7$	0,059	452,80	--
2022	8382,31	$1/(1+0,5)^8$	0,039	326,91	--
				14785,89	-2830,75
VAN1 (USD)				11955,14	

Fuente: Autor

Tabla 53. VAN 2, k=0,1

Año	Flujo de caja (USD)	$\frac{1}{(1+k)^i}$		$\frac{FNE_i}{(1+k)^i}$ (USD)	Inversión (USD)
--	--	--	--		-2830,75
2015	7674,62	$1/(1+0,1)^1$	0,909	6976,23	--
2016	7674,62	$1/(1+0,1)^2$	0,826	6339,24	--
2017	7674,62	$1/(1+0,1)^3$	0,751	5763,64	--
2018	7674,62	$1/(1+0,1)^4$	0,683	5241,77	--
2019	7674,62	$1/(1+0,1)^5$	0,621	4765,94	--
2020	7674,62	$1/(1+0,1)^6$	0,565	4336,16	--
2021	7674,62	$1/(1+0,1)^7$	0,513	3937,08	--
2022	8382,31	$1/(1+0,1)^8$	0,467	3914,54	--
				41274,6	-2830,75
VAN2 (USD)				38443,85	

Fuente: Autor

Criterios de decisión:

- Si el VAN es mayor que 0, aceptar el proyecto, donde la empresa obtendría un rendimiento mayor que el costo de oportunidad del capital y por lo tanto conviene ejecutar el proyecto.
- Si el VAN es igual a cero, el inversionista estará indiferente entre invertir en el proyecto o en cualquier alternativa. La decisión de inversión se producirá por razones diferentes a la rentabilidad del proyecto.
- Si el VAN es menor que cero (negativo), el proyecto no es viable porque no permite recuperar la inversión en términos de valor actual.

8.3.2 Cálculo del TIR (Tasa Interna de Retorno). Es la tasa de interés con la cual se puede recuperar la inversión realizada y está en función del valor neto actual 1 y 2.

$$TIR = i\% + \Delta i\% \left(\frac{VAN^+}{VAN^+ - VAN^-} \right) \quad (83)$$

Dónde:

TIR = Porcentaje de la tasa interna de retorno.

$\Delta i\%$ = Variación del porcentaje entre cantidad positiva y negativa. (k1 y k2)

VAN^+ = Valor Actual neto de la cantidad positiva (VAN2).

$i\%$ = Porcentaje último de la variación de cantidades (k1).

VAN^- = Valor Actual neto de la cantidad negativa (VAN1).

$$TIR = \left[0,1 + (0,5 - 0,1) \left(\frac{USD38443,85}{USD38443,85 - USD11955,14} \right) \right] * 100$$

$$TIR = 68\%$$

Criterio de decisión

- Si la TIR es MAYOR que el costo promedio ponderado del capital (kp), se debe aceptar el proyecto, en caso contrario, rechazarlo. Una TIR mayor que el costo de oportunidad garantiza que el proyecto rinda más que la inversión alternativa

La tasa de interés pasiva efectiva vigente, dada por el banco central del Ecuador para más de 365 días en el año 2015 es de 5,35%.

$$k_p = 5,35\%$$

Comparación de la TIR (Tasa Interna de Retorno) con el interés pasivo efectivo vigente y se tiene 3 alternativas:

- a. Si $TIR < \% \text{ vigente}$ el proyecto no es aconsejable.
- b. Si $TIR = \% \text{ vigente}$ el proyecto es indiferente.
- c. Si $TIR > \% \text{ vigente}$ el proyecto es aconsejable.

Por lo tanto la tasa interna de retorno tiene el siguiente resultado.

$$TIR = 68\% > 5,35\%$$

Con los resultados de VAN y de TIR se procede al análisis de resultados.

8.4 Análisis de resultados

- El análisis del valor actual neto es un valor mayor que cero, por lo tanto el proyecto es viable y eso hará que la empresa obtenga un mayor rendimiento.
- Además la tasa interna de retorno es superior al porcentaje de interés de la tasa pasiva efectiva referencial por el banco Central del Ecuador vigente, como consecuencia el proyecto es ejecutable.
- Asimismo el tiempo de recuperación de la inversión será en cinco meses con una ganancia de USD 0,03 por cada arandela.

CAPÍTULO IX

9. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

9.1 Conclusiones

Se diseñó e implementó un circuito de mando, capaz de controlar el número de ciclos en función del tiempo, generando un proceso automático en la máquina.

Se diseñó y construyó un troquel con características adecuadas, que garantiza una producción continua de 1200 de arandelas de cobre en una hora.

Los parámetros de automatización y diseño de troquel, fueron verificados por medio de pruebas, dando como resultado valores positivos.

Se elaboró manuales de funcionamiento y mantenimiento para poder operar la máquina con seguridad y una guía de prevención de riesgos, para evitar accidentes en la misma.

9.2 Recomendaciones

Realizar investigaciones sobre la fabricación de troqueles, para poder elaborar una normativa de diseño y construcción de los mismos; y a su vez poder estandarizar estos elementos en el mercado; debido a que no existe normativa alguna en el país.

Manipular la máquina siguiendo los parámetros planteados en los manuales y guía de prevención de riesgos.

Trabajar en la máquina con la indumentaria adecuada, con el fin de evitar posibles accidentes en la misma y salvaguardar la integridad del operador.

Sustituir el motor y embragues por otros más eficientes; debido a que son antiguos produce un consumo de energía elevado.

BIBLIOGRAFÍA

ALVARADO-HERNÁNDEZ-MONTES. 2008. [En línea] 2008.
<http://tesis.ipn.mx/xmlui/bitstream/handle/123456789/425/DISENoY%20FABRICACION.pdf?sequence=1>.

DESCOM.JMC. MANUFACTUARA I - TROQUELADO. [En línea] [Citado el: 8 de Mayo de 2014.] <http://descom.jmc.utfsm.cl/sgeywitz/dctos/Matrices/troquelado.pdf>.

ELECTRICIDAD Y AUTOMATISMOS. NICHESE. [En línea]
<http://www.nichese.com/contactor.html>.

ELECTROTECNIA LÓPEZ. ELECTROTECNIA LÓPEZ SRL. [En línea]
<http://www.electrotecnialopez.com/web2009/HitachiTelemando.aspx>.

MARÍN VILLAR, Camilo. METALACTUAL. [En línea] [Citado el: 8 de Mayo de 2014.]
<http://www.metalactual.com/revista/12/procesostroquelado.pdf>.

MENDIETA, CÉSAR. 2011. MUNDO TEMPORIZADORES. [En línea] 11 de MAYO de 2011. <http://mundotemporizadores.blogspot.com/2011/05/definicion.html>.

NAVAS, EVELYN. 2011. SCRIBD. [En línea] 4 de MARZO de 2011.
<http://www.scribd.com/doc/50052577/Definicion-de-sensor#scribd>.

NORMA DIN19233. 2009. MONOGRAFÍAS.COM. [En línea] Noviembre de 2009.
[Citado el: 8 de Mayo de 2014.] <http://www.monografias.com/trabajos76/automatizacion/automatizacion2.shtml>.

SCRIBD. 2010. INFORMACIÓN TECNOLÓGICA. [En línea] 22 de Mayo de 2010.
[Citado el: 8 de Mayo de 2014.] <http://www.scribd.com/doc/31789225/Informacion-Tecnologica-Matrices-de-Corte-Definicion-y-Nomenclatura>.

SHIGLEY-MITCHELL, JOSEHP-LARRY. 1997. Diseño en ingeniería mecánica. [aut. libro] Shigley-Mitchell. *Diseño en ingeniería mecánica*. s.l. : McGraw-Hill, 1997.

SLIDESAHRE. 2013. SLIDESAHRE. [En línea] 22 de FEBRERO de 2013.
<http://es.slideshare.net/pgj912/plegado-de-chapa>.

SLIDESHARE. 2010. SLIDESHARE. [En línea] 16 de FEBRERO de 2010.
<http://es.slideshare.net/oscarprieto/embutido-corte-y-troquelado>.

SOTO SIVILA, EDGAR. 2011. SCRIBD. [En línea] 16 de MARZO de 2011.
<http://www.scribd.com/doc/50835535/Definicion-de-PLC-y-Caracteristicas#scribd>.

TECNOFAB2. 2011. SCRIBD. [En línea] 22 de NOVIEMBRE de 2011.
<http://www.scribd.com/doc/73481309/Punzonado#scribd>.

ANEXOS

PLANOS