

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



**DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA  
COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS EN EL  
SINTERIZADO**

PRESENTADO POR:

**RICARDO ALFREDO MARTÍNEZ VENTURA  
CINTHYA MAGALY MAURIS ALVARADO  
FERNANDO JOSÉ URBINA GARCÍA**

PARA OPTAR AL TÍTULO DE:

**INGENIERO MECÁNICO**

CIUDAD UNIVERSITARIA, MARZO DE 2023

UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR

RECTOR :

**M.Sc. ROGER ARMANDO ARIAS ALVARADO**

SECRETARIA GENERAL :

**Ing. FRANCISCO ANTONIO ALARCÓN SANDOVAL**

**FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA**

DECANO :

**PhD. EDGAR ARMANDO PEÑA FIGUEROA**

SECRETARIO :

**Ing. JULIO ALBERTO PORTILLO**

**ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

DIRECTOR INTERINO :

**Ing. FRANCISCO ALFREDO DE LEÓN TORRES**

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

Trabajo de Graduación previo a la opción al Grado de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Título :

**DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA  
COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS EN EL  
SINTERIZADO**

Presentado por :

**RICARDO ALFREDO MARTÍNEZ VENTURA  
CINTHYA MAGALY MAURIS ALVARADO  
FERNANDO JOSÉ URBINA GARCÍA**

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ**

San Salvador, marzo de 2023

Trabajo de Graduación Aprobado por:

Docente Asesor :

**Dr. y M.Sc. JONATHAN ANTONIO BERRÍOS ORTIZ**

## DEDICATORIA

Este trabajo de graduación está dedicado a:

Mi hermana Mayra Aracely Martínez, quien me incentivó a emprender la aventura que me trajo a este momento, quien me dio con su esfuerzo las herramientas y consejos que estaban a su alcance, y quien ha confiado fielmente en mis principios y valores.

A mi padre José Ricardo Martínez, quien me alimentó la autoestima desde el primer momento, creyó en mis capacidades, a quien nunca le faltaron abrazos o palabras de aliento, quien siempre estaba dispuesto a escuchar y ayudarme a resolver los incontables obstáculos que surcamos juntos.

A mi tía Julia Aracely Martínez, la cual me dio un lugar permanente en su hogar, aun tras su partida, quien desde su firmeza y carácter noble me enseñó los principios que en gran medida rigen ahora mi vida; el placer y la responsabilidad del trabajo y el estudio.

A mi tía Esperanza Bolaños y tío Ernesto Bolaños, quienes me recibieron y atendieron en su hogar durante mi servicio social, brindándome su confianza y sincera preocupación en mis asuntos académicos y profesionales, y regalándome siempre una sonrisa cariñosa y atenta.

Por último y no menos importante, a todos los amigos de mi padre, familia y amigos personales que hice en el camino, que de una u otra forma me acompañaron en esta carrera.

*Ricardo Alfredo*

## **DEDICATORIA**

Este trabajo de graduación está dedicado a:

Mi familia, quienes han sido siempre el motor que impulsa mis sueños y esperanzas, quienes estuvieron siempre a mi lado durante las largas horas de estudio. Siempre han sido mis mejores guías de vida y ahora cuando concluyo mis estudios, les dedico este logro a mis amados padres Yesenia Alvarado y Luis García, y mis hermanos Fermín Mauris y Josseline Flores. Orgullosa de formar parte de esta familia y que estén a mi lado en una meta más conquistada.

*Cinthya Magaly*

## DEDICATORIA

Este trabajo de graduación está dedicado a:

En primer lugar a mis padres Norma García y René Urbina, por ser las primeras personas en darme algo, lo cual fue la vida. A mi madre, por cultivar en mí el interés y satisfacción del aprendizaje diario, la creatividad y el amor a las ciencias y el arte. A mi padre, por el sentido del compromiso y de la responsabilidad.

A mi hermano Gerardo Urbina, por estar siempre un paso adelante de mí, por sus consejos y su compañía.

A Velcky Bonilla, por permitirme reflexionar siempre, por ayudarme a entender de mejor forma muchos temas de la vida, y por dar un sentido a las decisiones que tomo.

A Mónica Flores, por incluirme en su familia, brindarme siempre su apoyo y motivarme a alcanzar mis metas.

*Fernando José*

## **AGRADECIMIENTOS**

Mi más profundo y sincero agradecimiento a mi tía Betty Martínez, quien apoyó mediante su financiamiento mi formación profesional desde el fallecimiento de mi tía Julia Aracely Martínez, hasta el haberla culminado.

Del mismo modo agradecer a mi tía Marina de Bautista, por su apoyo financiero durante mucho tiempo, para completar matrículas y mensualidades cuando hacía falta, siempre que estuvo en sus manos.

Un agradecimiento a los docentes que desde sus cátedras cultivaron en mí las bases de la profesión de Ingeniería Mecánica, y sobre todo a Jonathan Berríos, quien me acompaña con consejos y mentorías, como docente en su cátedra, asesor en mi servicio social y ahora en nuestro trabajo de graduación.

Por último, aunque igualmente importante, un especial agradecimiento a mi primo Jorge Umaña, por su mentoría y por darme mi primera experiencia profesional.

*Ricardo Alfredo*



## **AGRADECIMIENTOS**

Primeramente doy gracias a Dios por permitirme la oportunidad de haber estudiado en la universidad y por todas las oportunidades que me concedió para formarme como profesional en el campo que tanto me apasiona.

Le doy las gracias a mi familia, principalmente a mi madre Yesenia Alvarado, por estar dispuesta en acompañarme en cada larga y agotadora noche de estudio, por sus mimos y motivación.

Gracias a cada uno de mis compañeros y amigos que a lo largo de la carrera han estado ahí con su apoyo. A cada uno de los docentes y amigos desde bachillerato que han impulsado mi desarrollo, les estoy eternamente agradecida.

Finalmente, les agradezco a mis compañeros de trabajo de graduación Fernando Urbina y Ricardo Martínez; no pude haber escogido a mejores personas para finalizar esta etapa de formación.

*Cinthya Magaly*

## **AGRADECIMIENTOS**

Quiero agradecer a mis padres, Norma García y René Urbina, por ayudarme a alcanzar todos mis compromisos académicos y profesionales.

A mis compañeros de estudio, quienes recorrieron conmigo el trayecto de mi carrera universitaria; quienes invirtieron su tiempo y esfuerzo para que juntos pudiéramos dar lo mejor de nosotros.

A los docentes de las cátedras universitarias que cursé, por brindarme conocimiento y cumplir con los objetivos establecidos.

A mis compañeros y jefes de trabajo, quienes resolvieron todas mis consultas, y amablemente me explicaron conceptos fundamentales en la hidráulica y la automatización.

*Fernando José*

# DISEÑO DE UNA PRESNA HIDRÁULICA PARA COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS EN EL SINTERIZADO

Estudiantes: Brs. Ricardo Alfredo Martínez Ventura<sup>1</sup>, Cinthya Magaly Mauris Alvarado<sup>2</sup> y Fernando José Urbina García<sup>3</sup>  
Docente Asesor: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz<sup>4</sup>

Escuela de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería y Arquitectura,  
Universidad de El Salvador

## RESUMEN

Se ha realizado una propuesta de diseño de una prensa hidráulica para compactación de polvos metálicos para el sinterizado, con fines didácticos, la cual es un equipo de fabricación de piezas en verde con geometrías relativamente complejas, las cuales requieren de una etapa de tratamiento térmico posterior que proporcionará a dicha pieza de sus propiedades mecánicas finales. Para su diseño se tomaron en consideración conceptos de hidráulica, mecánica de materiales, procesos de fabricación y automatización los cuales se basan en la información recopilada mediante investigación bibliográfica. El diseño de la prensa se fundamenta en los requisitos del producto a fabricar, cuyas variables primordiales fueron sus dimensiones, geometría y resistencia mecánica. Mediante estos conceptos se fundamenta la selección y diseño de los diferentes componentes empleados en la prensa hidráulica, desde la estructura metálica, hasta los componentes hidráulicos y de control. Finalmente, tanto se realizó la factibilidad técnica y las instrucciones operativas y de mantenimiento, como también se determinaron los costos de fabricación de dicha prensa hidráulica.

Palabras claves: Sinterizado, pieza en verde y prensa hidráulica.

---

1 E-mail: cinthya.mauris20@gmail.com

2 E-mail: martinez.ventura.ra96@gmail.com

3 E-mail: f.urbina.0510@gmail.com

4 E-mail: jonathan.berrios@ues.edu.sv

# ÍNDICE GENERAL

	Pág.
INTRODUCCIÓN.....	1
1. Marco teórico.....	4
1.1. Generalidades .....	4
1.2. Interés suscitado por el sinterizado de polvos metálicos en la actualidad. ....	8
1.3. Descripción del proceso de fabricación del sinterizado de materiales.....	11
1.4. Tipos de productos.....	30
1.5. Consideraciones durante el diseño del utillaje para compactación de polvos ..	33
1.6. Maquinaria empleada en la compactación de polvos .....	34
1.6.1. Tipos de prensa y su clasificación .....	36
2. DISEÑO DE PRENSA PARA SINTERIZADO .....	43
2.1. Definición de requisitos y características del producto final.....	44
2.1.1. Masa de la materia prima depositada .....	47
2.2. Diseño y selección de componentes del sistema hidráulico .....	50
2.2.1. Cilindro hidráulico .....	53
2.2.2. Bomba hidráulica.....	58
2.2.3. Motor eléctrico.....	61
2.2.4. Mangueras.....	63
2.2.5. Diseño del tanque hidráulico.....	66
2.2.6. Intercambiador de calor.....	68
2.2.7. Filtros, válvulas, instrumentos de medición, acoples mecánicos y fluido hidráulico.....	69
2.3. Diseño y selección de componentes estructurales .....	72
2.3.1. Diseño estructural de armadura de acero para prensa hidráulica .....	72
2.3.2. Montaje de los actuadores.....	95
2.4. Diseño del sistema de control .....	97
2.5. Representación del prototipo .....	100

	Pág.
3. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y COSTOS .....	102
3.1. Factibilidad tecnica .....	103
3.1.1. Disponibilidad de obtención .....	103
3.1.2. Manual de fabricación y ensamblaje .....	103
3.2. Manuales e instrucciones operativas .....	122
3.2.1. Manual de operacion por control manual y automatico .....	123
3.2.2. Manual de mantenimiento y seguridad.....	128
3.2.3. Especificaciones tecnicas.....	131
3.3 Costos de fabricación .....	132
 CONCLUSIONES .....	 140
 BIBLIOGRAFÍA.....	 142
 ANEXOS.....	 144
Anexo A: Documentos y criterios de selección y diseño .....	145
Anexo B: Planos de fabricacion .....	151
Anexo C: Cotizaciones.....	165

## ÍNDICE DE TABLAS

	Pág.
Tabla 1.1. Presiones de compactación típicas para diversas aplicaciones [12].....	19
Tabla 1.2. Características que definen las distintas clases de piezas pulvimetalúrgicas de prensado y sinterizado [12].....	25
Tabla 1.3. Temperaturas típicas y tiempos de sinterizado para polvos de metales seleccionados [11]. ....	29
Tabla 1.4. Índices de componentes de aleaciones [9].....	31
Tabla 2.1. Dimensiones de silenciadores neumáticos.....	45
Tabla 2.2. Simbología del circuito hidráulico básico.....	52
Tabla 2.3. Parámetros para selección de mangueras en las distintas líneas. ....	64
Tabla 2.4. Variables involucradas en el cálculo de dimensionamiento del enfriador. ....	69
Tabla 2.5. Selección de componentes hidráulicos. ....	70
Tabla 2.6. Medida del electrodo con relación el espesor del material. ....	90
Tabla 2.7. Medida del electrodo con relación el espesor del material, manual del soldador. ....	91
Tabla 2.8. Señales de salida para enviar al sistema hidráulico. ....	99
Tabla 2.9. Señal de entrada proveniente del sistema hidráulico. ....	99
Tabla 3.1. Lista de componentes para ensamble de la prensa hidráulica de sinterizado.....	117
Tabla 3.2. Plan de mantenimiento de prensa hidráulica de compactación de polvo para sinterizado. ....	130
Tabla 3.3. Especificaciones técnicas de motor eléctrico. ....	132
Tabla 3.4. Especificaciones técnicas de bomba hidráulica.....	132
Tabla 3.5. Especificaciones técnicas de Cilindro hidráulico.....	132
Tabla 3.6. Costos de componentes del sistema hidráulico de la prensa de sinterizado, proveedor: Autocontrol S.A. de C.V.....	133
Tabla 3.7. Costos de componentes cotizados en.....	136
Tabla 3.8. Costos de componentes cotizados en Freund S.A. de C.V. ....	137
Tabla 3.9. Costos de componentes cotizados a través de Aeropost S.A. de C.V.....	138
Tabla 3.10. Costos de componentes cotizados en IDSA S.A. de C.V. ....	138
Tabla 3.11. Costos de componentes cotizados a través de Pinse-auto S.A. de C.V...138	
Tabla 3.12. Costo total de la prensa. ....	139

## ÍNDICE DE FIGURAS

	Pág.
Fig. 1.1. Línea de tiempo sobre la metalurgia de polvos metálicos. ....	5
Fig. 1.2. Interés a lo largo del tiempo sobre términos clave [8].....	9
Fig. 1.3. Distribución de interés por regiones en el mundo de términos clave [8]. ....	10
Fig. 1.4. Esquema de un proceso pulvimetalúrgico [10]. ....	12
Fig. 1.5. Secuencia convencional de producción en metalurgia de polvos: a) Mezclado; b) Compactación; y c) Sinterizado [11].....	13
Fig. 1.6. Métodos de producción de polvos metálicos por atomización [7]. ....	16
Fig. 1.7. Métodos de trituración mecánica para obtener partículas finas [7]. ....	16
Fig. 1.8. Diferentes tipos de dispositivos de mezclado y combinación [11].....	17
Fig. 1.9. Secuencia de compactación de una prensa mecánica en piezas de un sólo nivel [12]. ....	20
Fig. 1.10. Compactado de polvos con uno y dos émbolos. ....	22
Fig. 1.11. Efecto de la presión de compactación sobre la densidad en verde. Las curvas separadas son para distintos polvos comerciales [12]. ....	23
Fig. 1.12. Representación gráfica de la presión aplicada en la densidad del compactado, mediante diagramas microestructurales: a) Polvos sueltos iniciales después del llenado; b) reempacado; y c) deformación de las partículas [11]. ....	23
Fig. 1.13. Compactación de una pieza de dos espesores con un sólo punzón móvil: a) Condiciones iniciales; b) después de la compactación por el punzón superior. Se nota la diferencia drástica en la densidad compactada [12]. ....	24
Fig. 1.14. Dos métodos para compactar una pieza de doble espesor hasta una densidad casi uniforme. Ambos involucran el movimiento controlado de dos o más punzones [12]. ....	24
Fig. 1.15. Ejemplos de geometrías que corresponden a las cuatro clases básicas de piezas pulvimetalúrgicas prensadas y sinterizadas [12]. ....	25
Fig. 1.16. Microestructura del sinterizado: a) Puntos de contacto; b) cuellos se desarrollan donde previamente estaban los puntos de contacto; c) los poros entre las partículas reducen su tamaño; y d) se desarrollan límites de grano [11]. ....	28
Fig. 1.17. Tratamiento de sinterizado: a) Ciclo típico de tratamiento térmico durante el sinterizado; y b) sección transversal esquemática de un horno continuo de sinterizado [11]. ....	29
Fig. 1.18. Prensa para acuñado de moneda con balancín [14]. ....	35
Fig. 1.19. Línea de tiempo de evolución de la prensa [14]. ....	36
Fig. 1.20. Clasificación de las prensas según su fuente de energía. ....	36
Fig. 1.21. Ilustraciones de algunos tipos de prensas mecánicas: a) De manivela [16]; b) De tornillo [19]; y c) De piñón cremallera [20]. ....	39
Fig. 1.22. Esquema de componentes que conforman un sistema hidráulico [18]. ....	40

	Pág.
Fig. 2.1. Bosquejo de prensa a diseñar.....	44
Fig. 2.2. Geometría de un silenciador neumático comercial.....	45
Fig. 2.3. Jerarquía de variables asociadas a los requisitos de fabricación. ....	46
Fig. 2.4. Representación de volúmenes parciales que conforman el volumen total de la geometría.....	47
Fig. 2.5. Diagrama hidráulico básico.....	51
Fig. 2.6. Diagrama pictórico de áreas, presiones y fuerza.....	53
Fig. 2.7. Imagen de catálogo de bomba seleccionada, serie PGP 505, marca Parker. 61	
Fig. 2.8. Motor Eléctrico CEM3611T, 3HP, 1760RPM, 3PH, 60HZ, 182TC, 3632M, TEFC, F1.....	63
Fig. 2.9. Diagrama de tanque metálico para unidades de potencia hidráulica, serie 550, fabricante Parker [26].....	68
Fig. 2.10. Curvas de esfuerzo deformación esquemáticos.....	74
Fig. 2.11. Diagramas esquemáticos de estructura de prensa hidráulica: a) Diagrama de simbolización de nodos, vigas y columnas, b) Diagrama de cuerpo libre general.....	74
Fig. 2.12. Longitud de vigas a evaluar. Cotas en mm.....	76
Fig. 2.13. DCL de elemento 1.....	77
Fig. 2.14. Reacción de momentos para viga doblemente empotrada con una fuerza central [27].....	78
Fig. 2.15. DCL de elemento 2.....	79
Fig. 2.16. DCL de elemento 3.....	81
Fig. 2.17. DCL de elemento 4.....	82
Fig. 2.18. Cargas internas en la sección transversal del perfil estructural, elemento 1.....	85
Fig. 2.19. Cargas internas en la sección transversal del perfil estructural, elemento 4.....	88
Fig. 2.20. Esquema representativo de soldadura a tope.....	90
Fig. 2.21. Vista lateral del cordón de soldadura.....	92
Fig. 2.22. Vista lateral del área de soldadura.....	92
Fig. 2.23. Propiedades flexionantes para soldadura.....	94
Fig. 2.24. Dimensionamiento de la brida para cilindro. Cotas en mm.....	96
Fig. 2.25. Diagrama representativo para fijación de cilindro.....	97
Fig. 2.26. Circuito de control básico para envío de señales digitales a los actuadores.98	
Fig. 2.27. Programa de control de PLC.....	100
Fig. 2.28. Dibujo CAD de la prensa para sinterizado diseñada.....	101
Fig. 3.1. Representación esquemática de cálculo de cantidades de perfiles estructurales. Cotas en mm.....	105
Fig. 3.2. Representación esquemática de cálculo de cantidades de láminas de acero. Cotas en mm.....	106
Fig. 3.3. Dibujo explosionado de componentes internos de la prensa.....	108



	Pág.
Fig. 3.4. Detalle de ensamble de componentes rígidos en el interior y exterior de tanque. ....	109
Fig. 3.5. Vista de componentes internos indicando las mangueras hidráulicas a utilizar. ....	110
Fig. 3.6. Sistema de válvulas de direccionamiento. ....	111
Fig. 3.7. Representación esquemática de cálculo de cantidades de láminas de acrílico. Cotas en mm. ....	112
Fig. 3.8. Dibujo explosionado de componentes externos de la prensa. ....	114
Fig. 3.9. Diseño del Gabinete de control. ....	115
Fig. 3.10. Plano hidráulico. ....	116
Fig. 3.11. Tablero de control de prensa hidráulica de compactación de polvos metálicos para sinterizado. ....	123
Fig. 3.12. Representación esquemática de secuencia de compactación de polvo para sinterizado, Clase 1 y 3. ....	124

## LISTADO DE SÍMBOLOS Y SIGLAS

- $a_{ext}$ : Longitud de aristas externas perimetrales de sección transversal
- $a_{int}$ : Longitud de aristas internas perimetrales de sección transversal
- $A$ : Área de sección transversal
- $A_{comp}$ : Área de compactación que corresponde a la pieza a compactar
- $A_{comp,1}$ : Área de compactación para un filtro de 1/8 pulg NPT
- $A_{comp,2}$ : Área de compactación para un filtro de 1 pulg NPT
- $A_{pistón}$ : Área de pistón del cilindro hidráulico
- $A_{sold}$ : Área efectiva de soldeo
  - $c$ : Distancia desde el eje neutro hasta el punto de análisis
  - $c_x$ : Distancia desde el punto de aplicación en el eje x, hasta el centroide
  - $c_z$ : Distancia desde el punto de aplicación en el eje z, hasta el centroide
- $C_{aceite}$ : Capacidad calorífica del aceite hidráulico
- CAD: Diseño Asistido por Computadora (Computer Aided Design)
- CNC: Control Numérico Computarizado (Computer Numerical Control)
- $d_{m1}$ : Diámetro para línea de succión
- $d_{m2}$ : Diámetro para línea de presión
- $d_{m3}$ : Diámetro para línea de retorno
- $D_{pistón}$ : Diámetro de pistón del cilindro hidráulico
- $D_{vástago}$ : Diámetro de vástago del cilindro hidráulico
  - D1: Diámetro menor del cono truncado mayor de pieza sinterizada a fabricar
  - D2: Diámetro mayor del cono truncado mayor de pieza sinterizada a fabricar
  - D3: Diámetro menor del cono truncado menor de pieza sinterizada a fabricar
  - D4: Diámetro interior de la base de pieza sinterizada a fabricar, que coincide con el diámetro mayor del cono truncado menor
  - D5: Diámetro exterior de la base de pieza sinterizada a fabricar
- DCL: Diagrama de cuerpo libre
- $F_{comp,1}$ : Fuerza de compactación para un filtro de 1/8 pulg NPT
- $F_{comp,2}$ : Fuerza de compactación para un filtro de 1 pulg NPT
- $F_{comp}$ : Fuerza de compactación para el prensado
- $F_{crit}$ : Fuerza máxima que es capaz de entregar el cilindro hidráulico
- $g$ : Longitud de la garganta de la soldadura (la cual es la bisectriz del triángulo de soldadura, en su vista lateral)
- $h$ : Es el cateto adyacente del triángulo que forma la sección transversal de la soldadura
- $h_{manipulación}$ : Longitud (Altura) en donde se manipula el polvo metálico
  - h1: Altura de los conos truncados de pieza sinterizada a fabricar
  - h2: Altura total de pieza sinterizada a fabricar
  - $I$ : Momento de inercia de la superficie proyectada con relación al eje neutro
  - $I_u$ : Segundo momento inercial unitario
  - $I_z$ : Momento de inercia en dirección del eje z en el perfil
  - $I_y$ : Momento de inercia en dirección del eje y en el perfil

$l_{AB}$ : Longitud entre los nodos A y B (elemento 1)  
 $l_{CD}$ : Longitud entre los nodos C y D (elemento 2)  
 $L_T$ : Longitud del cordón de soldadura  
LED: Diodo emisor de luz (Light Emitting Diode)  
 $m_1$ : Masa total de pieza a fabricar de bronce sólido  
 $m_2$ : Masa final de pieza a fabricar, considerando la porosidad del material  
 $M$ : Momento flector con relación al eje neutro  
 $M_{A,z}$ : Reacción de momento en el nodo A en el eje z  
 $M_{B,z}$ : Reacción de momento en el nodo B en el eje z  
 $M_{C,x}$ : Reacción de momento en el nodo C, en dirección al eje x  
 $M_{C,x}'$ : Reacción de momento en el nodo C', en dirección al eje x  
 $M_{C,z}$ : Reacción de momento en el nodo C, en dirección al eje z  
 $M_{C,z}'$ : Reacción de momento en el nodo C', en dirección al eje z  
 $M_{D,x}$ : Reacción de momento en el nodo D, en dirección al eje x  
 $M_{D,z}$ : Reacción de momento en el nodo D, en dirección al eje z  
 $M_y$ : Momento actuando en dirección del eje y  
 $M_z$ : Momento actuando en dirección del eje z  
MIM: Moldeo por inyección de metales (Metal Injection Moulding)  
 $n$ : Factor de seguridad  
 $N_c$ : Potencia de disipación para el enfriador de aceite  
 $N_{motor}$ : Potencia que brinda el motor eléctrico  
 $N_{neta}$ : Potencia neta demandada por cada puerto de la bomba  
 $N_{total}$ : Potencia total demandada por cada puerto de la bomba  
NPSHR: Cabeza positiva de succión neta (Net Positive Suction Head)  
 $P$ : Fuerza resultante de fuerzas compresoras  
 $P_{comp}$ : Presión de compactación requerida para prensar una pieza  
PIM: Moldeo por inyección de polvos (Powder Injection Moulding)  
PLC: Controlador Lógico Programable (Programmable Logic Controller)  
SAW: Soldadura de Arco con electrodo revestido (Shielded Metal Arc Welding)  
 $Q$ : Caudal  
 $R_A$ : Reacción de fuerza en el nodo A  
 $R_B$ : Reacción de fuerza en el nodo B  
 $R_C$ : Reacción de fuerza en el nodo C  
 $R_C'$ : Reacción de fuerza en el nodo C'  
 $R_D$ : Reacción de fuerza en el nodo D  
 $R_E$ : Reacción de fuerza en el nodo E  
 $R_S$ : Reacción ejercida por el piso a la estructura  
 $S_{cilindro}$ : Carrera del cilindro hidráulico  
 $S_{máx}$ : Esfuerzo a carga máxima para un material  
 $S_y$ : Es el esfuerzo de fluencia  
 $t_{ciclo}$ : Tiempo total en que la prensa cumple un ciclo de trabajo  
 $t_{ext}$ : Tiempo de extensión del cilindro hidráulico  
 $t_{ret}$ : Tiempo de retracción del cilindro hidráulico  
 $T_C$ : Fuerza de tensión en el nodo C  
 $T_E$ : Fuerza de tensión en el nodo E  
 $\dot{V}$ : Caudal teórico que utiliza el cilindro hidráulico en operación  
 $\dot{V}_{bomba}$ : Caudal real que brinda cada puerto de la bomba  
 $V_{desp}$ : Desplazamiento de cada cuerpo de la bomba

- $V_{diseño-tanque}$ : Volumen de aceite ideal que debe tener el tanque hidráulico
- $V_{ext}$ : Volumen dentro del cilindro que corresponde al llenado de la recámara durante la extensión del vástago
- $V_{final}$ : Volumen final tras la compactación de la pieza a fabricar, considerando la contracción térmica que tendrá durante el sinterizado
- $V_{ret}$ : Volumen dentro del cilindro que corresponde al llenado de la recámara durante la retracción del vástago
- $V_{total}$ : Volumen total de pieza sinterizada a fabricar
- $V_1$ : Volumen correspondiente al cono truncado de mayor tamaño, de filtro sinterizado
- $V_2$ : Volumen conformado por cono truncado interno de menor tamaño, correspondiente a filtro sinterizado
- $V_3$ : Volumen de cilindro hueco de filtro sinterizado que posee como base
- $W$ : Peso de las vigas y componentes en diferentes nodos del elemento 4
- $W_1$ : Peso total en el nodo C
- $W_2$ : Peso total en el nodo G
- $W_3$ : Peso total en el nodo C'
- $W_4$ : Peso total en el nodo K
- $W_{cilindro}$ : Peso del cilindro hidráulico
- $W_{componentes}$ : Suma del peso de componentes ubicados en prensa (válvulas, manifolds, etc.)
- $W_{ele 1}$ : Peso del elemento 1
- $W_{ele 2}$ : Peso del elemento 2
- $W_{ele 3}$ : Peso del elemento 3
- $W_{ele 4}$ : Peso del elemento 4
- $W_{ele}$ : Peso de elemento a soportar en la prensa
- $W_{plancha}$ : Peso de plancha metálica
- $\bar{x}$ : Distancia perpendicular desde el punto de análisis hasta el eje x en soldadura
- x: Cociente de amortiguamiento viscoso
- $\bar{y}$ : Distancia perpendicular desde el punto de análisis hasta el eje y en soldadura
- y: Distancia perpendicular desde el punto de análisis hasta el eje neutro
- z: Distancia perpendicular desde el punto de análisis hasta el eje neutro
- $\rho_{aceite}$ : Densidad del aceite hidráulico utilizado
- $\rho_{bronce poroso}$ : Densidad que posee una pieza altamente porosa de bronce fabricada a través del sinterizado
- $\rho_{bronce}$ : Densidad natural de bronce
- $\sigma_{M,y}$ : Esfuerzo normal debido a momento flector respecto al eje y
- $\sigma_{M,x}$ : Esfuerzo normal debido a momento flector respecto al eje x
- $\sigma_M$ : Esfuerzo normal debido a momento flector
- $\sigma_{P,y}$ : Esfuerzo normal provocado por la fuerza axial P de compresión
- $\sigma_x$ : Es el esfuerzo resultante debido al momento flector en dos ejes
- $\tau$ : Esfuerzo cortante en soldadura
- $\tau''$ : Esfuerzo cortante por flexión en soldadura
- $\tau'$ : Esfuerzo cortante primario en soldadura
- $\tau_x$ : Esfuerzo cortante de sección transversal respecto al eje x
- $\omega$ : Rapidez angular del motor
- $\Delta T$ : Diferencia o delta de temperatura

- 3D: Modelaje Tri-Dimensional (3D, three dimensional)
- $\% \rho_{prom}$ : Porcentaje de densidad promedio del bronce poroso
- %Disminución: Porcentaje de disminución de volumen tras el proceso de sinterizado
- $\sum F_y$ : Sumatoria de fuerzas en el eje y
- $\sum M_{C,z}$ : Sumatoria de momentos en el nodo C en dirección al eje z

## INTRODUCCIÓN

La industria metalmeccánica tiene entre sus prioridades optimizar los recursos minerales, los cuales son cada vez más escasos, y para ser competitiva tienen que desarrollar nuevas técnicas de fabricación de componentes mecánicos, que no sólo sean más eficientes sino más económicas.

La propuesta de un diseño de una prensa hidráulica para compactación de polvo metálico en el sinterizado para la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería y Arquitectura de la Universidad de El Salvador, está dirigida a su posible construcción. En dicha escuela se cuenta con una gran variedad de maquinaria para procesos de fabricación convencionales, sin embargo no se dispone de equipo directamente relacionado al proceso de sinterizado. Dicho equipo permitiría desarrollar conocimientos más profundos en el área pulvimetalúrgica a partir de experiencias prácticas.

Por ello se desarrolla una propuesta de diseño de una prensa hidráulica con dos actuadores de doble efecto colocados en sentidos opuestos para obtener piezas compactadas de polvos metálicos en verde de geometría ligeramente complejas. Este diseño permite la visualización del proceso de compactado de manera segura, consolidando los conceptos teóricos adquiridos en las clases teóricas.

Este diseño propone la reproductibilidad en la compactación y geometría de los componentes mecánicos pulvimetalúrgicos a fabricar para poderlos caracterizar apropiadamente, y que permita obtener la menor dispersión de las propiedades mecánicas, influenciadas por distribución de presión no uniforme en el caso de moldes compuestos, con el fin de realizar investigaciones relacionadas con el proceso de compactación de los polvos metálicos para sinterizado.

Para poder sustentar los objetivos y planteamientos antes descritos, es necesario realizar una investigación bibliográfica relacionada a los antecedentes históricos del proceso de sinterizado, el cual a través de la historia, fue utilizado por civilizaciones antiguas quienes fueron capaces de desarrollar los principios básicos que ahora en tiempos modernos han sido tecnificados mediante el

avance de la industria y metalúrgica física. Es por ello, que es importante reconocer sus aplicaciones y el interés que dicho proceso suscita en la actualidad.

En la investigación bibliográfica se reconocen las diferentes etapas que conforman al proceso de sinterizado, las cuales consisten en las técnicas de obtención de los polvos metálicos, el mezclado o combinación, la compactación y el tratamiento térmico de sinterizado; cada etapa influye de distintas maneras en las propiedades mecánicas finales de los componentes fabricados, como por ejemplo las técnicas de obtención de polvos metálicos o cerámicos influyen en el tamaño y forma de las partículas resultantes. Una vez obtenido los polvos se debe hacer una mezcla o combinación, cuyo fin es obtener una materia prima homogénea con propiedades mecánicas mejoradas. La etapa posterior es la compactación cuya finalidad es entregar una pieza en verde, con la resistencia suficiente para ser manipulada y con una densidad homogénea, esto se logra controlando las presiones de compactado, para finalmente ser llevada al tratamiento térmico de sinterizado, en el cual se unen los polvos metálicos mediante microsoldadura, reduciendo así los espacios intersticiales de los mismos.

Los productos sinterizados por su amplia gama de utilización se pueden clasificar por su porosidad, por la complejidad de su geometría, por la exigencia en sus requisitos de fabricación, por las propiedades combinadas de sus aleaciones, por las propiedades superiores y exclusivas de la pulvimetalurgia y por sus ventajas económicas.

Para el diseño de la prensa hidráulica se identificaron los diferentes tipos de prensas y sus funcionamientos para seleccionar el diseño que se adecuara a las necesidades del proceso de sinterizado.

El diseño de la prensa para el sinterizado parte del análisis de las variables implicadas en el diseño, y su efecto en las propiedades y características finales deseadas en el producto. Es decir, en el producto acabado se desean ciertas dimensiones y geometrías, así como también determinada densidad y resistencia. Para obtener estos requisitos de producto, se establece la relación

entre estos y las variables de diseño las cuales deberán ser controladas mediante la automatización del proceso.

Al evaluar un producto modelo a fabricar, según su aplicación se determina la densidad y resistencia necesaria que este debe alcanzar, así como también sus dimensiones y geometría. Se puede calcular la cantidad de polvo a depositar para la fabricación de la pieza a través del volumen y la densidad de la pieza. A su vez, la resistencia que se obtendrá en la pieza depende de la presión hidráulica de trabajo y del área de compactación del cilindro. Es importante mencionar que el límite crítico de la presión hidráulica se determina por la capacidad de los actuadores, accesorios, y válvulas del sistema. Otro punto importante es la complejidad de la geometría de la pieza, la cual determina la cantidad y posición de los actuadores necesarios a utilizar, así como también la carrera de estos, la cual será controlada por medio de señales de sensores de posición y válvulas de direccionamiento.

Los criterios antes mencionados son la clave para la selección de componentes y fabricación de piezas, que completan el diseño funcional de la prensa hidráulica. Entre los componentes de más relevancia seleccionados se tiene la bomba de engranajes doble que posee un puerto de salida para cada actuador el superior e inferior, el motor eléctrico, los actuadores de doble efecto y electroválvulas. Además, de estos se incluyen componentes auxiliares como el sistema de baja velocidad que facilita observar con más detalle el proceso de compactado. Otro análisis fundamental que se realiza es el de la transmisión de fuerzas y momentos que sufre la armadura de la prensa, que ayuda a determinar su resistencia con el factor de seguridad adecuado para su operación.

Para complementar el diseño se abordan la factibilidad técnica y costos de fabricación, donde se detallan todos los componentes y e insumos para su realización; y a su vez se presentan manuales de fabricación, operación y mantenimiento.



## **1. MARCO TEÓRICO**

En este apartado se describen los conceptos básicos del proceso de sinterizado y se plasma un recorrido histórico sobre la evolución de este campo. Se presentan además cada una de sus etapas de proceso y los tipos de productos que es posible fabricar con esta tecnología. Finalmente estos conceptos son aplicados detalladamente en el proceso de compactación, con la razón de diseñar una prensa hidráulica a través de consideraciones necesarias.

### **1.1. GENERALIDADES**

La metalurgia de polvos metálicos se define como el conjunto de técnicas orientadas a la fabricación de productos por medio de polvo de metal y cerámicos, a través de diferentes métodos. A continuación, se hablará sobre cómo la metalurgia de polvos metálicos (también llamada pulvimetalurgia) se ha visto influenciada a través de la historia; además, cómo ésta ha continuado desarrollándose a lo largo del tiempo. En la Fig. 1.1 se presenta una línea de tiempo que resume dichos acontecimientos históricos que han sido importantes para el desarrollo de la metalurgia de polvos metálicos.

La técnica y conjunto de métodos de pulvimetalurgia se remontan a civilizaciones tan antiguas como las incas y egipcias desde los años 3000 a.C, así los egipcios para fabricar utensilios de hierro y los Incas para fabricar joyería mediante la fusión de polvos de oro [1].

Otro ejemplo asombroso de la antigüedad es la columna de hierro de Dheli de la India, la cual data del período comprendido entre 320 al 600 d.C., con unas extraordinarias dimensiones de 7.3 m de alto y un peso de ~65 kN (6.5 T), ésta se considera no solamente una joya por los historiadores y antropólogos sino también por los estudiosos pulvimetalúrgicos que afirman sobre su notable resistencia a la corrosión y analizan desde 1912, su composición química [2].

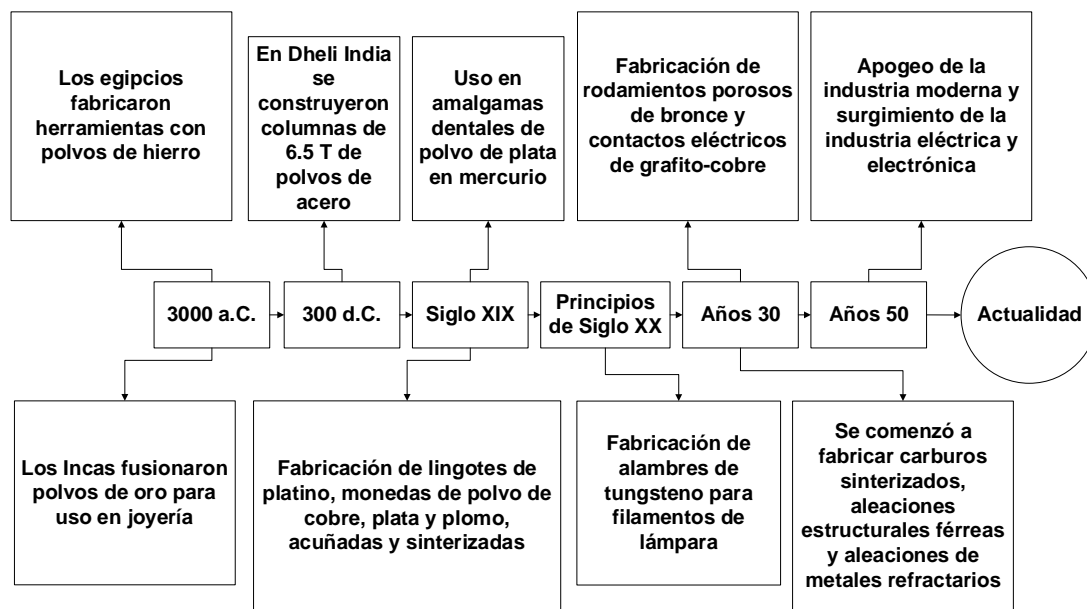


Fig. 1.1. Línea de tiempo sobre la metalurgia de polvos metálicos.

Inicialmente se utilizó la pulvimetalurgia para obtener piezas de aquellos metales difíciles de fundir debido a sus elevados puntos de fusión. La primera aplicación directa de ella parece haber sido la fabricación de lingotes de platino en el siglo XIX, al mismo tiempo se fabricaron monedas de polvos de cobre, plata y plomo, acuñadas y sinterizadas [3].

En 1855 Townsend empezó a utilizar amalgamas dentales (fabricadas de polvos de plata en mercurio). Aunque no fue hasta principios de siglo XX que el ingeniero y físico William David Coolidge, trabajando como investigador en la General Electric, encontró una de sus aplicaciones más extendidas, la fabricación de alambres de tungsteno para filamentos de lámparas, más adelante emplearía estos mismos filamentos en la fabricación de tubos de rayos X con una mejora en el cátodo [4].

Luego, en 1920 comenzaron a aparecer aplicaciones mecánicas como lo son bronces porosos autolubricantes, para la industria automotriz. Aunque uno de los grandes avances se dio en 1923, en la fabricación de tungsteno aglomerado con cobalto, formando las primeras aleaciones de carburo comercializadas desde 1930 por Krupp, bajo el nombre de *Widia*, de gran utilidad

como herramienta de corte. El acero sinterizado apareció hasta 1936, el cual se extendió rápidamente, cobrando importancia en la industria [3].

Asimismo, surgieron aplicaciones en otras ramas de la industria, como los contactos eléctricos grafito-cobre, imanes alnico (Al, N, Co, entre otros), y otras aleaciones metálicas y refractarios con materiales menos comunes (Nb, W, Mo, Zr, Ti y Re) [5].

Posteriormente en los años 70 se inició la producción de aleaciones especiales, compactación isostática en caliente, aceros para herramientas sinterizadas [5].

En un principio la pulvimetalurgia fue adoptada por su característica de economía, aunque más temprano que tarde se comenzó a asociar el proceso a cualidades tales como el mejoramiento de la calidad, homogeneidad, productividad, eficiencia energética, y versatilidad [5].

Las superaleaciones de alta temperatura base níquel, las superaleaciones base aluminio para aeronaves y compuestos de aluminio con expansión térmica controlada, son solo algunos de los ejemplos de esta evolución, permitiendo no sólo la fabricación más económica, sino también con composiciones controladas química y estructuralmente, lo que brinda grandes oportunidades para el futuro [5].

Desde 1980 a la actualidad se vienen desarrollando técnicas de solidificación rápida y tecnologías de moldeo por inyección de piezas muy pequeñas y complejas empleadas en la electrónica y en la medicina [5].

El Moldeo por inyección de polvos (PIM, Powder Injection Moulding) y su variante aplicada a los metales como el Moldeo por inyección de metales (MIM, Metal Injection Moulding) constituye una tecnología de conformado de materiales desarrollada en los años veinte. En las últimas décadas se ha experimentado un gran avance en este campo. Se fabrican, vía MIM, componentes para la industria médica, militar, aeroespacial, telecomunicaciones, automoción, entre otras, con formas complejas, de propiedades mecánicas elevadas y con acabados casi finales. Se estima que el crecimiento anual de esta tecnología es superior al 50% [6].

El moldeo por inyección se utiliza de forma general para la producción de piezas de plástico, aunque para conseguir piezas de materiales metálicos o cerámicos es necesario obtener previamente mezclas de estos polvos con polímeros, normalmente termoplásticos y posteriormente pasar a la etapa de inyección como si se tratara de un plástico. Después del proceso de obtención de la pieza se procede a la eliminación del aglomerante polimérico y posteriormente a la sinterización [6].

Un conjunto de tecnologías que en gran medida favorece al proceso iterativo en el desarrollo de productos, es la producción rápida de prototipos, la cual se comenzó a desarrollar a mediados de la década de 1980, ésta presentó una serie de ventajas, entre las cuales se tienen modelos físicos a partir de archivos de datos de Diseño Asistido por Computadora (CAD, Computer Aided Design) de rápido modelamiento los cuales se realizan con gran eficiencia de manufactura y diseño; además, se pueden fabricar desde prototipos sin acabados finales, como también productos acabados, que sirven para herramientas, repuestos, ingeniería inversa de productos y componentes, entre otros [7].

La producción rápida de prototipos puede ser realizada por medio de polvos metálicos a través de tres distintos procesos los cuales son la manufactura mediante partículas balísticas, la impresión tridimensional y el sinterizado láser selectivo. De dichos procesos, solamente los dos últimos pueden ser utilizados para la metalurgia, mediante el uso de materiales como cerámicos y polvos metálicos. El proceso de impresión tridimensional se basa en deposición de gotas de aglutinantes en capas consecutivas de polvo, estas gotas forman la sección transversal de la pieza por medio de equipos Control Numérico Computarizado (CNC, Computer Numerical Control) programados desde archivos CAD diseñados en distintos programas de modelaje Tri-Dimensional (3D, three dimensional); posteriormente, se agregan capas de polvo sobre el aglutinante y esto se repite hasta completar la totalidad de la pieza; por último, esta pieza en verde es sacudida, limpiada y puesta en un horno de sinterizado para la micro soldadura de las partículas que fueron unidas. Del mismo modo, en el sinterizado

láser selectivo se utilizan equipos CNC y programas de modelaje 3D, aunque en lugar de utilizar aglutinantes se emplea un láser de alta intensidad que directamente fusiona las partículas de polvo hasta formar la totalidad de la pieza sin necesidad de procesos de sinterizado posterior como lo es por ejemplo la puesta al horno [7].

Es entonces que la pulvimetalurgia de polvos metálicos se presenta como uno de los métodos metalúrgicos más antiguos y a la vez más novedoso en la industria y civilización humana, permitiendo grandes avances en pro de una industria más sostenible y amigable.

## **1.2. INTERÉS SUSCITADO POR EL SINTERIZADO DE POLVOS METÁLICOS EN LA ACTUALIDAD**

Se presenta una recopilación bibliográfica con relación al sinterizado de polvos metálicos, la cual por medio de diferentes motores de búsqueda y herramientas de análisis estadístico por tendencias de búsqueda pretende revelar la cantidad de información relacionada al tema, en cuanto a profundidad y tipo de contenido, así como el interés que el mismo ha suscitado en los últimos años.

Se comparan distintos términos clave en el motor de búsqueda de Google Trends, y en Google Académico.

- Sinterizado (presenta 16,000 resultados de búsqueda);
- Pulvimetalurgia (Presenta 1,430 resultados de búsqueda);
- Sintered (668,000 resultados de búsqueda); y
- Metalurgia de polvos (Presenta 9,580 resultados de búsqueda).

De los cuales se arrojan que los términos clave mencionados, tienen un promedio de búsquedas en el período comprendido desde enero del 2004 hasta enero de 2022, como se presenta a continuación (ver Fig. 1.2): Sinterizado 5% (curva azul), pulvimetalurgia 2% (curva rojo), sintered (curva amarillo) 39% y

metalurgia de polvos 1% (curva verde). Así, dicho interés presenta una tendencia decreciente en función del período descrito.

El interés es una relación entre el valor máximo de búsquedas de un término clave de una región y período de tiempo determinado con respecto a las búsquedas totales, puntuando el indicador desde 0 hasta 100. Donde 100 indica una popularidad máxima respecto de otras regiones y períodos [8].

Se puede entender entonces que en los últimos años ha disminuido el interés general en el proceso de sinterizado de polvos metálicos (descrito por medio de cuatro de sus términos clave más comunes), aunque bien el interés puede estar centrado en tecnologías y productos particulares que son resultados del mismo proceso, que se encuentran como términos clave relacionados (hace referencia a búsquedas frecuentes que se relacionan a la temática de los términos clave mencionados).

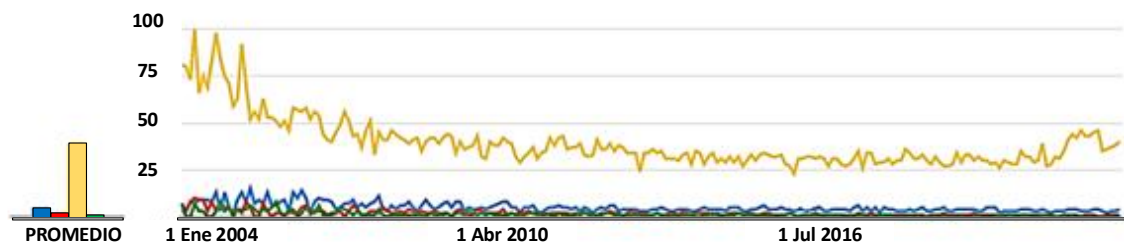


Fig. 1.2. Interés a lo largo del tiempo sobre términos clave [8].

La Fig. 1.3 representa el porcentaje de interés de un término durante el período especificado. Los valores se calculan en una escala del 0 al 100%, en la que 100% corresponde a la ubicación más popular sobre el total de búsquedas que se realizaron, 50% es la ubicación con la mitad de popularidad, y 0 indica que no se obtuvieron datos suficientes en dicha región [8].

Resumiendo, en la Fig. 1.3 se presenta que el termino sinterizado causo mayor interés en países como España y México, con un interés de 100 y 95%, respectivamente; pulvimetalurgia causo mayor interés en países como Colombia y Perú, con un interés de 100 y 99%, respectivamente; sintered causó mayor interés en países como Singapur y Corea del Sur con 100 y 50%,

respectivamente; y metalurgia de polvos causó un interés mayor en países como México y El Salvador de 100 y el 15%, respectivamente.

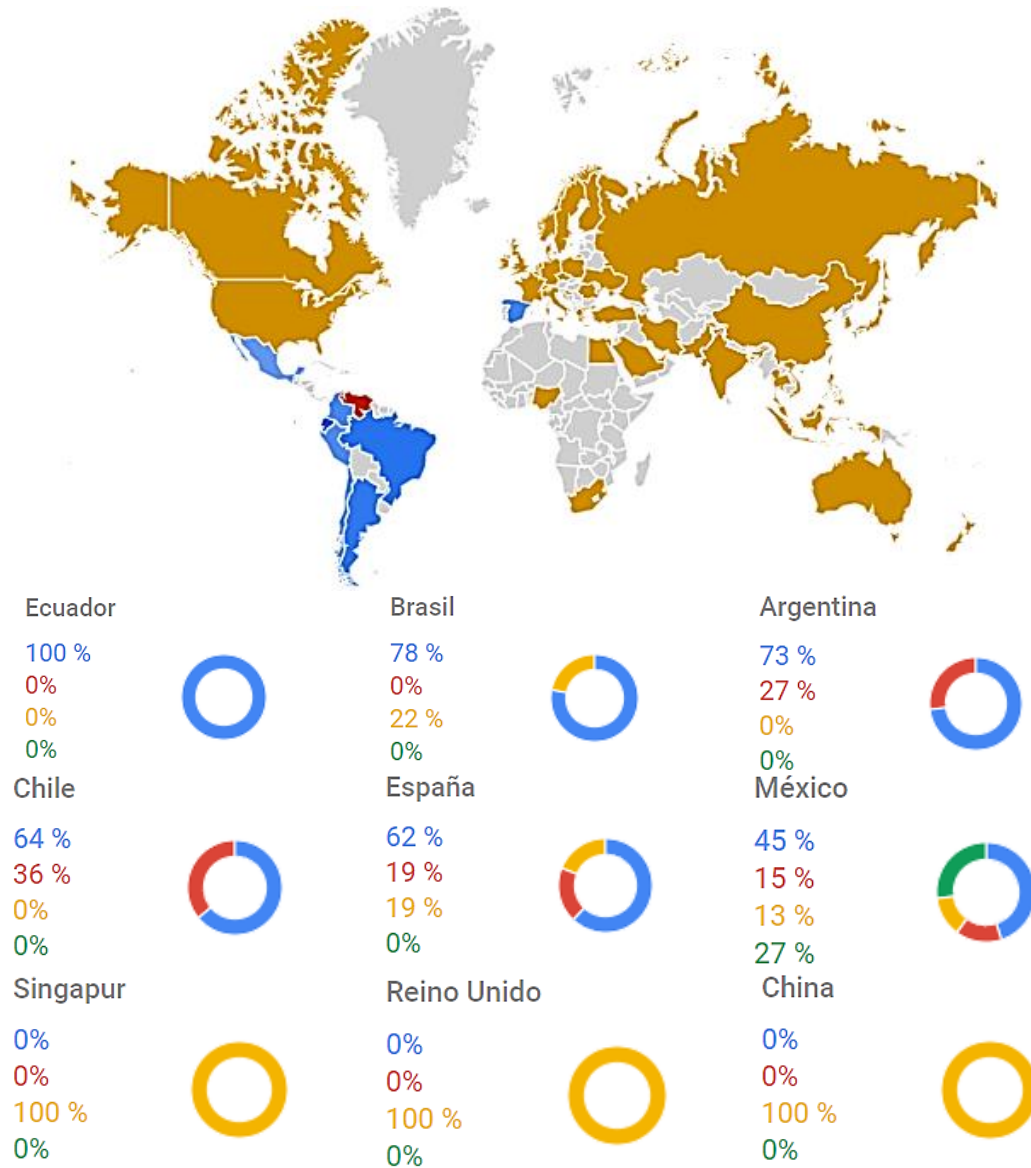


Fig. 1.3. Distribución de interés por regiones en el mundo de términos clave [8].

También se pueden relacionar con términos claves cómo:

- Metalurgia de polvos (procesos, aplicaciones, características, propiedades, entre otros);
- Sinterizado (selectivo con láser, de materiales, de cerámicos, por chispa, de zirconio, proceso, de bronce, de filtros, de vidrio, entre otros);

- Sintered (Stone, brake pads, stone countertops, metal, stone vs quartz, glass filter, meaning, bronze, stone dining table, products pvt ltd, entre otros); y
- Pulvimetalurgia (rossi, proceso, ventajas, características, entre otros).

De lo anterior descrito se puede entender que, en El Salvador, comparado con otros países de la región, el interés en temáticas relacionadas al sinterizado de polvos metálicos pese a no ser nulo, es bastante bajo, esto se puede deber a que este sólo se trate más como una temática de interés académico, más no de tecnología difundida en el país.

### **1.3. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE FABRICACIÓN DEL SINTERIZADO DE MATERIALES**

La metalurgia de polvos se encarga de la fabricación de piezas por medio de la compactación de polvos de distintas composiciones (especialmente de composición metálica), los cuales, al recibir un tratamiento térmico, se propicia la fusión de estos a través de micro soldaduras [9].

Este proceso permite compactar materiales, los cuales por métodos convenciones son difíciles de alear. Algunos de estos materiales son el hierro, cobre, estaño, grafito, níquel, tungsteno, titanio, cobalto, tántalo y molibdeno [9].

Un proceso pulvimetalúrgico consta normalmente de cinco etapas fundamentales, las cuales son la obtención de los polvos, mezclado, compactación, sinterizado (tratamiento térmico) y según requerimiento se puede agregar la etapa de acabado superficial o afilado. En la Fig. 1.4 se presenta el diagrama de un proceso pulvimetalúrgico [10].

Prácticamente cualquier metal se puede reducir a la forma de polvo. Hay tres métodos principales para producir comercialmente polvos metálicos, cada uno de los cuales implica consumo de energía para incrementar el área superficial del metal. Estos métodos se conocen como atomización, químicos y electrolíticos. Ocasionalmente se usan métodos mecánicos para reducir el



tamaño de los polvos; sin embargo, estos métodos se asocian más comúnmente con la producción de polvos cerámicos [11].

Después de la producción de polvos metálicos, la secuencia convencional de la metalurgia de polvos consiste en tres pasos, los cuales son combinación y mezclado de los polvos, compactación, en la cual se prensan los polvos para obtener la forma deseada; y sinterizado, que implica calentamiento a una temperatura por debajo del punto de fusión para provocar la unión de las partículas en estado sólido y el fortalecimiento de la parte. Estos tres pasos que algunas veces se sugieren como operaciones primarias de la metalurgia de polvos se presenta en Fig. 1.4. En ocasiones también se ejecutan operaciones secundarias destinadas a mejorar la precisión dimensional, incrementar la densidad y otros propósitos [10].

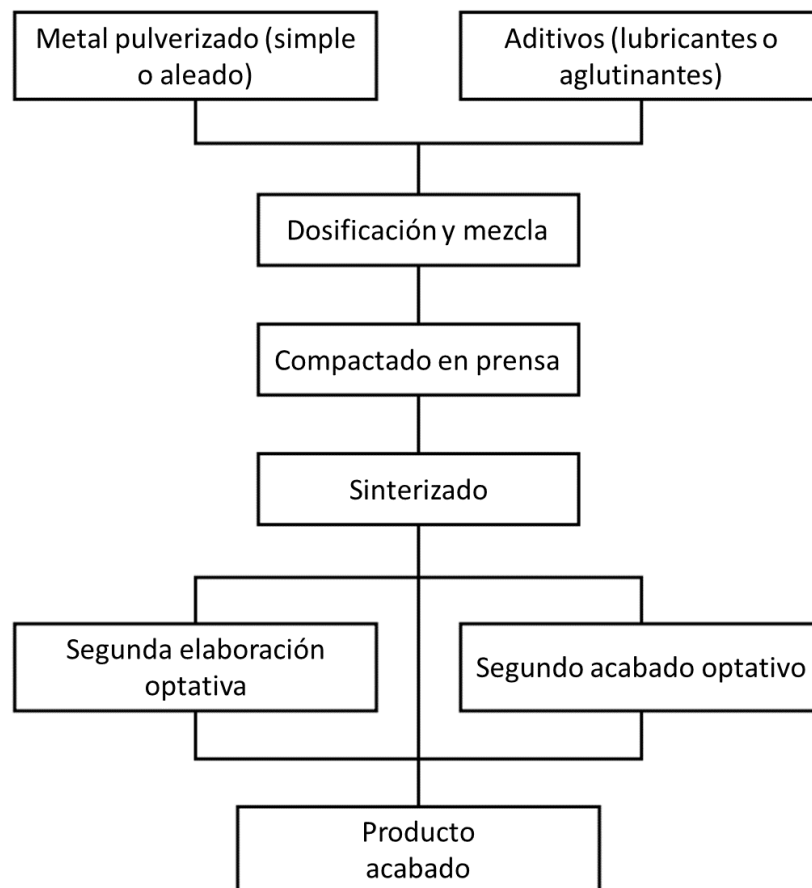


Fig. 1.4. Esquema de un proceso pulvimetalúrgico [10].

En la Fig. 1.5 se presenta la secuencia después de la obtención de los polvos para su procesamiento en productos. Así, en la Fig. 1.5a se presenta el mezclado de los polvos, en este instante una vista a la microestructura indica partículas sueltas homogéneamente distribuidas y la concentración de sus componentes individuales de acuerdo a la necesidad y propiedades deseadas, sin ningún tipo de unión. Luego, en la Fig. 1.5b se presenta la compactación por medio de métodos físicos de diferente naturaleza, aunque en esencia utilizando los mismos dispositivos (dados, punzones y matrices) que contienen y ejercen fuerzas que cohesionan a las partículas, la microestructura presenta reducción de espacios intersticiales y presencia de deformación en dichas partículas cohesionadas, unión sumamente débil, la cual se puede fortalecer por medio de aglutinantes. Finalmente, en la Fig. 1.5c se presenta el tratamiento térmico a temperatura inferior a la temperatura de fusión de los componentes, la microestructura representa micro soldaduras entre las superficies en contacto de las partículas compactadas, a mayor compactación mayor superficie fusionada entre partículas, menor espacio intersticial y tendrá uniones extremadamente fuertes [11].

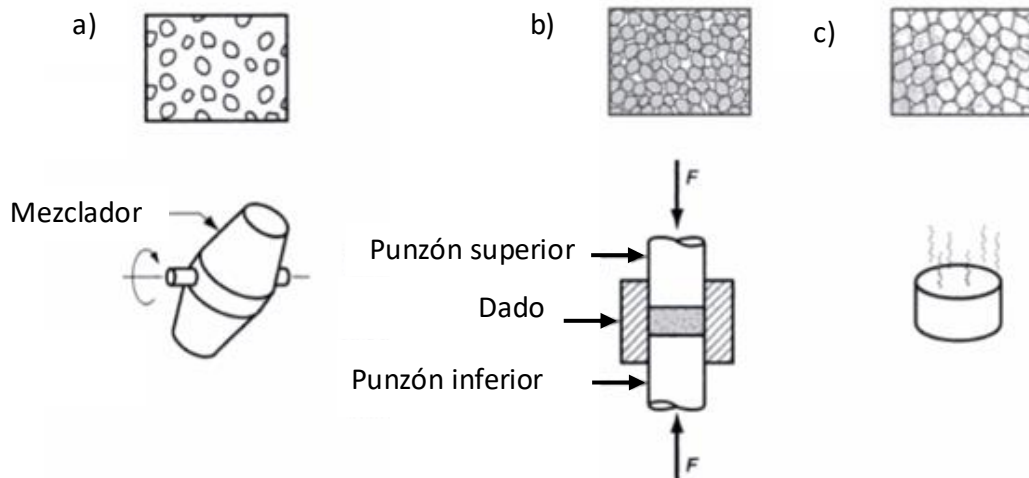


Fig. 1.5. Secuencia convencional de producción en metalurgia de polvos: a) Mezclado; b) Compactación; y c) Sinterizado [11].

Al describir de forma amplia las etapas presentadas en la Fig. 1.5 se tiene:

#### A) Obtención de polvos.-

La obtención de los polvos se puede realizar por medio de una gran variedad de procedimientos, los cuales dotarán a las partículas de diferentes cualidades físicas, desde partículas regulares a geométricas, hasta aciculares e irregulares, así como las dimensiones de las mismas. Los métodos para obtener estos polvos son:

- a) Atomización: La atomización se realiza vertiendo metal líquido (fundido) por un pequeño agujero y exponiéndolo a un chorro de fluido, dicha corriente se divide con chorros de gas inerte o de aire (ver Fig. 1.6a) o agua (ver Fig. 1.6b), lo que se conoce como atomización por gas y por agua, respectivamente. El tamaño y la forma de las partículas formadas depende de la temperatura del metal fundido, la rapidez del flujo, el tamaño de la boquilla y las características del chorro. El agua produce un lodo de polvo metálico y líquido en el fondo de la cámara de atomización. Aunque es necesario que los polvos se sequen antes de utilizarlos, el agua permite que las partículas se enfríen más rápido y, por lo tanto, permite velocidades de producción más elevadas. En general, la atomización por gas produce más partículas esféricas (ver Fig. 1.4c). En la atomización centrífuga, la corriente de metal fundido cae rápidamente sobre un disco o copa giratoria, de manera que las fuerzas centrífugas dividen la corriente de metal fundido y generan partículas (ver Fig. 1.6c). En una variación de este método, se gira con rapidez un electrodo consumible (a casi 15,000 rev/min) dentro de una cámara llena de helio (ver Fig. 1.6d), así la fuerza centrífuga divide la punta fundida del electrodo en partículas [7];
- b) Reducción: La reducción de óxidos metálicos (es decir, la eliminación de oxígeno) utiliza gases, entre ellos el hidrógeno y el monóxido de carbono, como agentes reductores. Por este medio, óxidos metálicos muy finos son reducidos al estado metálico. Los polvos producidos son esponjosos, porosos y tienen formas esféricas o angulares de tamaño uniforme [7];
- c) Deposición electrolítica: La deposición electrolítica utiliza soluciones acuosas o sales fundidas. Los polvos producidos se encuentran entre los más puros existentes [7];

- d) Carbonilos: Los carbonilos metálicos, como el carbonilo de hierro ( $\text{Fe}(\text{CO})_5$ ) y el carbonilo de níquel ( $\text{Ni}(\text{CO})_4$ ), se forman al dejar que el hierro o el níquel reaccionen con el monóxido de carbono. Después, los productos de la reacción se descomponen en hierro y níquel y se convierten en partículas pequeñas, densas, de alta pureza, con esfericidad uniforme [7]; y
- e) Trituración o pulverización: Como se presenta en la Fig. 1.7 la trituración mecánica (pulverización) comprende la fragmentación de metales frágiles o dúctiles en pequeñas partículas por medio de rodillos, molinos de bola o molino con martillo. Un molino de rodillos (ver Fig. 1.7a), trata de dos cilindros con sentido de giro opuesto, que reduce la materia prima en pequeñas porciones por arrastre, el molino de bolas (ver Fig. 1.7b) es una máquina con un cilindro hueco giratorio que se llena parcialmente con bolas de acero o de fundición blanca, entre las cuales se coloca la materia prima, que por contacto constante con las bolas sólidas y las paredes del recipiente giratorio, se fragmentan en porciones, hasta que se vuelve polvo en determinado tiempo y el molino con martillos (ver Fig. 1.7c) se encarga de triturar por abrasión a la materia prima desgastándola y golpeándola contra las paredes y los martillos, hasta que éstas tengan el tamaño suficiente para pasar por los orificios de las paredes mismas. En el caso de los materiales frágiles, las partículas de polvo producidas tienen formas angulares; si los metales son dúctiles tienen forma de hojuela y no son particularmente adecuadas para aplicaciones en metalurgia de polvos [7].

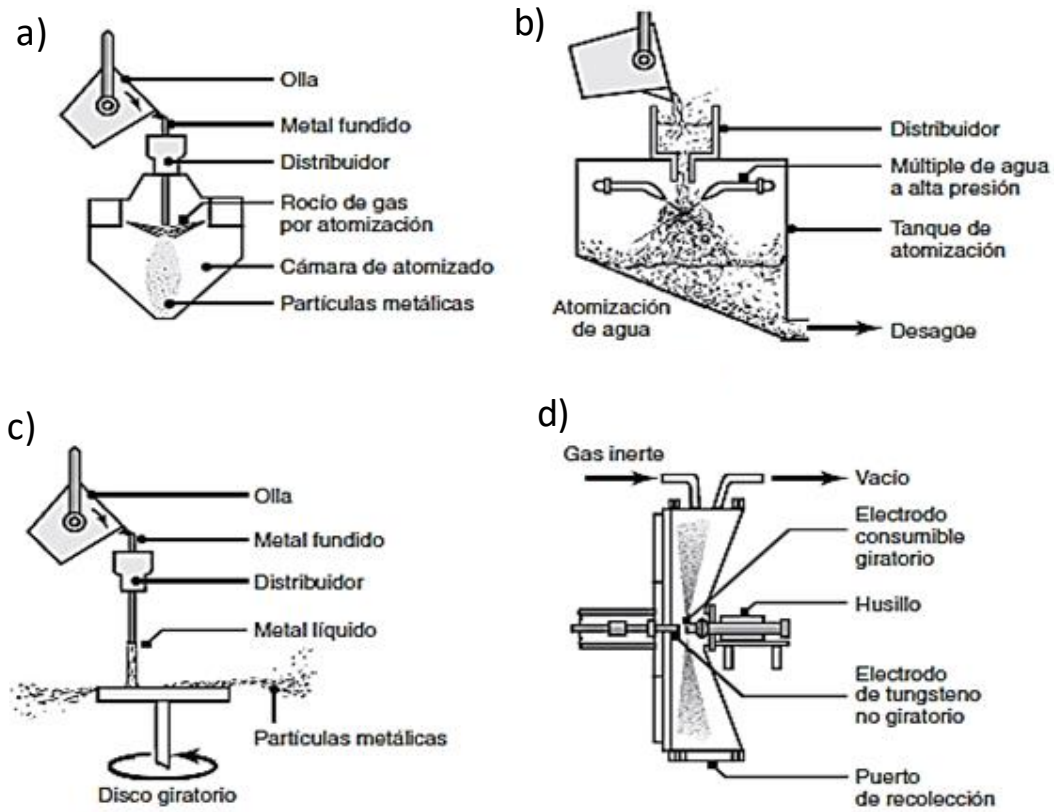


Fig. 1.6. Métodos de producción de polvos metálicos por atomización [7].

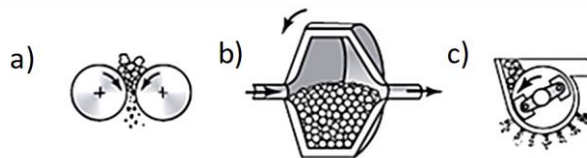


Fig. 1.7. Métodos de trituración mecánica para obtener partículas finas [7].

## B) Mezclado y combinación de polvos.-

Para lograr buenos resultados en la compactación y el sinterizado, los polvos metálicos se necesitan homogenizar perfectamente antes del proceso, de modo que se mantengan cualidades y composiciones uniformes en todo el volumen de la mezcla [11].

Sin embargo, antes de la mezcla y combinación de polvos, se realiza un recocido a baja temperatura, en el cual, a los polvos se les retira por

calentamiento los óxidos y la humedad presentes por transporte y almacenamiento [9].

El mezclado y la combinación de polvos consiste en:

- a) El mezclado: se refiere a la mezcla de polvos de la misma composición química, aunque posiblemente con diferentes tamaños de partícula [11]; y
- b) La combinación: se refiere a la mezcla de polvos de diferente composición química [11].

La importancia de esta etapa es la oportunidad de combinar varios metales en aleaciones que serían difíciles o imposibles producir por otros medios. La distinción entre mezclado y combinación no siempre es precisa en la práctica industrial [11].

El mezclado y la combinación se realizan por medios mecánicos, entre los cuales se pueden citar: por rotación en tambor (ver Fig. 1.8a), por rotación en un recipiente de cono doble (ver Fig. 1.8b), por agitación en un mezclador de tornillo (ver Fig. 1.8c) y por agitación en un mezclador de paletas (ver Fig. 1.8d) [11].

Los mejores resultados se obtienen cuando se llenan entre un 20% y 40% de los recipientes, estos se diseñan generalmente con baffles internos y otras formas para impedir la caída libre durante el mezclado de polvos de diferentes tamaños, debido a que en las variaciones de la velocidad de asentamiento de los diferentes tamaños genera segregación, precisamente lo contrario de lo que se busca con el mezclado. No es conveniente que los polvos se sometan a vibración, ya que esto también produce segregación [11].

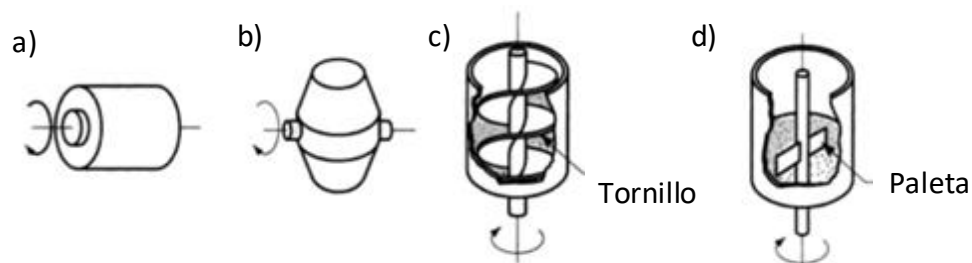


Fig. 1.8. Diferentes tipos de dispositivos de mezclado y combinación [11].

Generalmente se añaden otros ingredientes a los polvos metálicos durante el paso de mezclado o combinación. Estos aditivos son [11]:

- a) Lubricantes: como el estearato de zinc y el aluminio en pequeñas cantidades para reducir la fricción entre las partículas y en las paredes del dado durante la compactación;
- b) Aglutinantes: que se requieren en algunos casos para lograr una resistencia adecuada en las partes prensadas, aunque no sinterizadas; y
- c) Desfloculantes: que inhiben la aglomeración de los polvos para mejorar sus características de flujo durante la alimentación.

#### C) Compactación.-

Uno de los pasos más críticos en el proceso pulvimetalúrgico es la compactación, debido a que, del grado de compactación de la materia prima y la disposición geométrica de los dados y punzones, como de su secuencia, previamente mezclada, se alcanzan las propiedades y características mecánicas deseadas finalmente [12].

El polvo usado como materia prima es comprimido a una forma conocida como compactado en verde, generalmente a temperatura ambiente. La alta densidad del producto y la uniformidad de esa densidad a través del compactado son generalmente características que se buscan alcanzar. Además, el entrelazado mecánico y la soldadura en frío de las partículas deberían proporcionar suficiente resistencia en verde para la manipulación durante el proceso, y para el transporte al horno de sinterizado [12].

La mayor parte de la compactación se realiza con prensas mecánicas y con herramientas rígidas, aunque también se pueden usar prensas hidráulicas y prensas híbridas (combinaciones de mecánica, hidráulica y neumática) con herramientas o dados removibles [12].

Los juegos de dados removibles permiten diferentes configuraciones geométricas, ajustables de acuerdo con la necesidad; mientras que los dados fijos no pueden ser ajustados o modificados, aunque sí permiten trabajar diferentes piezas en simultáneo. Las presiones de compactación generalmente

oscilan entre 46 MPa y 1.85 GPa (entre ~3 y 120 T/pulg<sup>2</sup>), según el material y la aplicación, esto se especifica en la Tabla 1.1 [12].

La mayoría de las prensas pulvimetalúrgicas tienen una capacidad total de prensado menor a 1 MN (~100 T) en áreas iguales o menores a 65 cm<sup>2</sup> (~10 pulg<sup>2</sup>), aunque cada vez se fabrican prensas de mayor capacidad debido a que cuanto mayor sea el tonelaje de las prensas, mayor será el área de compactación alcanzable. Actualmente algunas prensas en la pulvimetalurgia tienen capacidades de hasta 30 MN (~3,000 T) y son capaces de comprimir áreas de hasta 650 cm<sup>2</sup> (~100 pulg<sup>2</sup>). Cuando se desean productos aún más grandes, la compactación se puede realizar a través de métodos dinámicos (onda de choque inducida por explosión), procesos de formación de metales (laminado, forjado, extrusión y estampado) [12].

Tabla 1.1. Presiones de compactación típicas para diversas aplicaciones [12].

Aplicaciones	Presiones de compactación	
	T/pulg <sup>2</sup>	MPa
Metales porosos y filtros	3-5	40-70
Metales refractarios y carburos	5-15	70-200
Bujes porosos	10-25	146-350
Piezas de máquinas (hierro y acero de densidad media)	20-30	275-690
Piezas de cobre y aluminio de alta densidad	18-20	250-275
Piezas de hierro y acero de alta densidad	50-120	690-1650

- Etapas representativas en la compactación de polvos del sinterizado.-

En la Fig. 1.9 se presenta la secuencia típica de compactación de una prensa de sinterizado, la cual consta de 6 etapas [12]:

- Inicio de ciclo: mientras el punzón superior se encuentra en su límite superior, la zapata de alimentación deposita el polvo sobre la cavidad del dado (dicha zapata de alimentación es un contenedor invertido lleno de polvo, conectado a un contenedor de polvo grande a través de un tubo de alimentación flexible);



- b) Llenado del dado con polvo o recarga: Con la zapata de alimentación en posición, el punzón inferior desciende a una profundidad determinada para el llenado;
- c) Inicio de compactación: La zapata de alimentación se retrae, nivelando con sus bordes el polvo que se encuentra en la superficie del dado, luego el punzón superior comienza a descender y comprime el polvo al penetrar el dado;
- d) Compactación completa: El punzón superior termina su carrera en su límite inferior, mientras que el punzón inferior mantiene su posición, formando la geometría final de la pieza;
- e) Eyección: El punzón superior se retrae y el punzón inferior se eleva para expulsar la pieza compactada o en verde; y
- f) Recarga o expulsión: A medida que la zapata comienza el ciclo nuevamente, su cara frontal empuja al producto compactado que se encuentra sobre la prensa, expulsando la pieza, de modo que termina un ciclo y comienza otro.

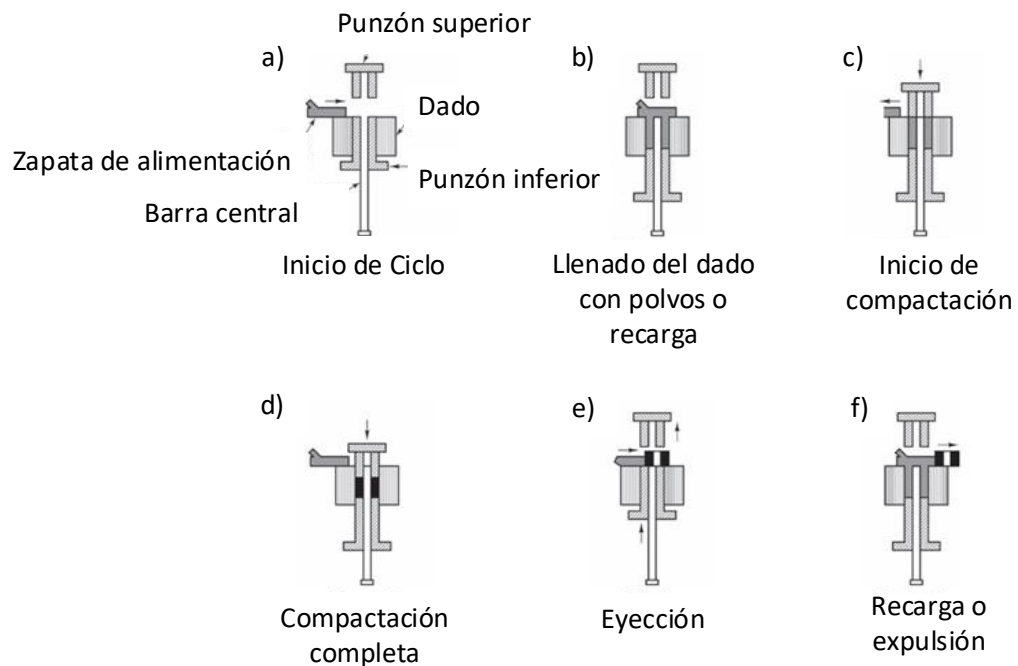


Fig. 1.9. Secuencia de compactación de una prensa mecánica en piezas de un sólo nivel [12].

- Diferentes configuraciones de elementos en la compactación de polvos.-

Durante la compactación uniaxial o unidireccional, las partículas de polvo se mueven principalmente en la dirección de la fuerza aplicada. Debido a que las dimensiones esparcidas son de dos a dos veces y media de las dimensiones compactadas, la cantidad de desplazamiento de las partículas en la dirección del prensado puede ser significativa. La cantidad del desplazamiento lateral, no obstante, es muy poca. De hecho, es raro encontrar una partícula en el producto compactado que se haya desplazado más de tres diámetros de partícula, fuera de su eje original durante el prensado. Por lo tanto, el polvo no fluye como un líquido, sino que simplemente se comprime hasta que se crea una fuerza igual y opuesta. Esta fuerza opuesta es probablemente una combinación de [12]:

- a) La resistencia del punzón inferior; y
- b) La fricción entre las superficies de las partículas y el dado.

La densificación se produce por el movimiento de las partículas, así como por la deformación plástica de las partículas individuales. Como se presenta en la Fig. 1.10a, cuando la presión se aplica por un sólo punzón, la densidad máxima se produce debajo del punzón y disminuye a medida se desciende por la columna. Es muy difícil transmitir presiones uniformes y producir una densidad uniforme a través de todo el compactado, especialmente cuando el espesor es grande [12].

Mediante el uso de una prensa de doble acción, donde los movimientos de compactación ocurren desde arriba y desde abajo (tal como se presenta en la Fig. 1.10b), los productos más gruesos se pueden compactar a una densidad más uniforme, debido a que la fricción de las paredes laterales es un factor clave en la compactación, la densidad resultante presenta una fuerte dependencia tanto del espesor como también del ancho de la pieza que se comprime. Para una compactación uniforme, la relación entre espesor y ancho se debe mantener por debajo de 2 siempre que sea posible. Cuando la relación excede el valor de 2, los productos tienden a presentar variaciones considerables en la densidad [12].



Fig. 1.10. Compactado de polvos con uno y dos émbolos.

Como se presenta en la Fig. 1.11, la densidad promedio del compactado depende de la cantidad de presión que se aplica, y la respuesta específica depende en gran medida de las características del polvo que se comprime (su tamaño, forma, textura superficial, propiedades mecánicas, entre otras). La densidad final se puede expresar, ya sea, como una densidad absoluta en unidades como gramos por centímetro cúbico, o como un porcentaje de la densidad libre de poros o teórica. La diferencia entre este porcentaje y 100% corresponde a la cantidad de espacio vacío que queda dentro del compactado [12].

La presión que se aplica a los polvos sueltos inicialmente en la compactación produce un reempacado de los polvos a un arreglo más eficiente, lo que reduce el espacio de los poros e incrementa el número de puntos de contacto entre las partículas. Al incrementar la presión, las partículas se deforman plásticamente, ocasionando que el área de contacto interparticular aumente y entren en contacto partículas adicionales. Esto viene acompañado de una reducción posterior del volumen de los poros. La progresión del prensado se presenta en la Fig. 1.12 para partículas iniciales de forma esférica. También se presenta la densidad asociada, representada para las tres vistas como una función de la presión aplicada [11].

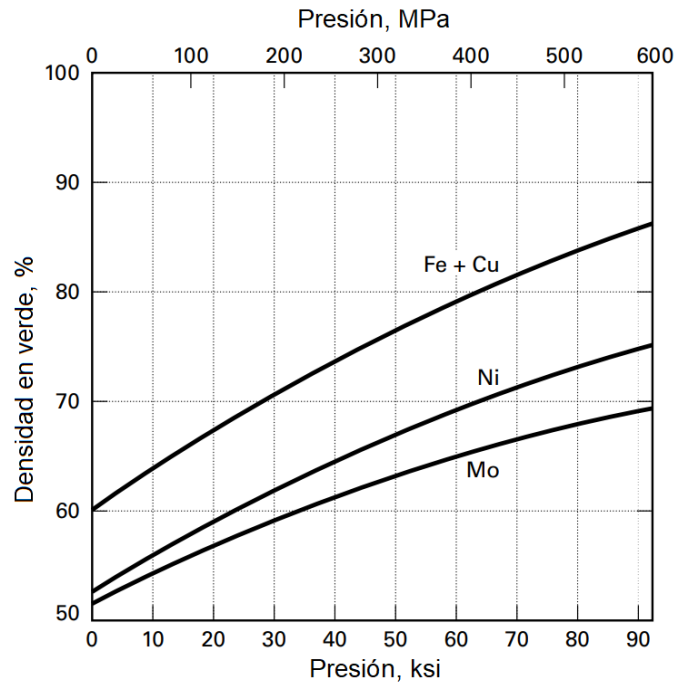


Fig. 1.11. Efecto de la presión de compactación sobre la densidad en verde. Las curvas separadas son para distintos polvos comerciales [12].

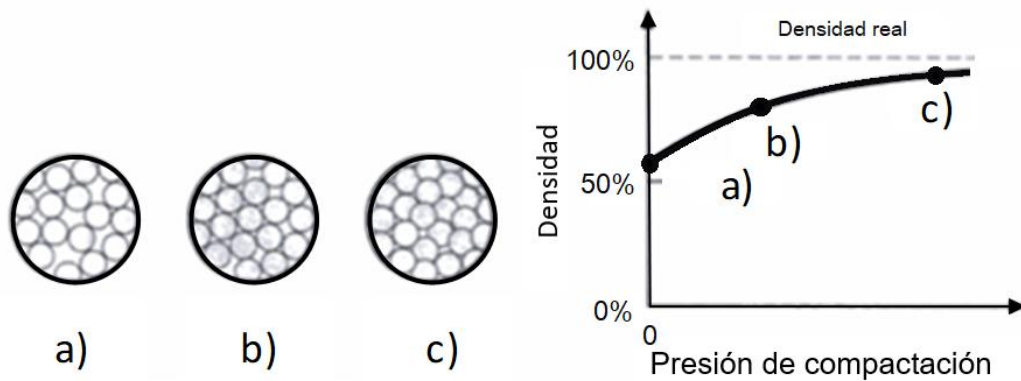


Fig. 1.12. Representación gráfica de la presión aplicada en la densidad del compactado, mediante diagramas microestructurales: a) Polvos sueltos iniciales después del llenado; b) reempacado; y c) deformación de las partículas [11].

En la Fig. 1.13 se presenta cómo al emplear un sólo punzón se producirán diferentes grados de compactación para diferentes espesores de polvo. Por lo tanto, es imposible que un sólo punzón produzca una densidad uniforme en una pieza de varios espesores. Cuando se requiere más de un espesor, se deben

utilizar prensas o métodos de compactación más complejos. En la Fig. 1.14 se presenta dos métodos para compactar una pieza de doble espesor. Es posible fabricar un producto con densidad uniforme al proporcionar diferentes cantidades de movimiento a los distintos punzones y sincronizar estos movimientos para proporcionar una compactación simultánea, [12].

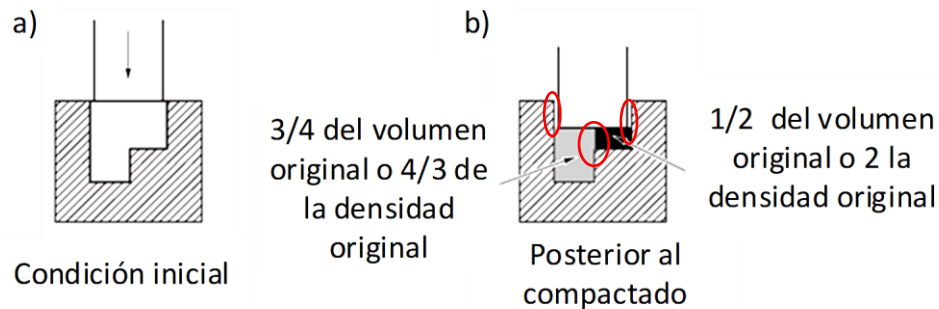


Fig. 1.13. Compactación de una pieza de dos espesores con un sólo punzón móvil: a) Condiciones iniciales; b) después de la compactación por el punzón superior. Se nota la diferencia drástica en la densidad compactada [12].

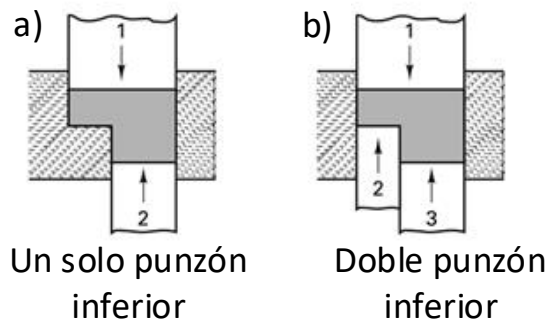


Fig. 1.14. Dos métodos para compactar una pieza de doble espesor hasta una densidad casi uniforme. Ambos involucran el movimiento controlado de dos o más punzones [12].

Debido a que la complejidad de la pieza determina la complejidad del equipo, los componentes pulvimetalúrgicos se han agrupados en clases. Los componentes de la clase 1 son los más simples y fáciles de compactar. Estos son piezas delgadas, de un sólo nivel, que se pueden compactar con una fuerza desde una dirección y su grosor es generalmente menor que 6.35 mm (0.25

pulgadas). Las piezas de la clase 2 son piezas de un sólo nivel de cualquier espesor que requieren prensado desde dos direcciones; estas piezas son usualmente de gran espesor. Las piezas de la clase 3 son piezas de dos niveles que requieren prensado desde dos direcciones. Las piezas más complejas fabricadas a través de un dado rígido son las piezas de la clase 4; estas son de múltiples niveles y requieren 2 o más movimientos de prensado. Estas 4 clases se resumen en la Tabla 1.2 y en la Fig. 1.15. Nótese en la Fig. 1.15 la mayor complejidad de prensado que se requeriría a medida aumenta el número de clase [12].

Tabla 1.2. Características que definen las distintas clases de piezas pulvimetalúrgicas de prensado y sinterizado [12].

Clase	Niveles	Acción de prensado
1	1	Simple
2	1	Doble
3	2	Doble
4	Más de 2	Doble o múltiple

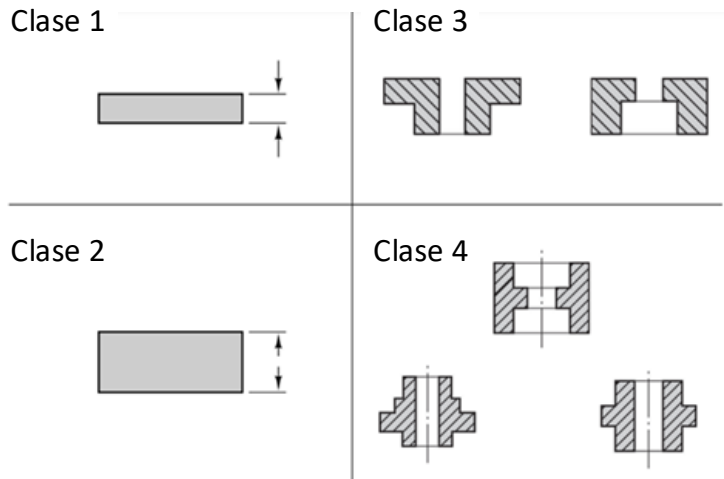


Fig. 1.15. Ejemplos de geometrías que corresponden a las cuatro clases básicas de piezas pulvimetalúrgicas prensadas y sinterizadas [12].

La compactación también se puede mejorar al aumentar la cantidad de lubricante en el polvo. Esto reduce la fricción entre el polvo y las paredes del dado, mejorando la transmisión de presión a través del polvo, y haciendo más fácil eyectar el compactado del dado. Sin embargo, si se utiliza mucho lubricante,

la resistencia en verde se puede reducir hasta el punto en que sea insuficiente para eyectar y manipular la pieza, o las propiedades finales se pueden volver inaceptables [12].

Debido a que las partículas de polvo tienden a ser de alguna forma abrasivas, y también debido a las altas presiones que se involucran en la compactación, se tiene como resultado el desgaste de los componentes de la herramienta. Por ello, las herramientas de compactación son usualmente hechas de acero para herramientas endurecido. Para polvos particularmente abrasivos, o para altos volúmenes de producción, se pueden emplear carburos cementados. Las superficies de los dados deben ser altamente pulidas y los dados deben ser lo suficientemente pesados para soportar las altas presiones de compactado. También se utilizan lubricantes para reducir el desgaste de dados [12].

Toneladas (T), kilo Newton (kN) o Mega Newton (MN) son generalmente las medidas con las que se representa la capacidad de una prensa para producción en pulvimetalurgia. La fuerza requerida para el prensado depende del área proyectada de la pieza (área en el plano horizontal para una prensa vertical) multiplicada por la presión necesaria para compactar los polvos del metal. Esta expresión se presenta en la Ec. 1.1, así [11]:

$$F_{comp} = (P_{comp})(A_{comp}), \quad (1.1)$$

donde:  $F_{comp}$  es la fuerza requerida en N (lb),

$A_{comp}$  es el área proyectada de la parte en  $\text{mm}^2$  ( $\text{pulg}^2$ ), y

$P_{comp}$  es la presión de compactación requerida para prensar una pieza MPa.

Las presiones típicas de compactación fluctúan entre, 70 MPa (10,000 lb/pulg<sup>2</sup>) para polvos de aluminio y 700 MPa (100,000 lb/pulg<sup>2</sup>) para polvos de hierro y acero [11].

De esta forma se establecen los fundamentos básicos en la etapa de compactación de polvos, estas consideraciones son especialmente útiles para identificar correctamente el proceso a seguir y las razones de ser de cada uno de

estos elementos en dicho proceso; como por ejemplo, la importancia de la presión para obtener mayores densidades, los diferentes métodos para favorecer densidades uniformes, la influencia de la densidad en la resistencia mecánica final, así como elementos adicionales como aglutinantes o lubricantes que favorecen al proceso.

#### D. Sinterizado.-

Una vez completada la etapa de compactación se obtienen piezas en verde, las cuales carecen de resistencia mecánica, lo que implica que se pueden desmoronar fácilmente. Posteriormente a la etapa de compactación, se lleva a cabo la etapa de sinterizado, esta es una operación de tratamiento térmico que se ejecuta sobre el compactado en verde para unir sus partículas metálicas, incrementando de esta manera su fuerza y resistencia. El tratamiento se lleva a cabo generalmente a temperaturas entre el 70% y 90% del punto de fusión del metal (en la escala absoluta). El término sinterizado en estado sólido o sinterizado en fase sólida se usa algunas veces para referirse a este sinterizado convencional debido a que el metal permanece sin fundir a la temperatura del tratamiento [11].

De acuerdo con los investigadores, la fuerza básica que mueve al sinterizado es la reducción de la energía superficial. El compactado verde consiste en muchas partículas distintas que tienen su propia superficie, por lo tanto, la superficie total del área contenida en el compactado es muy alta. Bajo la influencia del calor, el área se reduce por la formación y crecimiento de las uniones entre las partículas, esto implica la reducción de la energía superficial. Mientras más fino sea el polvo inicial, más alta será la superficie del área total y más grande la fuerza que mueve al proceso [11].

Las microestructuras de la Fig. 1.16 presentan los cambios que ocurren durante el sinterizado de los polvos metálicos. Inicialmente, la unión de las partículas inicia en los puntos de contacto, luego, los puntos de contacto crecen hasta que se convierten en cuellos. Posteriormente, los poros entre las partículas reducen su tamaño para finalmente desarrollar límites de grano entre las partículas, en las regiones donde había cuellos. De esta forma, el sinterizado



implica transporte de masa para crear los cuellos y transformarlos en límites de grano. El principal mecanismo para que esto ocurra es la difusión; otro posible mecanismo es el flujo plástico. La contracción ocurre durante el sinterizado como resultado de la reducción del tamaño de los poros. Esto depende en gran medida de la densidad del compacto verde, y ésta a su vez de la presión durante la compactación. Cuando las condiciones del procesamiento se controlan estrechamente, la contracción generalmente es predecible [11].

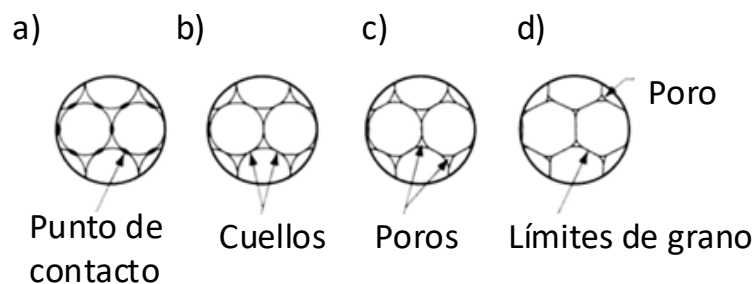


Fig. 1.16. Microestructura del sinterizado: a) Puntos de contacto; b) cuellos se desarrollan donde previamente estaban los puntos de contacto; c) los poros entre las partículas reducen su tamaño; y d) se desarrollan límites de grano [11].

Dado que las aplicaciones de la pulvimetalurgia involucran generalmente producciones medianas o altas, la mayoría de los hornos de sinterizado se diseñan con dispositivos mecanizados para el traslado de las partes de trabajo durante el proceso. El tratamiento térmico consiste en tres pasos realizados en tres cámaras de hornos continuos [11]:

- Precalentado: En el cual se queman los lubricantes y el aglutinante;
- Sinterizado; y
- Enfriado.

El tratamiento de sinterizado se presenta en la Fig. 1.17. Además, en la Tabla 1.3 se presenta las temperaturas típicas y los tiempos de sinterizado para algunos metales seleccionados. La pieza en verde usualmente se calienta hasta los 4/5 de la temperatura de fusión [11].

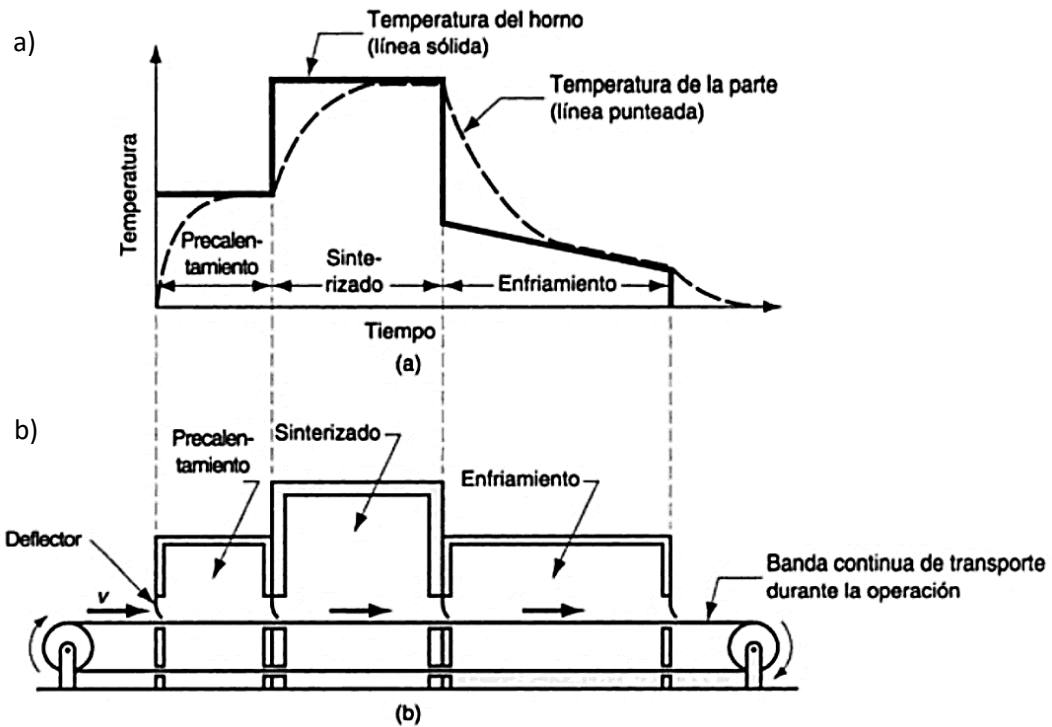


Fig. 1.17. Tratamiento de sinterizado: a) Ciclo típico de tratamiento térmico durante el sinterizado; y b) sección transversal esquemática de un horno continuo de sinterizado [11].

Tabla 1.3. Temperaturas típicas y tiempos de sinterizado para polvos de metales seleccionados [11].

Temperaturas de sinterizado			
Metal	°F	°C	Tiempo, min
Latón	1600	850	25
Bronce	1500	820	15
Cobre	1600	850	25
Hierro	2000	1100	30
Acero inoxidable	2200	1200	45
Tungsteno	4200	2300	480

En la práctica moderna del sinterizado se controla la atmósfera del horno, los propósitos de la atmósfera controlada son [11]:

- a) Proteger de la oxidación;
- b) Proporcionar una atmósfera reductora para remover los óxidos existentes;
- c) Suministrar una atmósfera carburizadora; y

- d) Ayudar a la remoción de los lubricantes y aglutinantes que se usan en el prensado.

Las atmósferas de los hornos de sinterizado comunes son de gas inerte, a base de nitrógeno, amoniaco disociado, hidrógeno o a base de gas natural. Las atmósferas al vacío se usan para ciertos metales como los aceros inoxidable y el tungsteno [11].

De lo antes mencionado se pueden destacar los pasos implicados en la etapa de sinterizado, los cuales son los encargados de proporcionar las propiedades terminadas a las piezas en verde que se reciben desde la compactación de los polvos, estos pasos van desde eliminar elementos complementarios como aglutinantes y lubricantes, hasta proteger de oxidación, proporcionar atmósferas reductoras de óxidos y suministro de atmósfera carburante.

#### **1.4. TIPOS DE PRODUCTOS**

Los productos comúnmente producidos por pulvimetalurgia se pueden clasificar, generalmente, en seis grupos.

- a) De acuerdo con su porosidad: Las partículas de polvo sueltas sólo se tocan en unos pocos puntos, de forma que la cohesión entre ellas es muy pequeña. Por efecto de altas presiones (40 a 80 kN/cm<sup>2</sup>) se aumenta la superficie de contacto entre las partículas de polvo, y con ello su cohesión. Calentando las piezas prensadas hasta las proximidades de la temperatura de fusión, aparece una fluencia plástica. En los límites de los granos de polvo, los átomos de la substancia se desplazan y forman nuevos granos. La formación de estos granos se realiza en diferentes direcciones, reduciendo los poros que existen. Las partículas se bloquean y forman una textura de sinterización aproximadamente igual a 1/7 del volumen primitivo. De esta forma las fuerzas de adherencia entre las partículas son totalmente efectivas, la pieza se ha vuelto sólida y dura. Las propiedades de los componentes del polvo se

pueden mejorar en conjunto; así, por ejemplo, la resistencia al calor del tungsteno, la resistencia del titanio, la resistencia a los ácidos del cobre o del níquel, o la dureza del molibdeno. Una característica importante de los cuerpos sinterizados es el volumen de poros existente después del sinterizado. Dicho volumen depende de la compresión y se puede clasificar porcentualmente de la manera que se refleja en la Tabla 1.4 [9];

Tabla 1.4. Índices de componentes de aleaciones [9].

Clase	% de volumen de poros	Ejemplos de aplicaciones
SINT – A	Hasta 60%	Filtros
SINT – B	Hasta 30%	Cojinetes de fricción, forros
SINT – C	Hasta 20%	Piezas de forma para máquinas coser y oficina
SINT – D	Hasta 15%	Piezas para maquinas (cementables, soldables)
SINT – E	Hasta 10%	Piezas para relés (resistencia elevada)
SINT – F	Hasta 7%	Segmentos dentados, cremalleras, contactos
Las cifras según la clase, por ejemplo, SINT-B 30 son los índices de los componentes de la aleación.		

- b) De acuerdo con la complejidad de su geometría: Debido a la precisión dimensional y el acabado superficial fino que son característicos de los procesos pulvimetalúrgicos, muchas partes no requieren posterior procesamiento, y otras requieren sólo una pequeña cantidad de acabado o maquinado. Las tolerancias se pueden generalmente mantener dentro de 0.1 mm (0.005 pulg). Gran cantidad de engranajes pequeños son actualmente fabricados a través de procesos pulvimetalúrgicos. Otras formas complejas, como trinquetes, levas, y pequeñas palancas de activación, se pueden fabricar de forma bastante económica [10];
- c) De acuerdo con la exigencia en sus requisitos de fabricación: Algunos productos fabricados de materiales que son difíciles de maquinar o materiales con altos puntos de fusión fueron de los primeros usos modernos de la pulvimetalurgia, siendo en la producción de filamentos de lámparas de tungsteno, así como en herramientas de corte de carburo de tungsteno [10];

- d) De acuerdo con las propiedades combinadas de sus aleaciones: La pulvimetalurgia permite combinar dos o más metales y no metales, siendo esta capacidad única del proceso de pulvimetalurgia, la cual se aplica a una serie de productos donde se buscan estas prestaciones únicas. En la industria eléctrica, el cobre y el grafito son frecuentemente combinados en aplicaciones como escobillas de motores o generadores, donde el cobre proporciona la capacidad de transmitir corriente y el grafito proporciona lubricación. Los rodamientos se han fabricado con grafito combinado con hierro o cobre o con mezclas de dos metales, como el estaño y el cobre, donde el material más duro proporciona resistencia al desgaste y el material más blando se deforma de manera que distribuye mejor la carga. Los contactos eléctricos frecuentemente combinan cobre o plata con tungsteno, níquel o molibdeno, aquí, el cobre o la plata proporcionan alta conductividad, mientras que el material con alta temperatura de fusión proporciona la resistencia a la fusión cuando los contactos experimentan formación de arco y el cierre posterior [10];
- e) De acuerdo con las propiedades superiores y exclusivas de la pulvimetalurgia: El desarrollo de procesos que producen densidad completa ha resultado en productos de pulvimetalurgia que son claramente superiores a aquellos producidos por técnicas competitivas. En áreas de importancia crítica, como aplicaciones aeroespaciales y el costo adicional de procesamiento puede ser justificado por la mejora de propiedades. Algunos de los grados premium de acero para herramientas son productos de pulvimetalurgia de densidad completa. Como otro ejemplo, se puede considerar la producción de imanes pulvimetalúrgicos donde se puede usar un campo magnético para alinear partículas antes del sinterizado, resultando en un producto con una densidad de flujo extremadamente alta [12]; y
- f) De acuerdo con sus ventajas económicas: La metalurgia de polvos puede resultar en el método más económico para fabricar una pieza, a comparación de otros métodos. Esto puede ser debido a una serie de ventajas, entre las cuales se encuentran la reducción o eliminación del maquinado, la alta tasa

de producción, la amplia variedad de composiciones que es posible fabricar, la amplia variedad de propiedades disponibles, la producción de piezas con forma compleja y la capacidad de eliminar o reducir el residuo [12].

### **1.5. CONSIDERACIONES DURANTE EL DISEÑO DEL UTILLAJE PARA COMPACTACIÓN DE POLVOS**

El diseño de utillaje representa en sí mismo un área extensa en el estudio de la compactación de polvos metálicos, por lo que solamente se describirá de forma breve los siguientes puntos que pueden dar una primera pista de los problemas que conlleva el diseño del utillaje para la compactación de polvos, así [13]:

- Todas las partes del interior de la matriz se deben rellenar con la cantidad exacta de polvos;
- La densidad del compacto debe ser lo más homogénea posible;
- En todas las zonas del interior de la matriz, la densificación de los polvos se debe producir de forma simultánea, con el fin de asegurar una unión suficiente entre las partes adyacentes. Se debe tener en consideración que, durante la densificación, los polvos fluyen con mayor dificultad en las direcciones laterales;
- El compacto se debe retirar del utillaje de compactación sin sufrir daños;
- Todos los movimientos de los componentes del utillaje se deben controlar adecuadamente y repetidos con suficiente precisión;
- El utillaje debe tener los menos punzones posibles;
- Durante todo el ciclo de compactación, los punzones jamás deben interferir con la matriz, ni con el eje central, ni entre ellos;
- Todas las partes del utillaje deben resistir la carga ejercida sobre ellos durante el ciclo de compactación. Deben tener la máxima resistencia al desgaste y vida útil posible;

- Todas las funciones del utillaje se deben adaptar adecuadamente a las funciones disponibles en la prensa de compactación;
- Para reducir los tiempos de establecimiento al mínimo, el diseño del utillaje deberá facilitar el ensamblaje y la instalación en la prensa;
- Para que las paradas de producción sean lo más cortas posibles, las piezas del utillaje gastadas se deben poder reemplazar de la forma más sencilla posible; y
- Los costes de fabricación del utillaje deben ser razonables en relación con su expectativa de vida y con el número total de piezas que serán.

## **1.6. MAQUINARIA EMPLEADA EN LA COMPACTACIÓN DE POLVOS**

En el apartado anterior se describieron las diferentes etapas necesarias para la obtención de piezas sinterizadas, entre las cuales se describía el proceso de compactación de polvos, dicho proceso depende de propiedades tales como la densidad y la presión, las cuales juegan un rol importante en la porosidad y resistencia final de las piezas, y de estas dependerán las características del equipo de compactación, llamado prensa.

Las prensas son máquinas que aplican presión a una pieza de trabajo para cambiar su forma. Sus inicios datan del siglo XVI, en el acuñado de monedas (ver Fig. 1.18), se realizaba colocando el cospel (el equivalente antiguo de un molde de grabado de relieve) sobre un cuño o matriz, enclavado en un yunque. Poniendo encima el otro cuño; se aplicaba un golpe violento de maza o martillo, lográndose grabar las monedas, simultáneamente por las dos caras [14].



Fig. 1.18. Prensa para acuñado de moneda con balancín [14].

Con el pasar de los años se fueron presentando nuevos prototipos de prensas, con diferentes capacidades y diseños, hasta los que se conocen como se presenta en la Fig. 1.19. Estas distintas máquinas son utilizadas para una variedad de procesos de fabricación como troquelado, forjado y estampado de varios materiales en una amplia gama de industrias [14].

Su extendida utilización se debe a su capacidad de producción rápida, puesto que el tiempo de operación total es solamente el que necesita para realizar una carrera del ariete, más el tiempo necesario para alimentar el material. Por consiguiente, se pueden conservar bajos costos de producción, teniendo una adaptabilidad especial para los métodos de producción en masa, como lo evidencia su amplia aplicación en la manufactura de piezas para automóviles y aviones, artículos de ferretería, juguetes y utensilios de cocina [15].

Las prensas históricamente han demostrado ser máquinas herramientas muy versátiles, que se han posicionado en diferentes industrias en sus distintas configuraciones y tipos, de acuerdo con sus necesidades.



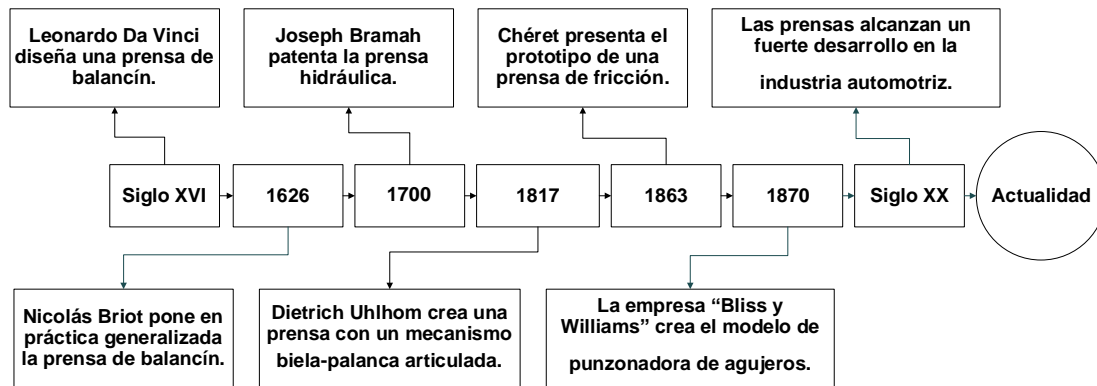


Fig. 1.19. Línea de tiempo de evolución de la prensa [14].

### 1.6.1. TIPOS DE PRENSA Y SU CLASIFICACIÓN

Las prensas pueden ser clasificadas de diferentes maneras; por ejemplo, se clasifican según el tipo de operación para las que son diseñadas, según el número de arietes o según los métodos con que se accionan [15].

A continuación, se presenta la clasificación en relación con la fuente de energía, la cual corresponde a prensas accionadas con potencia mecánica, hidráulica o neumática; dicha clasificación se presenta en la Fig. 1.20. Las máquinas operadas manualmente se usan para trabajos en lámina delgada de metal, aunque la mayor parte de maquinaria para producción se opera con potencia electromecánica, hidráulica o neumática [15].

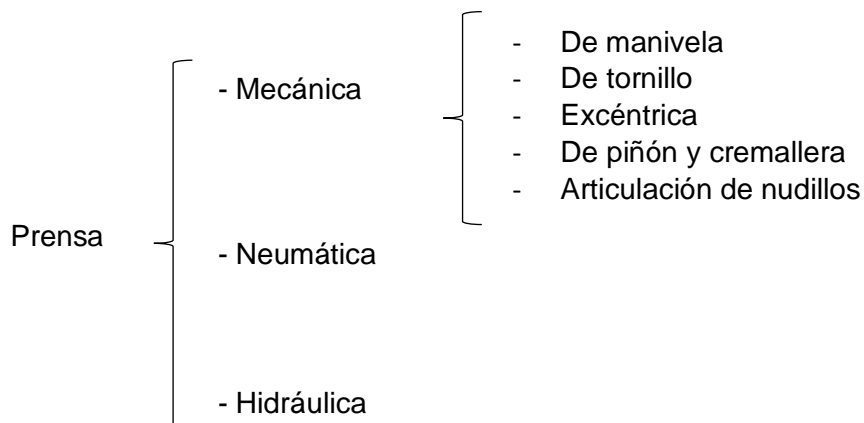


Fig. 1.20. Clasificación de las prensas según su fuente de energía.

a) Prensas mecánicas

Las prensas mecánicas emplean diferentes tipos de componentes mecánicos para ejercer fuerza; incluidas manivelas, articulaciones, tornillos de bolas, tornillos de avance o de potencia, y accionamientos de piñón y cremallera [16].

Estas prensas pueden ser operadas manualmente, es decir, accionadas manualmente por un operador; u operadas por la potencia proporcionada por un motor. Independientemente de la fuente de energía, en todas las prensas mecánicas, el movimiento radial de los componentes mecánicos se traduce en un movimiento lineal que, a su vez, se manifiesta como una fuerza de presión sobre la pieza de trabajo [16].

A pesar de estas ventajas, las prensas mecánicas están limitadas en algunas capacidades, incluso por sus longitudes de carrera fija y la fuerza variable producida a lo largo de la duración de la carrera. Estas características las hacen inadecuadas para aplicaciones que pueden requerir longitudes de carrera variables, por ejemplo; en forjado con matriz abierta, o la aplicación constante de fuerza, como en la extrusión [16]:

- Prensa de manivela: Utiliza una biela de manivela unida al eje de transmisión. Se basa en que la biela del cigüeñal gira junto con el eje de transmisión y está conectada a la biela a través de una junta giratoria, como se representa en la Fig. 1.21a. Seguidamente, la biela se balancea hacia adelante y hacia atrás durante el movimiento de la manivela. Entonces, la biela está conectada al ariete a través de una junta giratoria. El ariete opera sobre la junta deslizante y viaja a lo largo de una trayectoria unidimensional en dos sentidos. Finalmente, la prensa de manivela puede ejercer su fuerza y permite hacer movimientos relativamente largos;
- Prensa de tornillo: Emplea la energía rotacional de un motor para girar un tornillo grande. Generalmente, los discos de fricción se utilizan para transferir fuerza desde el eje de transmisión a la cabeza del tornillo, como

se presenta en la Fig. 1.21b. Las prensas de tornillo son similares a las prensas hidráulicas porque son relativamente lentas y requieren un contacto prolongado con la pieza de trabajo. Por otro lado, también se asimilan porque pueden generar una fuerza constante en una carrera larga;

- Prensa excéntrica: Hace uso de un motor para impulsar un eje excéntrico, que gira sobre una biela. La biela mueve el martillo unidimensionalmente en la articulación deslizante. De esta forma, el eje excéntrico circular gira completamente dentro de la manivela. Entonces, a medida que gira el motor, el centro de la transmisión permanece estable, aunque el centro general del eje cambia. Esto hace que el eje cambie de posición, proporcionando movimiento. Como se puede notar, el principio real de una prensa excéntrica es muy similar al de una prensa de manivela;
- Prensa de piñón y cremallera: Esta prensa es accionada por un motor eléctrico a través de un engranaje conectado directamente al eje de transmisión. La cremallera es en realidad un engranaje circular. De tal forma, el engranaje giratorio, o también conocido como piñón, proporciona fuerza a través de la cremallera, como se presenta en la Fig. 1.21c. Esto da el movimiento de traslación unidimensional requerido por la prensa; y
- Prensa de articulación de nudillos: Esta prensa convierte la potencia del motor a través de un potente diseño de biela y puede transmitir una gran cantidad de fuerza. De esta manera, la manivela del eje de transmisión gira completamente. Estos enlaces tienen una buena capacidad para soportar la presión.



Fig. 1.21. Ilustraciones de algunos tipos de prensas mecánicas: a) De manivela [16]; b) De tornillo [19]; y c) De piñón cremallera [20].

#### b) Prensas neumáticas

El funcionamiento de estas prensas consiste en comprimir el aire para aumentar la presión interna dentro del cilindro. Las ventajas de emplear prensas neumáticas son la consistencia de la fuerza de la prensa en todo el intervalo de carrera, velocidades de trabajo más altas y la idoneidad para temperaturas extremas y aplicaciones propensas a explosiones. Algunas de las desventajas de estas prensas es que están restringidas tanto por el tamaño del cilindro como también por su compresor. Es importante en este tipo de prensa mantener la presión de operación durante todo el proceso para garantizar un funcionamiento adecuado y evitar lesiones al operador [16].

#### c) Prensas hidráulicas

Esta prensa se rige por el Principio de Pascal, esta fue creada por el físico y matemático francés Blaise Pascal (1623-1662) la cual se resume de la siguiente manera: La presión ejercida en cualquier lugar de un fluido encerrado e incompresible se transmite por igual en todas las direcciones en todo el fluido, es decir, la presión en todo el fluido es constante.

Las prensas hidráulicas se mueven por la acción de agua o aceite que entra a la cámara del actuador empujando un émbolo que va conectado a un vástago, el cual compacta el material que se encuentra en una matriz. Para este propósito se utilizan cilindros hidráulicos los cuales se mueven lentamente y las presiones que éstos ejercen pueden variar en función de sus características. Generalmente el líquido entra a la cámara del actuador con

poca presión hasta que hace contacto con la pieza, luego de esto se aumenta la presión significativamente. Además, en la Fig. 1.22 se presenta el funcionamiento simplificado del proceso hidráulico de una prensa [17].

Se emplea una bomba para suministrar el líquido a alta presión al cilindro, el líquido se almacena en un sistema acumulador y luego suministrar continuamente un gran volumen de líquido a una presión constante en poco tiempo [16].

Las prensas hidráulicas están disponibles en capacidades de hasta 150 MN (~15,000 T). Por lo tanto, estas prensas se emplean especialmente para estirar, extruir, perforar y troquelar metales de más de 3 mm de espesor. Las prensas hidráulicas ofrecen varias ventajas sobre otros tipos de prensas, incluida una mayor capacidad de fuerza y una fuerza de prensado constante en todo el intervalo de carrera [16].

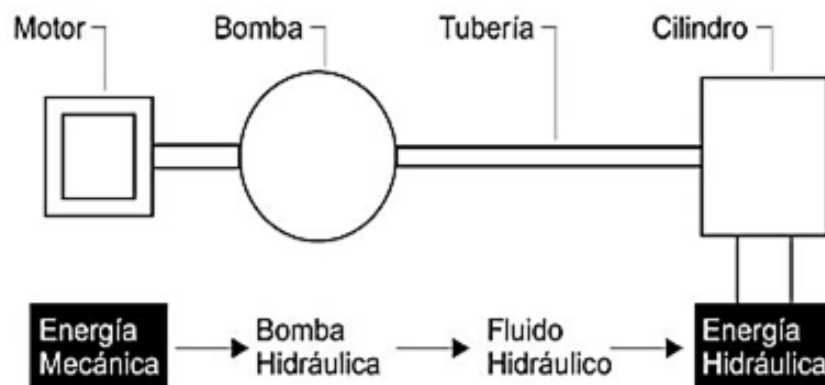


Fig. 1.22. Esquema de componentes que conforman un sistema hidráulico [18].

En la Fig. 1.22 se presenta un diagrama que incluye los componentes de un sistema de transmisión utilizado principalmente en las prensas hidráulicas manuales básicas. Cabe recalcar que estas partes se encuentran abiertas a cambios, adaptaciones y mejoramientos en el sistema de control.

Entre las ventajas de utilizar este tipo de prensa se pueden citar [18]:

- La fuerza total por toda la carrera: Es posible mantener el total de la fuerza a lo largo de la carrera, no solamente al fondo o el final de la carrera como en las prensas mecánicas;
- Más capacidad a menos costo: Se sabe que es más fácil y menos caro comprar ciertas clases de capacidad en las prensas hidráulicas. Además, es fácil aumentar esta medida;
- Menos costo de compra: Por su potencia usada en el prensado no hay ninguna máquina que de la misma fuerza por el mismo precio;
- Menos costo de mantenimiento: Las prensas hidráulicas son bastantes sencillas en su diseño, con pocas partes en movimiento y están siempre lubricadas con un fluido de aceite bajo presión;
- Seguridad de sobrecarga incluida: Si una prensa se calibra a una fuerza de 1 MN (~100 T), no se corre el riesgo de romper troqueles o la misma prensa por un excedente de fuerza; porque al ejercer el máximo de fuerza permitida, se abre una válvula de seguridad que impide el aumento de fuerza;
- Mayor flexibilidad en control y versatilidad: Es posible mantener un control en una prensa hidráulica de diferentes variables, como lo son la fuerza, carrera, tiempo de trabajo, movimientos con secuencia, entre otros;
- Fuerza: Una prensa hidráulica puede hacer trabajos en amplio intervalo según su fuerza. Entre ellos están el embutido profundo, reducción, formado de polímeros, el formado, el estampado, troquelado, el punzonado, el prensado, el ensamble ajustado, el enderezado, entre otros;
- Tamaño: Aunque una prensa común de 200 kN (~20 T) puede medir 1.7 x 0.7 x 1.5 m, una prensa de 2 MN (~200 T) puede medir 2.1 x 1.2 x 2 m; esta última con 10 veces la capacidad de la primera es apenas más grande en tamaño (teniendo casi 3 veces el volumen de la de menor capacidad).
- Menor gasto en herramientas: Este tipo de prensas dispone de menor número de piezas en comparación con las prensas mecánicas, lo que

disminuye la necesidad de herramientas especializadas que sólo servirían para piezas pocos comunes;

- Nivel de ruido: Con menos partes movibles, y sin rueda volante, el nivel de ruido generado por la prensa hidráulica es mucho menos que el de la prensa mecánica; y
- Seguridad: Las prensas son seguras si se usan en la manera apropiada, aunque con los controles a dos manos y los protectores enlazados, es más fácil fabricarlas con más seguridad por el hecho del control completo con el sistema hidráulico.

## 2. DISEÑO DE PRENSA PARA SINTERIZADO

La presión aplicada es un factor determinante en cuanto a las propiedades físicas y mecánicas de un componente a una misma composición; esto significa que distintas piezas con un mismo volumen pueden tener diferentes propiedades en función de la presión de compactación y, en consecuencia, en función del proceso de sinterizado al que fueron sometidas para su fabricación. De esta forma, dependiendo de la aplicación y requisitos del producto final, la máquina debe tener la capacidad de proporcionar una menor o mayor presión adaptada a los componentes que fabricará.

Además de controlar la presión de compactación, se debe controlar la densidad de los materiales, debido a que uno de los atractivos económicos de este proceso es su ahorro de materia prima. La densidad promedio de estos productos oscila entre el 50 y 80% de la densidad sólida del mismo, como se presentó en la Fig. 1.11, suponiendo entonces ahorros de entre 50 y 20% en materias primas, que, dependiendo de la aplicación y características del material, podrían ser valores significantes de un proceso.

En la Fig. 2.1 se presenta un bosquejo del prototipo de prensa hidráulica de compactación de polvos metálicos para el sinterizado, la cual contiene los componentes básicos a tener en consideración como lo son: Motor bomba, depósito de aceite, sistema de electroválvulas y mangueras hidráulicas, actuadores hidráulicos, Gabinete de Potencia y Control, y juego de husillos y matriz; estos últimos se esquematizan como referencia por su importancia en el proceso, aunque no forman parte del diseño del prototipo descrito en este capítulo.

Cada uno de estos componentes forma parte un subsistema o contiene a otro conjunto de componentes que serán seleccionados o diseñados a continuación.



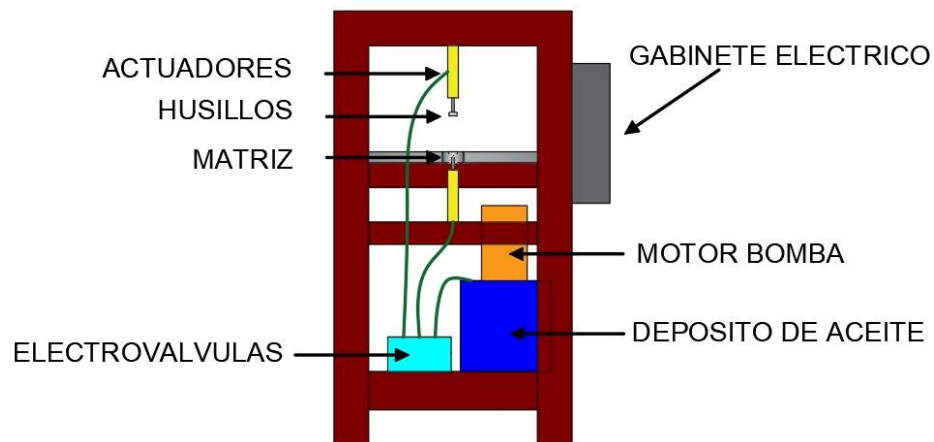


Fig. 2.1. Bosquejo de prensa a diseñar.

## 2.1. DEFINICIÓN DE REQUISITOS Y CARACTERÍSTICAS DEL PRODUCTO FINAL

Para diseñar y seleccionar los elementos y accesorios a utilizar en la prensa hidráulica de sinterizado, se determinan las variables de diseño; partiendo de los requisitos del producto final.

Debido a que la finalidad de la prensa es ser utilizada de forma didáctica, se ha establecido un prototipo de silenciador neumático de bronce como producto modelo a ser fabricado, debido a su amplia aplicación en la industria. Este tipo de piezas se categorizan como elementos porosos y no tienen exigencias geométricas complicadas de algún tipo.

Para obtener el intervalo de presión de compactación que se debe aplicar a este tipo de piezas se tomó como referencia la Tabla 1.1 donde se presenta que los elementos porosos exigen un intervalo de presiones de compactación de 40 hasta 70 MPa (3 a 5 T/pulg<sup>2</sup>). Esta es la categoría con menor exigencia de presión de compactación, lo que se ajusta al propósito didáctico de dicho equipo. Estos materiales suelen tener poca o nulas exigencias mecánicas, por lo que se valúa más sus propiedades físicas y dimensionales.

Se consultaron catálogos de silenciadores de diferentes marcas, donde se observó que estas piezas tienen un intervalo de dimensiones de rosca entre 1/8

y 1 pulg NPT, y una materia prima de bronce. Además, se consultaron modelos CAD de estas piezas donde se obtuvieron las dimensiones completas necesarias para la fabricación de esta pieza (ver Tabla 2.1). En la Fig. 2.2 se presenta la geometría de dicho elemento; dicha geometría posee ángulos (forma cónica) que son determinantes para el desmontaje de la pieza.

Tabla 2.1. Dimensiones de silenciadores neumáticos.

Tamaño	D1, mm	D2, mm	D3, mm	D4, mm	D5, mm	h1, mm	h2, mm
1/8 pulg NPT	8	9	6	7	10	12.7	14.7
1 pulg NPT	20.5	21.5	18.5	17.5	22.5	39	41

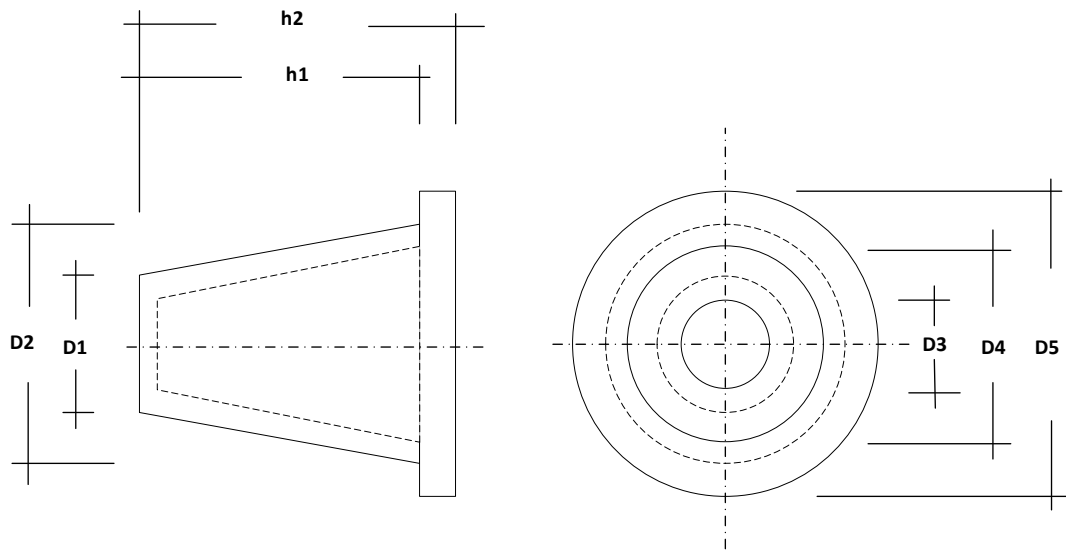


Fig. 2.2. Geometría de un silenciador neumático comercial.

Seleccionado el producto a fabricar, se procede a definir los requisitos de este. Como se presenta en la Fig. 2.3, la pieza debe cumplir con dos exigencias, las cuales son la resistencia y las dimensiones finales del producto, éstas a su vez se asocian a otro conjunto de variables que producen como resultado las variables que se deben de considerar durante el diseño.

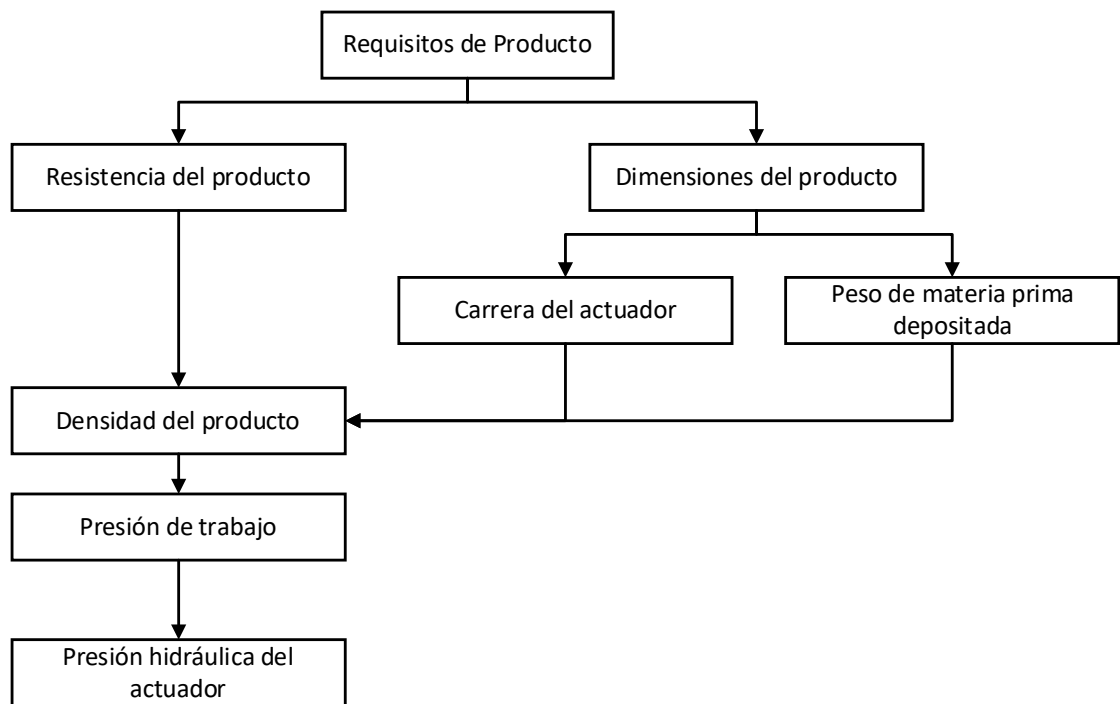


Fig. 2.3. Jerarquía de variables asociadas a los requisitos de fabricación.

La resistencia final del producto depende de varios factores entre los cuales se presentan, la forma y el tamaño resultante en el proceso de obtención de los polvos, la composición y homogeneidad de estos (controlada desde la etapa de mezclado), la densidad alcanzada del producto en verde durante la compactación, la temperatura y el tiempo del tratamiento térmico de sinterizado. En la etapa de compactación, conformada por la prensa hidráulica, los factores determinantes son exclusivamente la composición, homogeneidad y la densidad alcanzada del producto en verde.

En cuanto a las dimensiones finales del producto, los factores que influyen son la cantidad de materia prima añadida al proceso de compactación y la contracción volumétrica durante el tratamiento térmico de sinterizado. La cantidad de materia prima añadida al proceso de compactación se constituye de: una cantidad de masa proporcional al volumen geométrico de la pieza y adicionalmente una cantidad de masa proporcional al volumen de los ángulos de salida.

El volumen geométrico de la pieza se puede describir mediante la Fig. 2.2, donde los diámetros  $D_1 - D_5$  representan de forma significativa las dimensiones de su sección transversal, la cual es producto del confinamiento ocasionado por la matriz fija; y las dimensiones longitudinales  $h_1$  y  $h_2$  representan el resultado de la carrera de los actuadores hasta el confinamiento del polvo a través de los dados móviles superior e inferior.

### 2.1.1. MASA DE LA MATERIA PRIMA DEPOSITADA

La densidad de una pieza sólida de bronce es de  $\rho_{\text{bronce}} = 8.9 \text{ mg/mm}^3$ , mientras que la densidad de un filtro fabricado por sinterizado de bronce ronda entre  $\rho_{\text{bronce poroso}} = 4.5$  a  $5.5 \text{ mg/mm}^3$  por lo que porcentualmente la densidad promedio de un silenciador fabricado por sinterizado disminuye a un intervalo entre el 51 y 61% de la densidad sólida del bronce [22].

A continuación, se calcula el volumen total de los silenciadores a través de la suma de 3 volúmenes que conforman cada pieza total, presentada en la Fig. 2.4. Estos volúmenes se definen como:

- a)  $V_1$  que corresponde al cono truncado de mayor tamaño;
- b)  $V_2$  que corresponde al volumen conformado por el cono truncado interno de menor tamaño; y
- c)  $V_3$  que corresponde al cilindro hueco que posee como base.

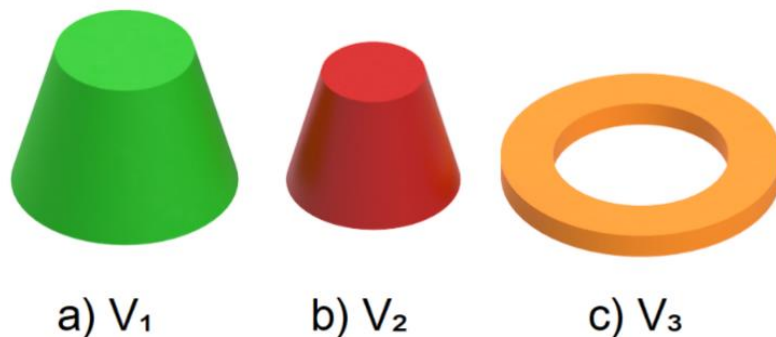


Fig. 2.4. Representación de volúmenes parciales que conforman el volumen total de la geometría.

Se presentan las Ecs. 2.1 - 2.3, correspondientes a los volúmenes parciales antes descritos, y su suma total se obtiene mediante la Ec. 2.4. Se procede a sustituir en las Ecs. 2.1 - 2.3 a las variables presentadas en la Fig. 2.2 por las magnitudes de las variables presentadas en la Tabla 2.1 para cada tamaño de filtro 1/8 pulg NPT y 1 pulg NPT, respectivamente. Posteriormente, se multiplica el volumen obtenido por la densidad del bronce a través de la Ec. 2.5 y así, se obtiene la masa de una pieza de bronce completamente sólida.

$$V_1 = \frac{h_1\pi}{12} (D_2^2 + D_1^2 + (D_2 * D_1)) \quad (2.1)$$

$$V_2 = \frac{h_1\pi}{12} (D_4^2 + D_3^2 + (D_4 * D_3)) \quad (2.2)$$

$$V_3 = \frac{(h_2 - h_1)(\pi)}{4} (D_5^2 - D_4^2) \quad (2.3)$$

$$V_{total} = V_3 + (V_1 - V_2) \quad (2.4)$$

$$m_1 = \rho_{bronce} * V_{total} \quad (2.5)$$

Así, las operaciones y resultados de las Ecs. 2.1 - 2.5 se presentan a continuación para cada filtro:

✓ Resultados 1/8 pulg NPT:

$$V_1 = \frac{(12.7)\pi}{12} (9^2 + 8^2 + (8 * 9)) = 721.49 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = \frac{(12.7)\pi}{12} (7^2 + 6^2 + (7 * 6)) = 422.26 \text{ mm}^3$$

$$V_3 = \frac{(14.7 - 12.7)(\pi)}{4} (10^2 - 7^2) = 80.11 \text{ mm}^3$$

$$V_{total} = 80.11 + (721.49 - 422.26) = 379.34 \text{ mm}^3$$

$$m_1 = 8.9 * 379.34 = 3,376 \text{ mg}$$

✓ Resultados 1 pulg NPT:

$$V_1 = \frac{(39)\pi}{12} (21.5^2 + 20.5^2 + (21.5 * 20.5)) = 13,510.62 \text{ mm}^3$$

$$V_2 = \frac{(39)\pi}{12} (17.5^2 + 18.5^2 + (17.5 * 18.5)) = 9,926.84 \text{ mm}^3$$

$$V_3 = \frac{(41 - 39)(\pi)}{4} (22.5^2 - 17.5^2) = 314.16 \text{ mm}^3$$

$$V_{total} = 314.16 + (13,510.62 - 9,926.84) = 3,879.94 \text{ mm}^3$$

$$m_1 = 8.9 * 3,879.94 = 34,531 \text{ mg}$$

En caso de fabricar esta pieza con bronce poroso, se estima un promedio de porcentaje de disminución de densidad de  $\% \rho_{prom.bronce\ poroso} = 56\%$ , obteniendo una densidad igual a  $\rho_{bronce} = 8.9 \text{ mg/mm}^3$ . Con las masas  $m_1$  de 1 pulg NPT y 1/8 pulg NPT es posible caracterizar las dimensiones geométricas de la pieza compactada en verde de forma directa a través de la densidad planteada. En caso de fabricar otro tipo de productos o piezas que por su geometría requieran adicionar ángulos de salida al no poseer paredes inclinadas en su diseño, se debe de considerar la masa adicional del ángulo de salida.

Otra consideración que se debe tener en consideración es el efecto de la contracción volumétrica durante el tratamiento térmico, cuya disminución más significativa se presenta en la etapa 2 del tratamiento térmico de sinterizado, donde se alcanza una disminución de  $\%Disminución = 10\%$  del volumen total de la pieza en verde. Para compensar dicha disminución se debe incluir en el diseño de la matriz y los dados móviles, el correspondiente sobredimensionamiento volumétrico, y por lo tanto se debe incluir también en su fabricación la cantidad de masa que conlleva este sobredimensionamiento volumétrico inicial.

Entonces, sus masas finales se expresan mediante la Ec. 2.6.

$$m_2 = \rho_{bronce} * \% \rho_{prom.bronce\ poroso} * (1 + \%Disminución) \quad (2.6)$$

Mediante la Ec. 2.6 la masa final para un filtro de 1/8 pulg NPT fabricado a través de la compactación y sinterizado de polvos metálicos:

$$m_2 = 3,376.126 * 0.56 * 1.1 = 2,080 \text{ mg}$$

Del mismo modo para un filtro de 1 pulg NPT

$$m_2 = 34,531.466 * 0.56 * 1.1 = 21,271 \text{ mg}$$

También se calculan sus volúmenes finales mediante la expresión que corresponde a la Ec. 2.7:

$$V_{final} = V_{total} * (1 + \%Disminución) \quad (2.7)$$

Mediante la Ec. 2.7 se calcula el volumen final de un filtro de 1/8 pulg NPT.

$$V_{final} = 379.34 * 1.1 = 417.27 \text{ mm}^3$$

Del mismo modo para el filtro de 1 pulg NPT.

$$V_{final} = 3,879.94 * 1.1 = 4,267.90 \text{ mm}^3$$

Las Ecs. 2.6 y 2.7 y parámetros utilizados son de especial interés en el diseño de las herramientas de compactación como lo son dados y matriz.

## **2.2. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES DEL SISTEMA HIDRÁULICO**

Las variables de diseño se utilizan para determinar dimensiones, potencia, flujo, etc. de los componentes. En este apartado se abordarán las variables necesarias para cumplir con los requisitos finales, que se esquematizaron en la Fig. 2.3. Entre las variables más importantes se presentan:

- Presión hidráulica del sistema;

- Carrera del actuador; y adicionalmente el
- Caudal en las líneas hidráulicas de alta presión.

Para mayor comprensión de los elementos a seleccionar en esta sección del capítulo, en la Fig. 2.5 se presenta un diagrama hidráulico que esquematiza los componentes hidráulicos más importantes en el sistema y su conexión entre ellos.

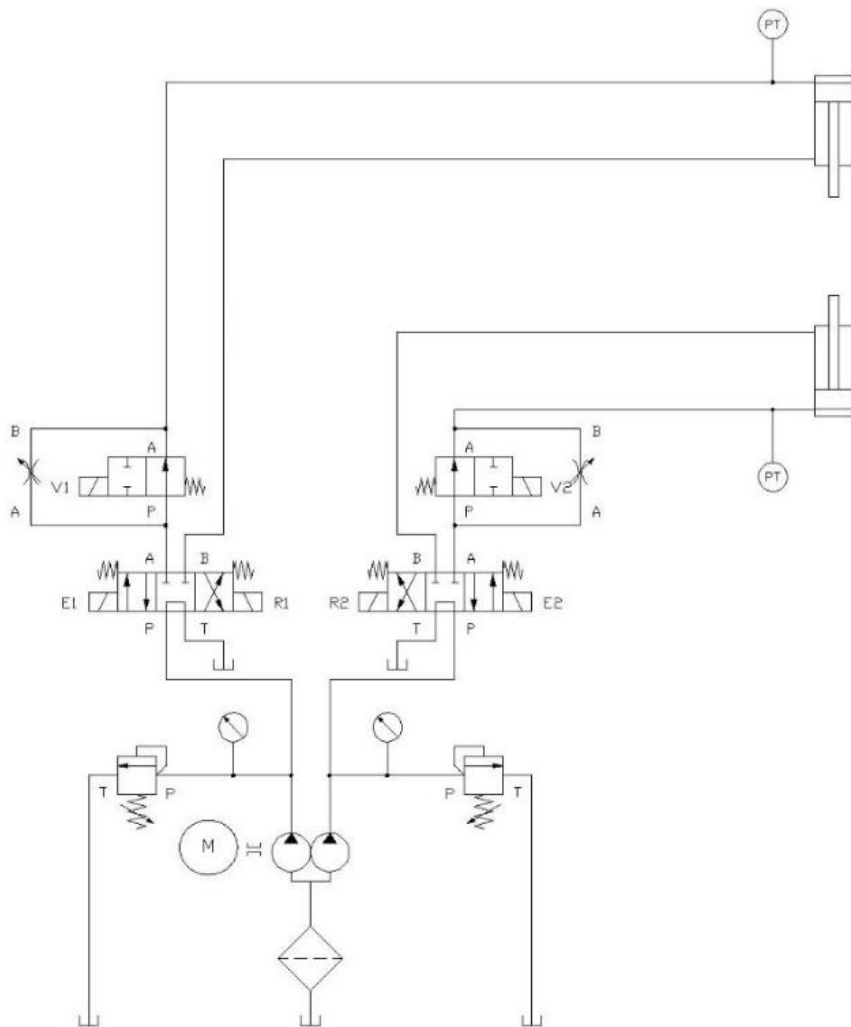


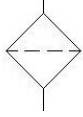
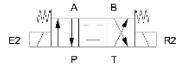
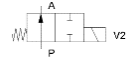







Fig. 2.5. Diagrama hidráulico básico.

Los componentes esquematizados en la Fig. 2.5 se describen en la Tabla 2.2, en donde se explica de forma breve la función que cumple cada uno de ellos.



Tabla 2.2. Simbología del circuito hidráulico básico.

Simbología	Nombre	Descripción
	Bomba de engranajes doble	Transmite la energía mecánica proporcionada por el motor para suministrarla al fluido de trabajo, en forma de energía hidráulica.
	Motor eléctrico	Transforma energía eléctrica en energía mecánica, para transmitirla en forma de par motor.
	Filtro	El filtro de succión sirve para proteger la bomba de los contaminantes y objetos provenientes del tanque. También existen filtros de retorno que sirven para retener todos los residuos provenientes del interior del equipo y extraerlos del circuito.
	Válvula direccional de cuatro vías, tres posiciones	Dispositivo operado eléctricamente por medio de solenoide, que permite redireccionar el fluido desde dos vías de ingreso y dos vías de salida. Comanda el arranque, parada y sentido del caudal hacia las vías de salida.
	Válvula direccional de dos vías, dos posiciones	Dispositivo operado eléctricamente por medio de solenoide, que permite redireccionar el fluido desde una vía de ingreso y una vía de salida. Comanda el paso del caudal libremente hacia la vía de salida, o restringe su paso.
	Válvula de Alivio de Presión	Dispositivo diseñado para abrir flujo a tanque bajo un parámetro de presión preestablecido, lo cual impide daños a componentes en el sistema, o incluso accidentes. De igual forma se utiliza para establecer la presión de trabajo del sistema.
	Manómetro análogo	Instrumento de medición de presión accionado mecánicamente el cual presenta una expresión visual del valor, escala y unidad de medida.
	Transmisor de presión	Instrumento de medición de presión electrónico que devuelve señales con proporciones establecidas con respecto a su escala y unidad de medida.
	Válvula reductora de caudal	Permite modificar el caudal que fluye en su interior. En este caso, se utiliza para reducir la velocidad del vástago en el actuador.
	Actuador	Dispositivo que transforma la energía hidráulica en energía mecánica.

### 2.2.1. CILINDRO HIDRÁULICO

Para la selección del cilindro hidráulico se toman en consideración las condiciones del sistema hidráulico y los parámetros físicos que debe de tener el cilindro para dicha aplicación, los cuales se presentan gráficamente en la Fig. 2.6.

Las condiciones del sistema hidráulico son:

- 1) Presión de compactación,
- 2) Presión del sistema hidráulico, y
- 3) Área de las piezas a compactar.

Los parámetros físicos del cilindro hidráulico son:

- 1) Fuerza de compactación,
- 2) Diámetro de pistón hidráulico, y
- 3) Carrera del cilindro hidráulico.

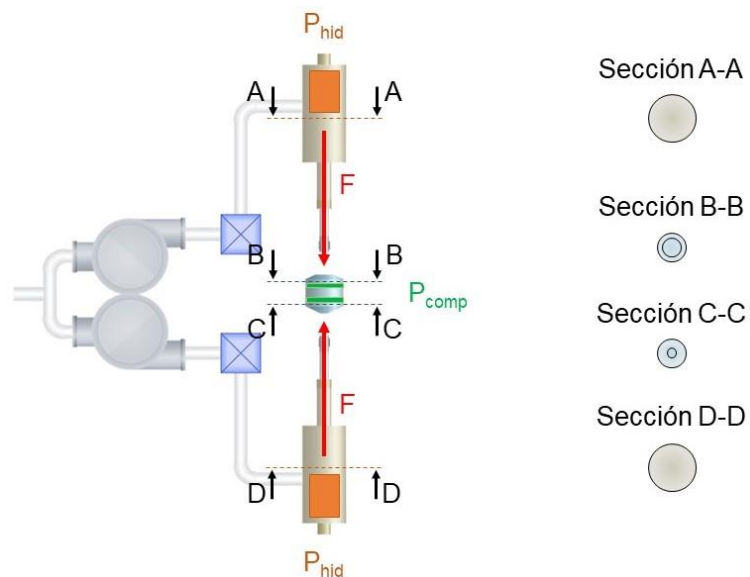


Fig. 2.6. Diagrama pictórico de áreas, presiones y fuerza.

En la Fig. 2.6 se simboliza con color verde la presión de compactación y con anaranjado la presión hidráulica. Además, las secciones A-A y D-D corresponden a las áreas transversales del pistón dentro de los cilindros,

mientras que las secciones B-B y C-C corresponden al área transversal de la pieza a compactar (Áreas de compactación), de este modo se tiene:

- Presión de compactación.-

La presión de compactación es la presión aplicada sobre la pieza, y es provocada por la fuerza que proviene del cilindro hidráulico y es distribuida en el área transversal de la pieza. Para determinar dicha presión, se toma en consideración que las piezas modelo a fabricar se categorizan como materiales metálicos porosos, o filtros, los cuales se presenta en la Tabla 1.1 y tienen un intervalo de presión de compactación entre 40 y 70 MPa (entre 3 y 5 T/pulg<sup>2</sup>). Para asegurar una compactación efectiva, se toma la mayor presión de compactación para la selección del cilindro. Se establece una presión de compactación crítica igual a 70 MPa (10,152.6 psi).

- Presión del sistema hidráulico.-

La presión del sistema hidráulico es la presión que alcanza el fluido hidráulico en operación. Dicha presión se selecciona sobre la base del intervalo de presiones estándar en que suelen trabajar estos sistemas, el cual se encuentra entre 6.89 y 20.68 MPa (entre 1,000 y 3,000 psi), y es lo suficientemente alta para que los actuadores ejecuten las tareas deseadas. El valor de presión es importante ya que sobre la base de éste se seleccionan los componentes hidráulicos que de forma estándar están diseñados para soportar y rendir en distintos valores de presión.

En la prensa de sinterizado se decide utilizar una presión de sistema hidráulico igual a 13.79 MPa (2,000 psi), de esta forma no se está exigiendo toda la capacidad del sistema hidráulico (la cual para este tipo de sistemas hidráulicos suele llegar hasta 3,000 psi) y de esta manera se previene el posible desgaste acelerado de los componentes y al mismo tiempo se da un margen libre para posibles compactaciones de mayores exigencias en caso de ser necesarias.

- Área de compactación.-

Para obtener el área de compactación, se toma en consideración el producto modelo a fabricar, el cual es el silenciador neumático. Se encontró en

este componente un intervalo de tamaños acorde a su rosca que se encuentra entre 1/8 pulg NPT y 1 pulg NPT. Se calculan a través de la Ec. 2.8, las áreas de compactación de los componentes de menor y mayor tamaño, respectivamente, para comprobar que ambos serán capaces de ser compactados adecuadamente por la prensa.

$$A_{comp} = \frac{\pi}{4} (D_5)^2 \quad (2.8)$$

Se resuelve la Ec. 2.8 sustituyendo el valor de  $D_5$ , así:

$$A_{comp,1} = \frac{\pi}{4} (10 \text{ mm})^2 = 78.54 \text{ mm}^2$$

$$A_{comp,2} = \frac{\pi}{4} (22.5 \text{ mm})^2 = 397.61 \text{ mm}^2.$$

Las áreas de compactación son necesarias para calcular la fuerza de compactación, a través de los valores de presión establecidos en la Tabla 1.1.

- Fuerza de compactación.-

La fuerza de compactación es la fuerza necesaria para compactar el producto modelo a fabricar. Se utiliza la Ec. 2.9 para calcular dicha fuerza en función de la presión de compactación y las áreas de compactación.

$$F_{comp} = (P_{comp})(A_{comp}) \quad (2.9)$$

Al sustituir los valores de presión y área en la Ec. 2.9 se obtiene:

$$F_{comp,1} = (70 \text{ MPa})(78.54 \text{ mm}^2) = 5,497.8 \text{ N}$$

$$F_{comp,2} = (70 \text{ MPa})(397.61 \text{ mm}^2) = 27,832.7 \text{ N}$$

- Diámetro del pistón hidráulico.-

Dado que la fuerza de compactación se transmite a través del cilindro hidráulico, es posible calcular el área del pistón en función de dicha fuerza. Se utiliza la ecuación de fuerza en función de presión y área, utilizando ahora la presión del sistema hidráulico y el área del cilindro, en la Ec. 2.10.

$$F_{comp} = (P_{hidr})(A_{pistón}) \quad (2.10)$$

Se resuelve la Ec. 2.10 sustituyendo los valores de  $P_{hidr}$ ,  $A_{pistón}$ :

$$A_{pistón} = \frac{F_{comp}}{P_{hidr}} = \frac{27,832.7 \text{ N}}{13.79 \text{ MPa}} = 2,018.32 \text{ mm}^2$$

Utilizando el área calculada, se obtiene el diámetro del pistón a través de la Ec. 2.11, la cual es la ecuación de área para un círculo en función de diámetro.

$$A_{piston} = \frac{\pi}{4}(D_{pistón})^2 \quad (2.11)$$

Al resolver la Ec. 2.11, se obtiene el siguiente resultado.

$$D_{pistón} = \sqrt{\frac{4(A_{piston})}{\pi}} = \sqrt{\frac{4(2,018.32 \text{ mm}^2)}{\pi}} = 50.69 \text{ mm}$$

El diámetro del pistón calculado es un valor que se empleará más adelante para la selección del actuador hidráulico por medio de catálogos estandarizados por proveedores.

- Carrera del cilindro.-

Al analizar la carrera necesaria del cilindro representada como  $S_{cilindro}$  en la Ec. 2.12, se considera el alto de la pieza a fabricar  $h_2$ , así como la longitud  $h_{manipulación}$  que corresponde al espacio para manipulación de polvo metálico y

extracción de la pieza. La carrera del cilindro debe ser entonces la suma de estas dos longitudes (altura de la pieza dentro de la matriz, y altura que se usará para verter el polvo metálico y extraer la pieza compactada). Se toma en consideración piezas con una altura máxima igual a  $50.8 \text{ mm}$  y una altura de  $152.4 \text{ mm}$  que sirve para verter el polvo metálico en la matriz y de igual forma para extraer la pieza, una vez haya sido eyectada por el cilindro inferior.

$$S_{cilindro} = h_2 + h_{manipulación} \quad (2.12)$$

Se resuelve la Ec. 2.12, y se obtiene el siguiente resultado:

$$S_{cilindro} = 50.8 \text{ mm} + 152.4 \text{ mm} = 203.2 \text{ mm}$$

- Cilindro hidráulico seleccionado.-

Además de los parámetros descritos anteriormente, se selecciona un cilindro hidráulico de doble efecto, ya que este posee mayor fuerza, velocidad y control de retracción; que a su vez es la alternativa más económica frente a su homólogo el cilindro de simple efecto, el cual no cumple con ninguna de estas características.

Con el valor de presión hidráulica a utilizar, diámetro de pistón del cilindro y carrera del cilindro se selecciona el cilindro hidráulico con número de modelo 287207, marca Bailey Hydraulics (ver catálogo en Anexos A1 y A2). Este es un cilindro de doble efecto, con un diámetro de pistón igual a  $D_{pistón} = 50.8 \text{ mm}$  ( $2 \text{ pulg}$ ), un diámetro de vástago igual a  $D_{vástago} = 31.75 \text{ mm}$  ( $1.25 \text{ pulg}$ ), y una carrera de  $203.2 \text{ mm}$  ( $8 \text{ pulg}$ ), capaz de llegar hasta una presión hidráulica de  $20.68 \text{ MPa}$  ( $3000 \text{ psi}$ ), obteniendo una fuerza de compactación máxima igual a  $41,914.26 \text{ N}$  ( $9,422.83 \text{ lb}$ ).

## 2.2.2. BOMBA HIDRÁULICA

La bomba deseada es una bomba múltiple, es decir, tendrá un sistema de transmisión de energía mecánica a energía hidráulica para cada puerto de salida que ella tenga. Se desea que sea una bomba múltiple ya que así cada actuador puede tener su propio circuito de funcionamiento, de forma que se garantiza que cuando los actuadores apliquen presión a la pieza que se está fabricando, estos sean capaces de aplicar la presión de forma independiente y un actuador no pierda presión al estar conectado en un mismo circuito al otro actuador.

El dimensionamiento de la bomba se encuentra en función del caudal necesario de la aplicación. Para ello, se tomó en consideración el volumen a llenar en un actuador y el tiempo en que este será llenado. Dado que ambos actuadores tienen las mismas dimensiones, el caudal enviado por la bomba a cada actuador a través de cada puerto de salida será el mismo.

El tiempo de ciclo total de la aplicación incluye el tiempo de extensión y retracción de los actuadores, el tiempo que tarda el fluido hidráulico en ser transmitido a través de las mangueras y componentes, y el tiempo que tardan las señales eléctricas en ser transmitida. Para efectos prácticos, se tomó en consideración únicamente el tiempo de extensión y retracción de los cilindros hidráulicos ya que es el tiempo crítico de la aplicación y es mucho mayor que el de los demás componentes. El tiempo de extensión y retracción de un actuador se denomina como  $t_{ciclo}$  y se establece igual a 15 s.

Se calculan los volúmenes que serán llenados por el fluido hidráulico en las recámaras para extensión representado por  $V_{ext}$  y para retracción representado por  $V_{ret}$  en las Ecs. 2.13 y 2.14, respectivamente.

$$V_{ext} = \frac{\pi}{4} (D_{pistón})^2 (S_{cilindro}) \quad (2.13)$$

Se sustituyen los valores en las variables de la Ec. 2.13 y se obtiene el siguiente resultado:

$$V_{ext} = \frac{\pi}{4} (50.8 \text{ mm})^2 (203.2 \text{ mm}) = 411.85 \text{ cm}^3$$

Y se sustituyen los valores en la Ec. 2.14, obteniendo el siguiente resultado:

$$V_{ret} = \frac{\pi}{4} \left( (D_{pistón})^2 - (D_{vástago})^2 \right) (S_{cilindro}) \quad (2.14)$$

$$V_{ret} = \frac{\pi}{4} \left( (50.8 \text{ mm})^2 - (31.75 \text{ mm})^2 \right) (203.2 \text{ mm}) = 250.97 \text{ cm}^3$$

Teniendo los volúmenes de extensión y retracción, además del tiempo total de ciclo ( $t_{ciclo}$ ), se calcula el caudal ( $\dot{V}$ ) a través de la Ec. 2.15.

$$\dot{V} = \frac{V_{ext} + V_{ret}}{t_{ciclo}} \quad (2.15)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.15, se obtiene:

$$\dot{V} = \frac{411.85 \text{ cm}^3 + 250.97 \text{ cm}^3}{15 \text{ s}} = 44.18 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Con este caudal, se obtiene el tiempo que tardará el cilindro hidráulico en extenderse,  $t_{ext}$ , a través de la Ec. 2.16 y el tiempo que tardará en retraerse,  $t_{ret}$ , a través de la Ec. 2.17.

$$t_{ext} = \frac{V_{ext}}{\dot{V}} \quad (2.16)$$

Resolviendo la Ec. 2.16 da como resultado:

$$t_{ext} = \frac{411.85 \text{ cm}^3}{44.18 \text{ cm}^3/\text{s}} = 9.32 \text{ s}$$



$$t_{ret} = \frac{V_{ret}}{\dot{V}} \quad (2.17)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.17 se obtiene como resultado:

$$t_{ret} = \frac{250.97 \text{ cm}^3}{44.18 \text{ cm}^3/\text{s}} = 5.68 \text{ s}$$

Se procede a calcular el volumen desplazado por la bomba por cada revolución, el cual se denomina desplazamiento de la bomba  $V_{desp}$  y se representa mediante la Ec. 2.18; utilizando el caudal del sistema y considerando que es accionado por un motor estándar que trabaja a  $\omega = 1750 \text{ rpm}$ .

$$V_{desp} = \frac{\dot{V}}{\omega} \quad (2.18)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.18, se obtiene como resultado:

$$V_{desp} = \frac{44.18 \text{ cm}^3/\text{s}}{1750 \text{ rpm} \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right)} = 1.51 \text{ cm}^3/\text{rev}$$

Por lo tanto, la bomba deberá tener aproximadamente un desplazamiento igual a  $1.51 \text{ cm}^3/\text{rev}$ .

A partir de lo anteriormente descrito, se selecciona la bomba a partir del catálogo presenta en el Anexo A3 del fabricante Parker; dicha bomba pertenece a la serie PGP 505, la cual es solicitada según código de fabricante, con las siguientes características:

- 1) Bomba múltiple (2 etapas)
- 2) Material: aluminio.
- 3) Sistema de transmisión de energía a través de engranajes.

- 4) Desplazamiento igual a  $2 \text{ cm}^3/\text{rev}$  para cada etapa (lo que implica un  $t_{\text{ciclo}}$  ligeramente menor al establecido).
- 5) Presión de trabajo alcanzable hasta 3988 psi.
- 6) Incluye un eje a motor con diámetro igual a  $12 \text{ mm}$ ,  $38 \text{ mm}$  de largo y cuña sin dientes de  $3.2 \text{ mm}$  de ancho. Además, con una capacidad de torque igual a  $43 \text{ Nm}$ .
- 7) Brida para unión a tanque norma SAE A-A, 2 pernos, espacio entre pernos de  $86.5 \text{ mm}$  y diámetro sobresaliente de  $50.8 \text{ mm}$ .
- 8) Puertos tamaño SAE 6 en presión y un único puerto de succión SAE 8 a tanque.

Con dichas características, su código completo para ordenar el producto es: PGP-505-B-0020-C-J1-H1-X-D2-D2-505-B-0020-X-D2-D2-D2. En la Fig. 2.7 se presenta una imagen representativa de la bomba seleccionada (obtenida de catálogo).



Fig. 2.7. Imagen de catálogo de bomba seleccionada, serie PGP 505, marca Parker.

### 2.2.3. MOTOR ELÉCTRICO

Para dimensionar el motor eléctrico a seleccionar, es necesario calcular la potencia que la bomba transmite en cada puerto de salida, ya que es la que proveerá la energía hidráulica a cada actuador. Para calcular esta potencia,

denominada  $N_{neta}$ , se utiliza el caudal de la bomba. Anteriormente se calculó el caudal teórico que se necesita en la aplicación. A continuación, se calcula el caudal real de la bomba seleccionada a través de la Ec. 2.19, el cual se encuentra en función del desplazamiento real de la bomba y la velocidad angular del motor.

$$\dot{V}_{bomba} = V_{desp} * \omega \quad (2.19)$$

Sustituyendo los valores en la Ec. 2.19, se obtiene:

$$\dot{V}_{bomba} = 1750 \text{ rpm} \left( \frac{1 \text{ min}}{60 \text{ s}} \right) * 2 \text{ cm}^3/\text{rev} = 58.33 \text{ cm}^3/\text{s}$$

Se calcula la potencia neta de la bomba en la Ec. 2.20, en función de la presión hidráulica y el caudal real de la bomba.

$$N_{neta} = P_{hidr} * \dot{V}_{bomba} \quad (2.20)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.20 da como resultado:

$$N_{neta} = 13.79 \text{ MPa} * 58.33 \text{ cm}^3/\text{s} = 804 \text{ W}$$

Se procede a calcular la potencia total, la cual considera las pérdidas debido al rozamiento en mangueras, acoples y demás accesorios, estas son ~25% de la potencia neta. Este cálculo se realiza mediante la Ec. 2.21.

$$N_{total} = N_{neta} * 1.25 \quad (2.21)$$

Resolviendo la Ec. 2.21, se obtiene:

$$N_{total} = 804 \text{ W} * 1.25 = 1.005 \text{ kW}$$

Dado que esta potencia será la usada en cada puerto de salida, se debe duplicar este valor para obtener la potencia del motor. La potencia total que transmite el motor se calcula mediante la Ec. 2.22.

$$N_{motor} = N_{total} * 2 \quad (2.22)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.22 da un resultado de:

$$N_{motor} = 1.005 \text{ kW} * 2 = 2.011 \text{ kW}$$

Se selecciona el motor número de modelo CEM3611T, marca Baldor. Este motor tiene una potencia igual a 2.21 kW (3 HP) y gira a 1760 rpm a 60 Hz. En la Fig. 2.8 se presenta una imagen representativa del motor seleccionado, obtenida del catálogo presentado en el Anexo A4.



Fig. 2.8. Motor Eléctrico CEM3611T, 3HP, 1760RPM, 3PH, 60HZ, 182TC, 3632M, TEFC, F1.

#### 2.2.4. MANGUERAS

Para seleccionar las mangueras, se toman en consideración los siguientes parámetros: Caudal, velocidad deseada y diámetro de la manguera.

El caudal es la relación entre volumen de fluido bombeado y tiempo; este parámetro corresponde a los caudales proporcionados por la bomba múltiple. El caudal en la línea de succión y en la descarga a tanque es de  $116.67 \text{ cm}^3/\text{s}$ , ya

que el fluido bombeado por cada cuerpo de la bomba se une en un solo trayecto. Sin embargo, el fluido al pasar por la bomba sale en dos trayectos separados: uno para cada cilindro. Este caudal corresponde a  $58.33 \text{ cm}^3/\text{s}$  y se conserva hasta que ambos trayectos de los cilindros se unen para descargar en tanque, después del manifold.

La velocidad deseada se selecciona sobre la base de los intervalos aceptables para cada tipo de línea: ya sea línea de succión, línea de presión o línea de retorno. De seleccionar una velocidad muy rápida, puede generar inconsistencia en el flujo, daño interno a los componentes y fugas. De seleccionar una velocidad muy lenta, puede comprometer la salida de respuesta del sistema. Los intervalos de velocidad aceptables se presentan en la Tabla 2.3, y están basados en diversos nomogramas. En dicha Tabla 2.3, también se especifica el caudal que se tendrá en cada línea para esta aplicación basándose en el diagrama hidráulico del sistema. El diámetro de la manguera es el resultado que se calculó sobre la base del caudal y la velocidad deseada, aproximándose posteriormente a valores comerciales, así:

Tabla 2.3. Parámetros para selección de mangueras en las distintas líneas.

Tipo de línea	Caudal correspondiente, $\text{cm}^3/\text{s}$ (gal/min)	Intervalo de velocidad aceptable, m/s
Línea de succión	116.67 (1.849)	0.5 – 1
Líneas de presión	58.333 (0.924)	3.25
Línea de retorno	116.67 (1.849)	1.25 – 3

- Línea de succión.-

En la línea de succión no se tiene la necesidad de selección de manguera, ya que la bomba se encuentra sumergida en un tanque, lo que significa que el tramo entre bomba y filtro de succión será muy corto. Sin embargo, algunos conectores como codos y niples deben tener el diámetro adecuado para la velocidad recomendada en este tramo, por lo tanto, se calcula el diámetro ideal a través de la Ec. 2.23.

$$d = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} \quad (2.23)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.23, para ambas velocidades, se obtiene:

$$d_{m1} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4(116.67 \text{ cm}^3/\text{s}) \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}\right)^3}{\pi (1 \text{ m/s})}} = 12.19 \text{ mm}$$

$$d_{m1} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4(116.67 \text{ cm}^3/\text{s}) \left(\frac{1 \text{ m}}{100 \text{ cm}}\right)^3}{\pi (0.5 \text{ m/s})}} = 17.24 \text{ mm}$$

Se escoge un valor intermedio  $d_{m1}$  igual a 12.7 mm (0.5 pulg).

- Línea de presión.-

En la línea de presión no se desea elevar demasiado la velocidad y limitar en exceso el flujo debido a que este debe de ser regulado por medio de la válvula de estrangulamiento, la cual regulara la presión de la línea, por ello se selecciona la próxima superior al diámetro con velocidad máxima, favoreciendo un flujo laminar y controlado, Por lo tanto, se toma únicamente el límite de velocidad recomendado para línea de presión y se calcula a través de la Ec. 2.23, tal como se presenta a continuación:

$$d_{m2} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4(58.33 \text{ cm}^3/\text{s})(1 \text{ m}/100 \text{ cm})^3}{\pi (3.25 \text{ m/s})}} = 4.78 \text{ mm}$$

Se escoge el valor inmediatamente superior que se encuentra en el mercado. Por lo tanto, se escoge un  $d_{m2}$  igual a 6.35 mm (0.25 pulg). La selección de manguera que cumple dichos parámetros es la 421SN-4, referenciada en Anexo A5.

- Línea de retorno.-

En la línea de retorno se toma el intervalo de velocidades aceptables para calcular el diámetro de este tipo de línea. Se calculan ambos límites de velocidad a través de la Ec. 2.23, tal como se presenta a continuación:

$$d_{m3} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4(116.67 \text{ cm}^3/\text{s})(1 \text{ m}/100 \text{ cm})^3}{\pi (3 \text{ m}/\text{s})}} = 7.04 \text{ mm}$$

$$d_{m3} = \sqrt{\frac{4Q}{\pi v}} = \sqrt{\frac{4(116.67 \text{ cm}^3/\text{s})(1 \text{ m}/100 \text{ cm})^3}{\pi (1.25 \text{ m}/\text{s})}} = 10.9 \text{ mm}$$

Se escoge un valor intermedio de 9.525 mm (0.375 pulg). La selección de manguera que cumple dichos parámetros es la 421SN-6, referenciada en el Anexo A5.

### 2.2.5. DISEÑO DEL TANQUE HIDRÁULICO

La prensa será un equipo que en su mayor parte del tiempo permanecerá en un espacio fijo, y su ciclo de trabajo será usado de forma intermitente. Para el diseño del tanque hidráulico se considera la cantidad necesaria de aceite a almacenar, ya que este es el factor más determinante para su dimensionamiento.

Como regla general, la capacidad del depósito debe ser por lo menos 3 veces el volumen que corresponde al uso de la bomba durante un minuto, este se puede obtener a través del caudal real de la bomba calculado en la Ec. 2.19. Sin embargo, el caudal calculado deberá ser multiplicado por 2, ya que se toma en consideración la succión para ambos puertos. Se calcula entonces el volumen de diseño de tanque a través de la Ec. 2.24.

$$V_{diseño-tanque} = (\dot{V}_{bomba} * 2) * 60 s * 3 \quad (2.24)$$

Sustituyendo valores en la Ec. 2.24, se obtiene:

$$V_{diseño-tanque} = 116.67 \text{ cm}^3/s * 60 s * 3 = 21,000.6 \text{ cm}^3$$

El volumen mínimo de aceite que debe contener el tanque debe ser entonces  $21,000.6 \text{ cm}^3$  (5.55 gal). Es importante que el tanque para aceite no tenga menos capacidad de la calculada, ya que de ser así es posible que se cree un efecto remolino en el nivel de fluido, afectando al puerto de succión en la bomba. Este efecto remolino afecte la cabeza positiva de succión neta (o NPSHR, por sus siglas en inglés: Net Positive Suction Head), siendo posible generar cavitación en la bomba.

Se selecciona el tanque metálico para Unidades de Poder serie 550, de fabricante Parker, el cual tiene como dimensiones interiores 262 mm, 338 mm y 305 mm de largo, ancho y alto respectivamente. Su volumen total es de  $27 \text{ dm}^3$  (7.13 gal), en el cual se incluirá el volumen calculado para el aceite y un volumen menor correspondiente al aire que debe circular en su interior. Anexo a tanque se incluye el respirador para que el tanque mantenga presión atmosférica en su interior, y de igual forma se incluye visor de nivel, para poder monitorear el nivel de aceite en su interior. En la Fig. 2.9 se presenta los planos del tanque obtenido de catálogo.



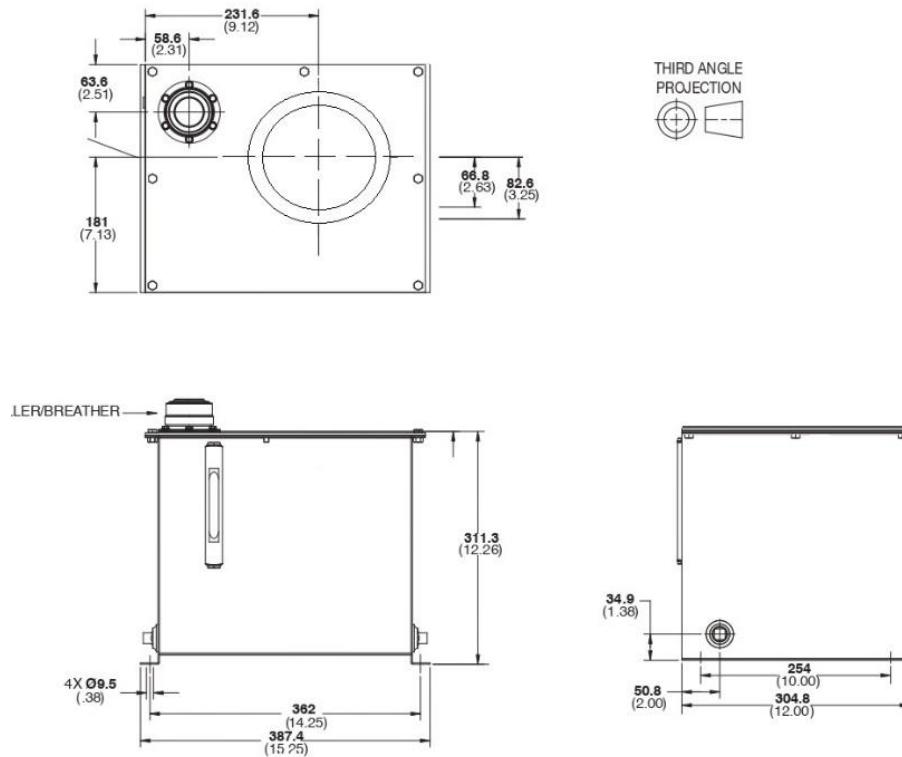


Fig. 2.9. Diagrama de tanque metálico para unidades de potencia hidráulica, serie 550, fabricante Parker [26].

## 2.2.6. INTERCAMBIADOR DE CALOR

Para calcular los parámetros necesarios que tendrá el intercambiador de calor de la máquina, se tomarán en consideración las propiedades de los fluidos a utilizar en el intercambiador, así como las propiedades críticas de temperatura a las que pueden estar sometidos los componentes del sistema hidráulico.

Para ello, se hace uso de la Ec. 2.25 para calcular la potencia de calor a disipar.

$$N_c = (\rho_{aceite} * \dot{V}_{bomba} * 2 * C * \Delta T) \quad (2.25)$$

Tomando como consideración que  $\dot{V}_{bomba}$  se multiplicará por 2 al analizar ambos puertos de salida, se presenta en la Tabla 2.4 las variables a utilizar en el cálculo de potencia del enfriador.

Tabla 2.4. Variables involucradas en el cálculo de dimensionamiento del enfriador.

Simbología	Magnitud	Criterio
$\rho_{aceite}$	$861.8 \text{ kg/m}^3$	De acuerdo con el fabricante
$\dot{V}_{bomba}$	$58.33 \text{ cm}^3/\text{s}$	Volumen desplazado por la bomba para un puerto de salida
$C_{aceite}$	$2.15 \text{ kJ/kg K}$	Para Aceites hidráulicos de alta presión
$\Delta T$	$80^\circ\text{C} - 30^\circ\text{C} = 50^\circ\text{C} = 50 \text{ K}$	Para condiciones críticas que es capaz de soportar el aceite bajo condiciones aceptables de trabajo.

Se sustituyen las variables en la Ec. 2.25 por las presentadas en la Tabla 2.4 a continuación:

$$N_c = 861.8 \text{ kg/m}^3 * 58.33 \text{ cm}^3/\text{s} * 2 * 2.15 \text{ kJ/kg K} * 50 \text{ K} = 10.8 \text{ kW}$$

Se selecciona entonces el enfriador número de modelo 4UJD7, el cual tiene una potencia de disipación igual a 13.42 kW (18 HP), marca Grainger. Este dispositivo debe de ser capaz de disipar de forma continua el calor generado dentro del sistema hidráulico por efecto del trabajo realizado por ambos cuerpos de la bomba hidráulica, manteniendo el aceite y los componentes en condiciones óptimas a regímenes continuos de trabajo.

## 2.2.7. FILTROS, VÁLVULAS, INSTRUMENTOS DE MEDICIÓN, ACOPLES MECÁNICOS Y FLUIDO HIDRÁULICO

En los apartados anteriores se describieron los componentes más relevantes en el diseño del sistema hidráulico, los cuales dependen de diferentes variables físicas antes descritas, y que requieren criterio y cálculos adicionales para su selección o diseño. De la selección o diseño de dichos componentes

parte la selección de otro grupo de componentes que se describen en la Tabla 2.5, y se seleccionan principalmente en función de la presión y caudal de trabajo previamente establecidos en cada línea, además de otros criterios particulares de selección respectivamente.

Tabla 2.5. Selección de componentes hidráulicos.

Componente	Análisis de selección				Selección (modelo y fabricante)
	Tipo de variable	Valor en operación	Valor máximo	Criterio para selección	
Filtro de succión	Caudal, $cm^3/s$	116.67	252.36	Utilizado en los dos actuadores	SE75111110, fabricante Parker
	Presión, $MPa$	N/A	N/A	Línea en operación es despresurizada	
	Filtración	N/A	125 $\mu m$	Evita que los objetos grandes entren en la bomba hidráulica	
Filtro de retorno	Caudal, $cm^3/s$	233.34	1009.44	Corresponde al flujo libre enviado por la bomba, tomando en consideración que es posible que se sume a este el enviado por ambos actuadores a tanque	12AT110BBP GN12N, fabricante Parker
	Presión, $MPa$	N/A	1.03	Línea en operación es despresurizada	
	Filtración	N/A	10 $\mu m$	Garantiza que el aceite en tanque permanezca limpio y sin impurezas que puedan provenir de otros componentes	
Válvula de Alivio de Presión	Caudal, $cm^3/s$	58.33	83.28	Caudal para un solo actuador	RE06M21T2N 1R0, fabricante Parker
	Presión, $MPa$	20.68	35	Presión máxima del sistema	
	Ajuste de presión, $MPa$	0-20.68	0-21	Intervalo de presión en la prensa para transmitir la fuerza de compresión.	
Válvula reductora de caudal antirretorno	Caudal, $cm^3/s$	58.33	189.27	Caudal para un solo actuador	F400S, fabricante Parker
	Presión, $MPa$	20.68	34.37	Presión máxima del sistema	
Manómetro análogo	Caudal, $cm^3/s$	N/A	N/A	Flujo nulo	221565, fabricante Bailey Hydraulics
	Presión, $MPa$	20.68	0-20.68	Intervalo deseado a medir, aunque no se espera someter al sistema a la carga máxima	

Continúa.

Continuación.- Tabla 2.6. Selección de componentes hidráulicos.

Componente	Análisis de selección				Selección (modelo y fabricante)
	Tipo de variable	Valor en operación	Valor máximo	Criterio para selección	
Válvula direccional 4/3, centro tandem	Caudal, $m^3/s$	58.33	832.79	Caudal para un solo actuador	D1VW009CN JW, fabricante Parker
	Presión, $MPa$	20.68	35	Presión máxima del sistema	
Válvula direccional 2/2	Caudal, $cm^3/s$	58.33	315.45	Caudal para un solo actuador	GS022710N, fabricante Parker
	Presión, $MPa$	20.68	34.37	Presión máxima del sistema	
Válvula reductora de caudal	Caudal, $cm^3/s$	58.33	416.39	Caudal para un solo actuador	N400S4F, fabricante Parker
	Presión, $MPa$	20.68	35	Presión máxima del sistema	
Sensor de presión	Caudal, $cm^3/s$	N/A	N/A	Flujo nulo	SCP03-250-25-07, fabricante Parker
	Presión, $MPa$	20.68	25	Presión máxima del sistema	
	Medición de presión, $MPa$	0-20.68	0-21	Intervalo de presión a ser usado en la prensa para transmitir la fuerza de compresión.	
Manifold, 2 estaciones, CETOP 3, Paralelo	N/A	N/A	N/A	Se usarán 2 válvulas CETOP 3 que deberán estar conectadas en paralelo	BM-ASP03S2-02-1/B, fabricante Magnaloy
Acople motor	N/A	N/A	N/A	Seleccionado sobre la base del eje de motor: Diámetro de 1 1/8 pulg y cuña de 1/4 pulg	M100 10408, fabricante Magnaloy
Acople bomba	N/A	N/A	N/A	Seleccionado sobre la base del eje de bomba: Diámetro de 1/2 pulg y cuña de 1/8 pulg	M100 01604, fabricante Magnaloy
Inserto	N/A	N/A	N/A	Inserto acorde a los acoples modelos M100	M170H5, fabricante Magnaloy
Montaje Motor-Bomba	N/A	N/A	N/A	Montaje para motor norma 182 TC y bomba norma SAE AA. Distancia entre ejes de 101.6 mm (4 pulg)	M182472AA, fabricante Magnaloy
Fluido hidráulico	N/A	N/A	N/A	Norma requerida en función de componentes (principalmente la bomba), es la norma ISO, DIN 51524-2.	Chevron Clarity Hydraulic Oil AW 32

## **2.3. DISEÑO Y SELECCIÓN DE COMPONENTES ESTRUCTURALES**

El diseño y selección de componentes estructurales constituye una serie de iteraciones basado en supuestos empíricos que serán comprobados o corregidos por medio de los análisis estructurales correspondientes. Para este caso se evalúa un perfil de dimensiones: 102 mm (4 pulg) y espesor 3.17 mm, y materiales acero AISI/SAE 1020 (productos disponibles en El mercado nacional) será capaz mercado); Se evalúa el supuesto de que dicho perfil soportará las condiciones críticas de diseño. Si el factor de seguridad global es superior al establecido como aceptable, se dará por satisfecho el supuesto.

Es de esta manera que se procede con el diseño de componentes estructurales y armaduras, así como con el análisis de soldadura.

### **2.3.1. DISEÑO ESTRUCTURAL DE ARMADURA DE ACERO PARA PRENSA HIDRÁULICA**

Cuando se aplican cargas a un sólido, el sólido se deforma y el efecto de las cargas se transmite a través del sólido. Las cargas externas inducen fuerzas internas y reacciones para regresar el sólido a un estado de equilibrio estático. En el análisis estático lineal se calculan los desplazamientos, las deformaciones unitarias, los esfuerzos y las fuerzas de reacción bajo el efecto de cargas aplicadas.

El análisis estático lineal realiza las siguientes suposiciones:

- a) Suposición estática: todas las cargas se aplican lenta y gradualmente hasta que alcanzan sus magnitudes completas. A continuación, las cargas permanecen constantes (sin variación en el tiempo). Esta suposición permite ignorar las fuerzas inerciales y de amortiguación debido a pequeñas aceleraciones y velocidades poco significativas. Las cargas que varían con el tiempo y que inducen fuerzas inerciales y/o de amortiguamiento significativo pueden garantizar el análisis dinámico. Las cargas dinámicas cambian con el

tiempo y en muchos casos inducen fuerzas inerciales y de amortiguación considerables que no pueden ser descuidadas:

- Es importante verificar la suposición estática ya que una carga dinámica puede generar esfuerzos de hasta  $X/2$  veces los esfuerzos generados por las cargas estáticas de la misma magnitud, donde  $X$  es el cociente de amortiguamiento viscoso. En el caso de una estructura ligeramente amortiguada en un 5%, los esfuerzos dinámicos son 10 veces mayores que los esfuerzos estáticos. El peor de los escenarios de casos se presenta en la resonancia;
  - Se puede utilizar el análisis estático para calcular la respuesta estructural de los sólidos que giran a velocidades constantes o se trasladan con aceleraciones constantes, ya que las cargas generadas no cambian con el tiempo; y
  - Utilice estudios dinámicos lineales o no lineales para calcular la respuesta estructural provocada por cargas dinámicas. Las cargas dinámicas incluyen cargas oscilatorias, impactos, colisiones y cargas aleatorias.
- b) Suposición de linealidad: La relación entre cargas y respuestas inducidas es lineal. Por ejemplo, si se duplican las cargas, la respuesta del modelo (desplazamientos, deformaciones unitarias y esfuerzos) también se duplica. Se puede realizar la suposición de linealidad si:
- Todos los materiales del modelo cumplen con la Ley de Hooke, esto es, el esfuerzo es directamente proporcional a la deformación unitaria Fig. 2.10;
  - Los desplazamientos inducidos son lo suficientemente pequeños como para ignorar el cambio en la rigidez causado por la carga; y
  - Las condiciones de contorno no varían durante la aplicación de las cargas. Las cargas deben ser constantes en cuanto a magnitud, dirección y distribución. No deben cambiar mientras se deforma el modelo.

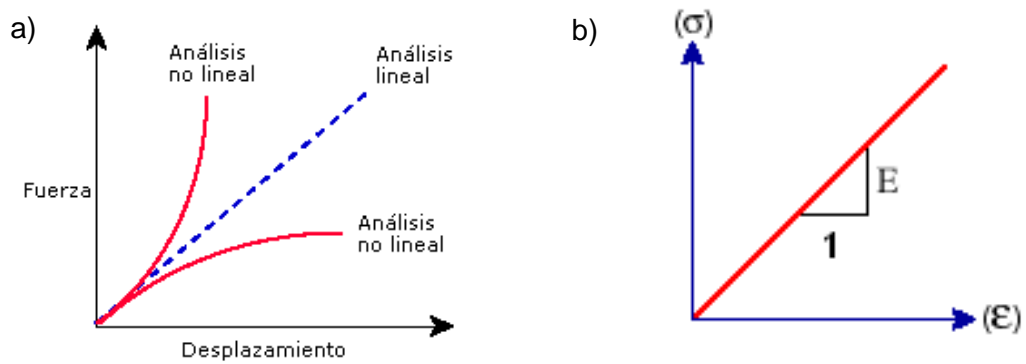


Fig. 2.10. Curvas de esfuerzo deformación esquemáticas.

A) Análisis estático de armadura de acero para prensa hidráulica.-

En los cálculos convencionales se traslada por medio de un análisis nodal todas las cargas internas que actúan entre elementos. El DCL (Diagrama de cuerpo libre) contiene la ubicación geométrica de las fuerzas aplicadas, y la dirección y magnitud de estas; también considera la ubicación geométrica del centro de gravedad y la magnitud de este; esto se presenta en la Fig. 2.11.

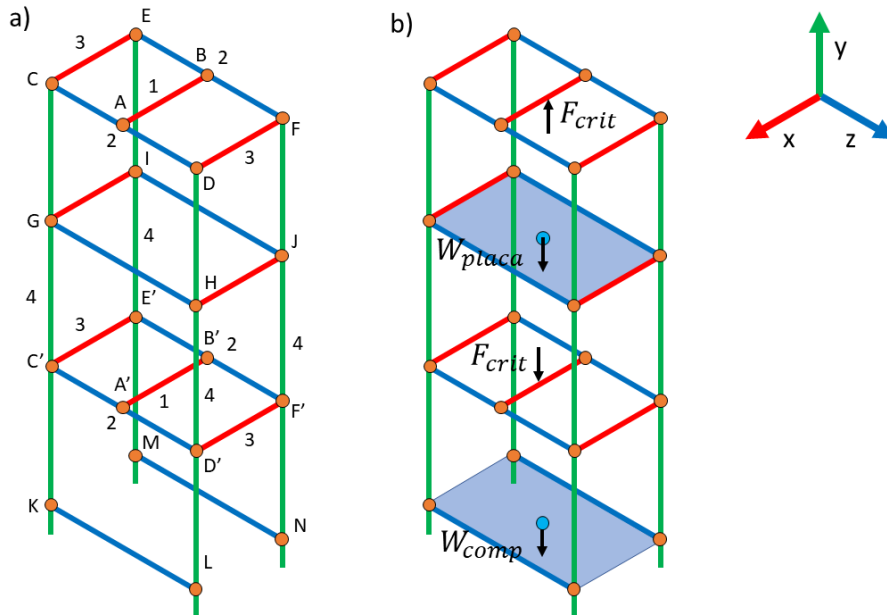


Fig. 2.11. Diagramas esquemáticos de estructura de prensa hidráulica: a) Diagrama de simbolización de nodos, vigas y columnas, b) Diagrama de cuerpo libre general.

Ha sido posible identificar simetría en gran parte de la armadura representada en la Fig. 2.11 en donde se puede notar que las mallas (conjunto

de elementos cerrados) numeradas con el mismo valor 1, 2 y 3, aunque de diferentes nodos, A, B, C, D, E y F y A', B', C', D', E' y F' están sometidos a cargas de igual magnitud y dirección, aunque diferente sentido, por lo que sus análisis son equivalentes el uno del otro.

También como simplificación adicional, existen dentro de cada malla antes mencionada, elementos numerados con un mismo valor que cumplen la misma función que su homólogo en la misma malla, por lo que se realizara un DCL común para cada par de elementos. Estas consideraciones reducen la redundancia en los cálculos realizados.

Partiendo de las consideraciones antes mencionadas se comenzó con el análisis nodal de la armadura, comenzando con el elemento sometido a la carga externa producto de la reacción con los actuadores, la magnitud de dicha carga es igual a la capacidad máxima de dichos actuadores. Posteriormente, se trasladan fuerzas y momentos de un elemento a otro por medio de las reacciones en los nodos como se describe a continuación.

En la Fig. 2.12 se presenta las longitudes de las vigas, las cuales serán usadas para analizar las fuerzas y momentos que se ejercen en las mismas.



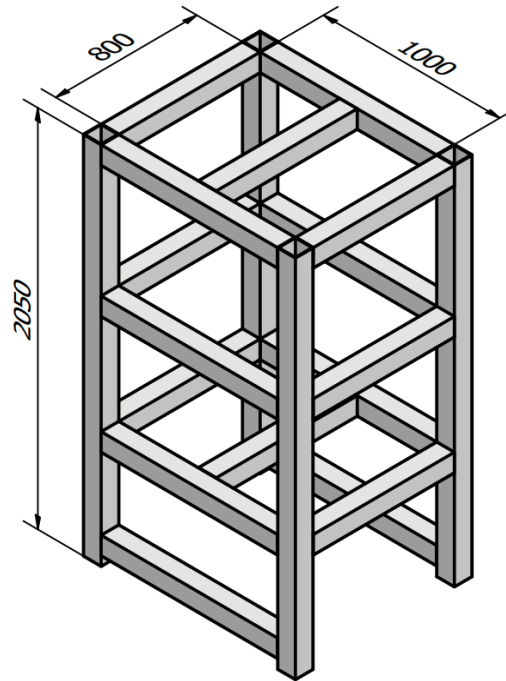


Fig. 2.12. Longitud de vigas a evaluar.  
Cotas en mm.

1) Elemento 1.

En la Fig. 2.13 se presenta el DCL del elemento 1, en donde se ubican la fuerza provocada por el cilindro hidráulico, y las reacciones de fuerza y momento en ambos empotramientos.

La fuerza crítica que se expresa,  $F_{crit} = 41,940.26 N$ , corresponde a la fuerza máxima que es capaz de entregar el cilindro hidráulico. Se considera que el sistema hidráulico diseñado no será sometido a la presión hidráulica correspondiente a esta fuerza crítica, sin embargo, no se descarta que de forma futura llegue a ser sometido a dicha presión hidráulica y es por ello que se toma el parámetro máximo del cilindro hidráulico seleccionado para realizar los cálculos de fuerza.

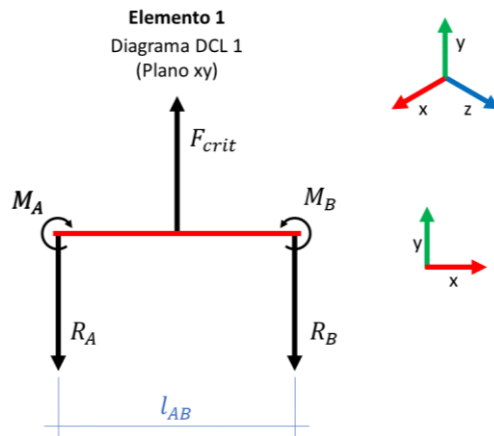


Fig. 2.13. DCL de elemento 1.

- Sumatoria de fuerzas en el eje y, para el elemento 1.

La fuerza externa y reacciones del elemento 1 se pueden relacionar como se presenta en la Ec. 2.25 por medio de una sumatoria de fuerzas.

$$\begin{aligned}
 +\uparrow \sum F_y &= 0 \\
 -R_A - R_B + F_{crit} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.26}$$

Dado que  $F_{crit}$  se encuentra ubicada en el centro de la viga, por simetría, se hace la siguiente consideración:  $R_A = R_B$ . Se resuelve entonces la Ec. 2.26 como:

$$R_A = \frac{F_{crit}}{2} = \frac{41,940.26}{2} = 20,970.13 \text{ N}$$

- Sumatoria de momentos en el eje z del nodo A, para el elemento 1.

En esta sección del análisis se establece un caso de doble empotramiento (como consecuencia de las uniones soldadas a ambos extremos), tal como se presenta en la Fig. 2.14, con una única fuerza en el centro de la viga. En este elemento por la posición de las fuerzas y momentos se produce simetría y al realizar el análisis mediante la derivada del área de cortantes, ocurre un desplazamiento en la gráfica de momento, donde el momento máximo se

presenta en  $\frac{l_{AB}}{2}$  y su magnitud es igual a la de los momentos en ambos extremos de la viga, tal como se presenta en la Fig. 2.14.

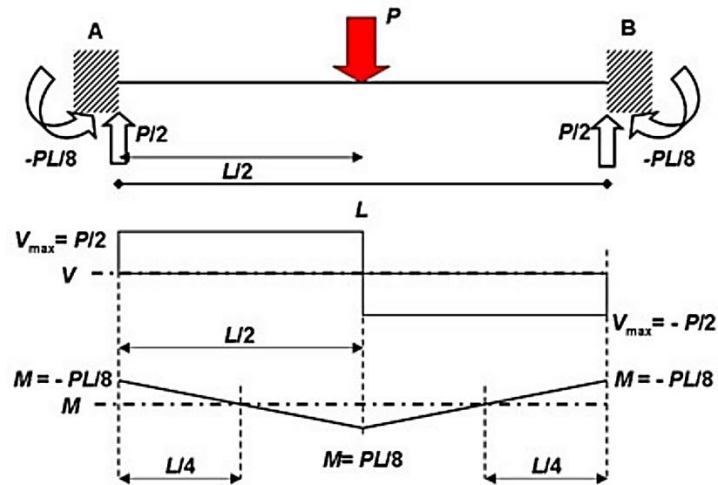


Fig. 2.14. Reacción de momentos para viga doblemente empotrada con una fuerza central [27].

Por lo tanto, se plantea en la Ec. 2.27 las reacciones de momento en cada extremo de la viga.

$$M_{A,z} = M_{B,z} = \frac{F_{crit} * l_{AB}}{8} \quad (2.27)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.27 da como resultado:

$$M_{A,z} = M_{B,z} = \frac{41,940.26 \text{ N} * 0.8 \text{ m}}{8} = 4,194.03 \text{ Nm}$$

## 2) Elemento 2.

A continuación, en la Fig. 2.15 se representa a través de un DCL los momentos y fuerzas que se ejercen en el elemento 2.

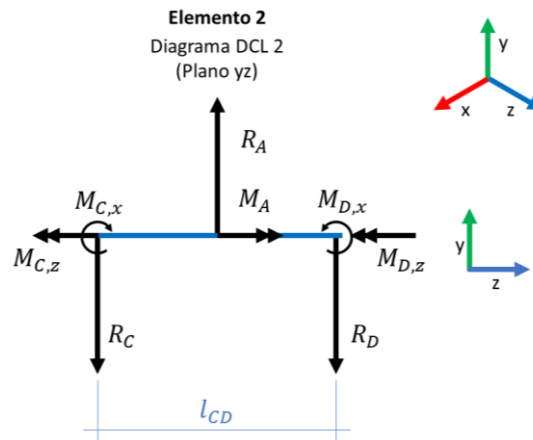


Fig. 2.15. DCL de elemento 2.

- Sumatoria de fuerzas en el eje y, para el elemento 2:  
Se describe mediante la Ec. 2.28 la sumatoria de fuerzas en el eje y de este elemento.

$$\begin{aligned}
 +\uparrow \sum F_y &= 0 \\
 -R_C - R_D + \frac{F_{crit}}{2} &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.28}$$

Dado que  $R_A$  se encuentra ubicada en el centro de la viga, por simetría, se hace la siguiente consideración:  $R_C = R_D$ . Al resolver la Ec. 2.28 se obtiene:

$$R_C = R_D = \frac{R_A}{2} = \frac{20,970.13 \text{ N}}{2} = 10,485.07 \text{ N}$$

- Sumatoria de momentos en el eje x del nodo C, para el elemento 2.  
Al analizar los momentos en el eje x para el elemento 2 se produce el mismo caso presentado en el eje z para el elemento 1, es decir, se tiene una viga empotrada a ambos lados con una única fuerza actuando en el centro de ella, la cual produce el momento máximo en la viga (ver Fig. 2.14). Por lo tanto, se plantea en la Ec. 2.29 las reacciones de momento en cada extremo de la viga,

respectivamente, en función de la fuerza en la posición de la viga y el largo de la viga.

$$M_{C,x} = M_{D,x} = \frac{R_A * l_{CD}}{8} \quad (2.29)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.29 da como resultado:

$$M_{C,x} = M_{D,x} = \frac{20,970.13 \text{ N} * 1.0 \text{ m}}{8} = 2,621.27 \text{ Nm}$$

- Sumatoria de momentos en el eje Z del nodo C, para el elemento 2.  
Se describe mediante la Ec. 2.30 la sumatoria momentos en el eje Z para este elemento.

$$\begin{aligned} +\leftarrow \sum M_{C,z} &= 0 \\ -M_{C,z} - M_{D,z} + M_A &= 0 \end{aligned} \quad (2.30)$$

Dado que  $M_{A,z}$  se encuentra ubicada en el centro de la viga, por simetría, se hace la siguiente consideración:  $M_{C,z} = M_{D,z}$  en la Ec. 2.31.

$$M_{C,z} = M_{D,z} = \frac{M_A}{2} \quad (2.31)$$

Resolviendo la Ec. 2.31 da como resultado:

$$M_{C,z} = M_{D,z} = \frac{4,194.03 \text{ Nm}}{2} = 2,097.01 \text{ Nm}$$

### 3) Elemento 3

A continuación, en la Fig. 2.16 se representan a través de un DCL los momentos y fuerzas que se ejercen en el elemento 3.

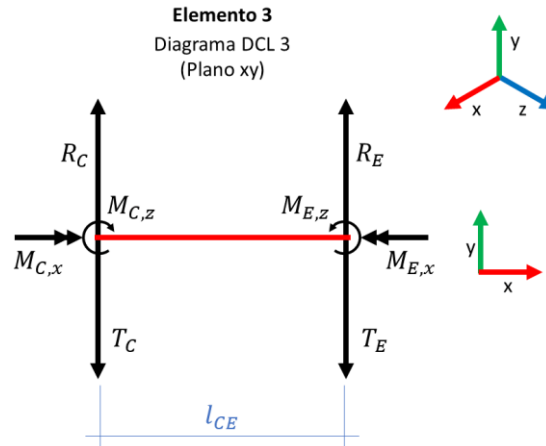


Fig. 2.16. DCL de elemento 3.

- Sumatoria de fuerzas en el eje y, elemento 3.  
Se describe mediante la Ec. 2.32 la sumatoria de fuerzas en el eje y de este elemento.

$$\begin{aligned}
 +\uparrow \sum F_y &= 0 \\
 R_C + R_E - T_C - T_E &= 0
 \end{aligned}
 \tag{2.32}$$

Dado que los análisis de las vigas EF y CD son congruentes al del elemento 2, se tiene que  $R_C = R_E$  y, por lo tanto, el análisis de fuerzas del elemento 3 posee simetría. Al resolver la Ec. 2.30 se obtiene, entonces:

$$T_C = T_E = R_C = R_E = 10,485.07 \text{ N}$$

- Sumatoria de momentos en el eje x y z en nodo C del elemento 3.  
Los momentos calculados para el nodo C del elemento 2, son iguales en magnitud que los percibidos en el elemento 3 en el mismo nodo, con la diferencia que su manifestación es distinta debido a que poseen direcciones diferentes, es decir, los momentos que eran flectores para el elemento 2 ahora actúan como

torsores en el elemento 3; de igual forma los momentos torsores en el elemento 2 ahora son flectores en el elemento 3.

#### 4) Elemento 4

Las cargas que soporta el elemento 4, el cual trabaja como una columna, son principalmente fuerzas verticales debido al peso de los mismos componentes y elementos estructurales. Además de estas fuerzas, también se encuentran los momentos transmitidos desde el elemento 1.

A continuación, en la Fig. 2.17 se representan a través de un DCL los momentos y fuerzas que se ejercen en el elemento 4.

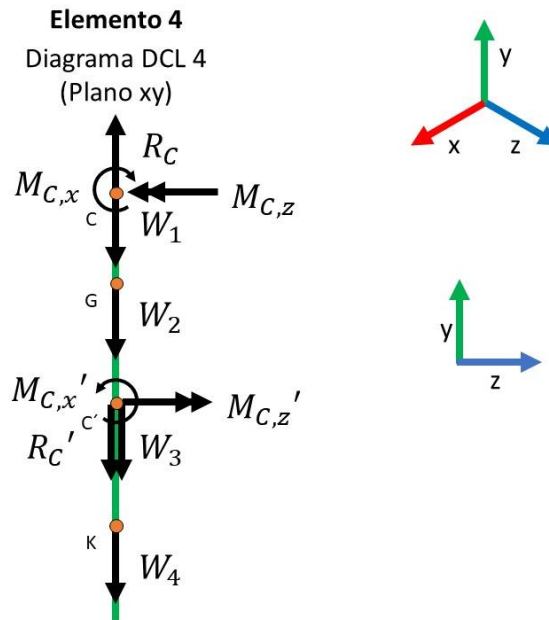


Fig. 2.17. DCL de elemento 4.

En cada nodo del elemento 4 existe una fuerza “W” que representa el peso de las vigas y componentes que se encuentran anexos a la estructura distribuidos en las 4 vigas. A continuación, se calculan las respectivas fuerzas “W” a través de la Ec. 2.33.

$$W = \sum \frac{W_{ele}}{4} \quad (2.33)$$

Para el nodo C se resuelve la Ec. 2.33 de la forma siguiente:

$$W_1 = \frac{(W_{ele\ 1} + 2W_{ele\ 2} + 2W_{ele\ 3} + W_{cilindro})}{4}$$
$$W_1 = \frac{77.50 + 2(96.87) + 2(77.50) + 62.78}{4} = 122.26\ N$$

donde:  $W_{ele\ 1} = 77.50\ N$ , es el peso del elemento 1;

$W_{ele\ 2} = 96.87\ N$ , es el peso del elemento 2;

$W_{ele\ 3} = 77.50\ N$ , es el peso del elemento 3; y

$W_{cilindro} = 62.78\ N$ , es el peso del cilindro hidráulico.

Para el nodo G se resuelve la Ec. 2.33 de la forma siguiente:

$$W_2 = \frac{2W_{ele\ 2} + 2W_{ele\ 3} + W_{plancha}}{4}$$
$$W_2 = \frac{2(96.87) + 2(77.50) + 341.62}{4} = 172.59\ N$$

donde:  $W_{plancha} = 341.62\ N$ , es el peso de la plancha metálica a ubicar sobre las vigas.

El nodo C' posee la misma cantidad y tamaño de componentes que el nodo C. Por lo tanto, al resolver la Ec. 2.33 se obtiene el mismo resultado:

$$W_3 = W_1 = 122.26\ N$$

Para el nodo K se resuelve la Ec. 2.33, de la forma siguiente:

$$W_4 = \frac{W_1 + 2W_2 + W_{plancha} + W_{componentes}}{4}$$
$$W_4 = \frac{77.50 + 2(96.87) + 341.62 + 793.43}{4} = 351.57\ N$$



donde:  $W_{componentes} = 793.43 \text{ N}$ , es el peso de los componentes ubicados en la plancha metálica.

- Sumatoria de fuerzas en el eje y, elemento 4.  
En la Ec. 2.34 se hace la sumatoria de fuerzas verticales en la columna.

$$+\uparrow \sum F_y = 0$$
$$R_C - W_1 - W_2 - R'_C - W_3 - W_4 + R_S = 0 \quad (2.34)$$

La única fuerza desconocida es  $R_S$  y representa la reacción ejercida por el piso a la estructura. Al resolver la Ec. 2.34, se obtiene:

$$R_S = W_1 + W_2 + R'_C + W_3 + W_4 - R_C$$
$$R_S = (122.26 + 172.59 + 10,485.07 + 122.26 + 351.57 - 10,485.07) \text{ N}$$
$$R_S = 768.68 \text{ N}$$

De los cálculos realizados previamente se puede concluir:

- a) Las vigas representadas por el elemento 1, representan las condiciones más críticas de diseño de toda la armadura, sobre todo en la categoría de elemento sometido a cargas flectantes; y
- b) Las vigas representadas por el elemento 4, representan las condiciones más críticas de diseño, en condiciones de cargas combinadas, tipo axiales y flectantes.

#### B) Análisis de falla de elementos críticos sometidos a esfuerzos.-

Una vez que se calcularon las cargas externas y las reacciones que estas ocasionan es posible proceder al cálculo de los esfuerzos y deformaciones. Para el cálculo de los esfuerzos se basa en la teoría de esfuerzos combinados y teoría de falla de Energía de Distorsión Máxima para Materiales Dúctiles. Este análisis se realizará solamente a los elementos críticos, los cuales son el 1 y 4:

1) Esfuerzos en el elemento 1

En la Fig. 2.18 se esquematizan las cargas internas del elemento 1.

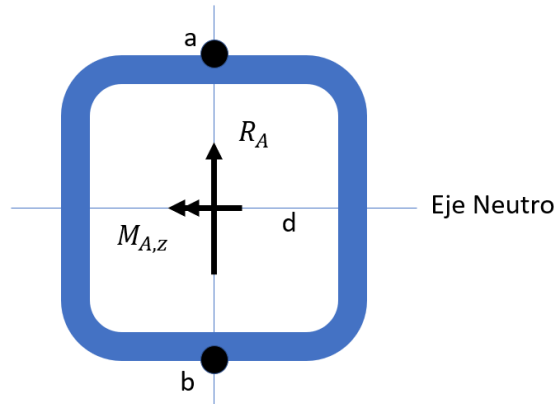


Fig. 2.18. Cargas internas en la sección transversal del perfil estructural, elemento 1.

Se calculará a través de la Ec. 2.35 el esfuerzo normal que se ejerce sobre el perfil estructural debido al momento flector.

$$\sigma_M = \frac{M c}{I} \quad (2.35)$$

donde:  $M$  es el momento flector con relación al eje neutro,

$c$  es la distancia desde el eje neutro hasta el punto de análisis, y

$I$  es el momento de inercia de la superficie proyectada con relación al eje neutro.

Para el cálculo del esfuerzo normal, es necesario calcular el momento de inercia en dirección del eje  $z$  en el perfil, por medio de la Ec. 2.36.

$$I_z = \frac{a_{ext}^4}{12} - \frac{a_{int}^4}{12} \quad (2.36)$$

Se conoce que “ $a_{ext}$ ” y “ $a_{int}$ ” representan las longitudes de aristas perimetrales de sección transversal, y tienen un valor de 102 mm y 95 mm. Por lo tanto, al resolver la Ec. 2.36 se obtiene:

$$I_z = \frac{(102 \text{ mm})^4}{12} - \frac{(95 \text{ mm})^4}{12} = 2.02 \times 10^{-6} \text{ m}^4$$

Ahora es posible resolver la Ec. 2.35. Se conoce que “ $c$ ” representa la distancia del centroide de la sección transversal hasta el punto que se evalúa, y en este caso tiene un valor de 51 mm. Por lo tanto, al resolver la Ec. 2.35 se obtiene:

$$\sigma_{M,x} = \frac{M_{A,z}c}{I}$$

$$\sigma_{M,x} = \frac{(4,194.03 \text{ Nm})(51 \text{ mm})}{2.02 \times 10^{-6} \text{ m}^4} = 105.47 \text{ MPa}$$

Se calcula el esfuerzo cortante de sección transversal a través de la Ec. 2.37.

$$\tau_x = \frac{R_A}{A} \tag{2.37}$$

Se conoce que el área de sección transversal de perfil “A” es igual a  $1.25 \times 10^{-3} \text{ m}^2$ . Por lo tanto, al resolver la Ec. 2.37 se tiene:

$$\tau_x = \frac{20,970.13 \text{ N}}{1.25 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 16.78 \text{ MPa}$$

Se calculan los esfuerzos combinados debido al esfuerzo cortante y esfuerzo flector en la superficie a tensión a través de la Ec. 2.38.

$$\sigma = \sqrt{\sigma_{M,x}^2 + 3\tau_x^2} \quad (2.38)$$

Sustituyendo valores en el Ec. 2.38 se tiene:

$$\sigma = \sqrt{(105.47 \text{ MPa})^2 + 3(16.78 \text{ MPa})^2} = 109.4 \text{ MPa}$$

Se calcula el factor de seguridad a través de la teoría de falla para materiales dúctiles a través de la Ec. 2.39.

$$n = \frac{0.6 * S_{m\acute{a}x}}{\sigma} \quad (2.39)$$

El esfuerzo a carga máxima para el material del cual ha sido fabricado el perfil estructural es igual a  $S_{m\acute{a}x} = 420 \text{ MPa}$ . Por lo tanto, al resolver la Ec. 2.39 se obtiene:

$$n = \frac{0.6 * 420 \text{ MPa}}{109.4 \text{ MPa}} = 2.3$$

## 2) Esfuerzos en el elemento 4

El elemento 4 tiene una función estructural de columna, y combina diferentes tipologías de cargas: cargas flectoras en dos direcciones y cargas axiales; entre los nodos más críticos C y C' que representan las cargas provocadas por el actuador superior y actuador inferior respectivamente. De los dos nodos antes descritos, el nodo inferior C' combina la mayor cantidad de cargas axiales compresivas y momentos con acción compresiva y se representa en la Fig. 2.19. Se busca evaluar como punto crítico la esquina donde sucede la flexión en dos ejes,  $M_{C,x'}$  y  $M_{C,z'}$ , comprimen junto a  $W_1 + W_2 + W_3$  en la esquina entre "c" y "b".

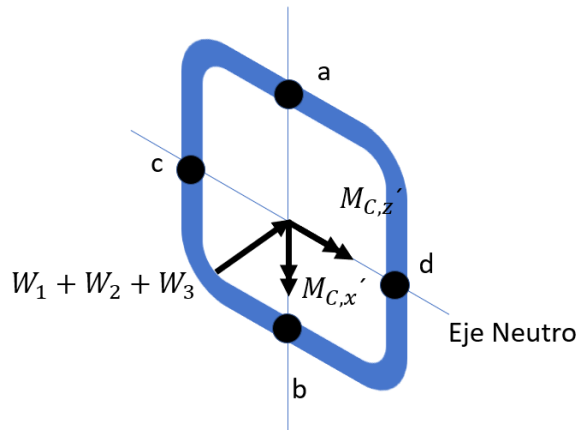


Fig. 2.19. Cargas internas en la sección transversal del perfil estructural, elemento 4.

Se resuelve a través de la Ec. 2.40 el esfuerzo provocado por la flexión en dos ejes:

$$\sigma_x = \frac{M_z y}{I_z} + \frac{M_y z}{I_y} \quad (2.40)$$

Al utilizar las variables y ejes correctos para el caso a analizar, se evalúa la Ec. 2.40 como:

$$\sigma_{M,y} = \frac{M_{C,x'} c_z}{I_y} + \frac{M_{C,z'} c_x}{I_z}$$

Al ser un perfil simétrico, el segundo momento de inercia es igual en ambos ejes ( $I_y = I_z$ ) y, de igual forma, la distancia del punto de aplicación al centroide es la misma ( $c_z = c_x$ ). Por lo tanto, al resolver la Ec. 2.40 se tiene como resultado:

$$\sigma_{M,y} = \frac{(2,621.27 \text{ Nm})(50.8 \text{ mm})}{2.02 \times 10^{-6} \text{ m}^4} + \frac{(2,097.01 \text{ Nm})(50.8 \text{ mm})}{2.02 \times 10^{-6} \text{ m}^4} = 118.66 \text{ MPa}$$

Se calcula ahora el esfuerzo provocado por la fuerza axial de compresión a través de la Ec. 2.41.

$$\sigma_{P,y} = \frac{P}{A} \quad (2.41)$$

La fuerza P es la resultante de las fuerzas compresoras que actúan en el perfil. Se calcula a través de la Ec. 2.42.

$$P = W_1 + W_2 + W_3 \quad (2.42)$$

$$P = 122.26 \text{ N} + 172.59 \text{ N} + 122.26 \text{ N} = 417.11 \text{ N}$$

Utilizando el área del perfil y la fuerza P, se resuelve la Ec. 2.41.

$$\sigma_{P,y} = \frac{417.11 \text{ N}}{1.25 \times 10^{-3} \text{ m}^2} = 333.69 \text{ kPa}$$

Se realiza la suma de esfuerzos en la Ec. 2.43.

$$\sigma = \sigma_{P,y} + \sigma_{M,y} \quad (2.43)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.43 se tiene:

$$\sigma = 118.66 \text{ MPa} + 333.69 \text{ kPa} = 118.99 \text{ MPa}$$

Utilizando la teoría de falla para materiales dúctiles, se calcula el factor de seguridad a través de la Ec. 2.39, nuevamente:

$$n = \frac{0.6 * 420 \text{ MPa}}{118.99 \text{ MPa}} = 2.12$$

Se puede notar que los factores de seguridad en el análisis de esfuerzos realizado en los elementos 1 y 4 resulta ser igual a 2.12 y cumplen

satisfactoriamente de acuerdo con el criterio establecido en el Anexo A6, el cual es un factor de seguridad mínimo igual a 2.0.

C) Análisis de Soldadura.-

El análisis de soldadura para materiales dúctiles, parte de los criterios establecidos en la teoría de la energía de distorsión máxima. El espesor del perfil cuadrado para la estructura metálica analizada es de 3.18 mm, por este motivo la posición de soldadura que se debe emplear para la unión de cada viga es a tope como lo presenta la Fig. 2.20.

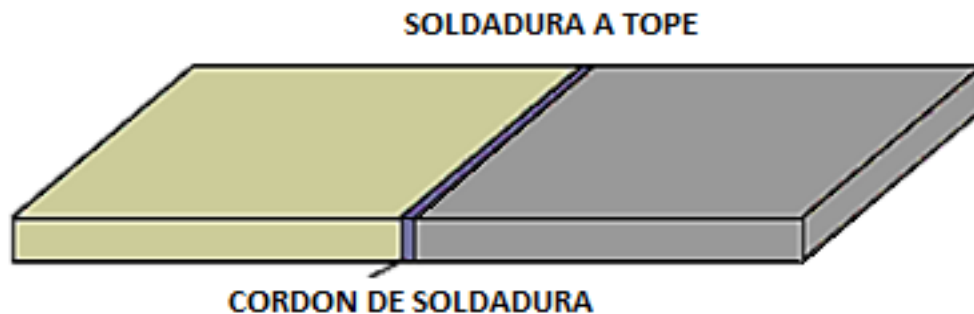


Fig. 2.20. Esquema representativo de soldadura a tope.

En la Tabla 2.6 se presenta un resumen de los diferentes parámetros y propiedades necesarios para la selección del electrodo, de acuerdo con criterios presentados por diversos autores. En la Tabla 2.7 se presenta las propiedades de diferentes electrodos, en función de su tamaño.

Tabla 2.7. Medida del electrodo con relación el espesor del material.

Parámetro	Selección	Propiedad
Tipo de electrodo	AWS E7018	Resistencia máxima a la tracción: 483 MPa (70 ksi).
Diámetro del electrodo	3.18 mm (1/8 pulg)	Recomendable para calibre de 3.18 mm
Posición de soldadura	A tope	Para espesores menores a 3 mm

Tabla 2.8. Medida del electrodo con relación el espesor del material, manual del soldador.

Posición plana Espesor del metal, mm	Medida del electrodo, mm (pulg)	Corriente aproximada, A
1.21 (Calibre 18)	2.38 (3/32)	50 – 80
1.52 (Calibre 16)	2.38 (3/32)	
1.90 (Calibre 14)	3.18 (1/8)	90 – 135
2.66 (Calibre 12)	3.18 (1/8)	
3.42 (Calibre 10)	3.97 o 3.18 (5/32 o 1/8)	120 – 175
4.76 (3/16 pulg)	3.97 o 3.18 (5/32 o 1/8)	
6.35 (¼ pulg)	4.76 o 3.97 (3/16 o 5/32)	140 – 200
7.94 (5/16 pulg)	4.76 o 3.97 (3/16 o 5/32)	200 – 275
9.53 (3/8 pulg)	6.35 o 4.76 (1/4 o 3/16)	250 – 350
12.70 (½ pulg)	6.35 o 4.76 (1/4 o 3/16)	

En la Ec. 2.44 se calcula el área efectiva de soldeo.

$$A_{sold} = gL_T \quad (2.44)$$

donde:  $A_{sold}$  es el área efectiva de soldeo;

$g$  es la longitud de la garganta de la soldadura (la cual es la bisectriz del triángulo de soldadura, en su vista lateral); y

$L_T$  es la longitud del cordón de soldadura.

En la Ec. 2.45 se obtiene la longitud de la garganta de la soldadura a través de  $h$ , donde  $h$  representa el cateto adyacente del triángulo que forma la sección transversal de la soldadura.

$$g = h \operatorname{sen} 45^\circ = \frac{\sqrt{2}}{2} h \quad (2.45)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.45, se tiene:

$$g = \frac{\sqrt{2}}{2} (3.18 \text{ mm}) = 2.24 \text{ mm}$$

En la Ec. 2.46 se obtiene la longitud del cordón de soldadura



$$L_T = (4a_{ext}) \quad (2.46)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.46 da como resultado:

$$L_T = 4(101.6\text{mm}) = 406.4\text{ mm}$$

Sustituyendo en la Ec. 2.44 los valores obtenidos en las Ec. 2.45 y 2.46.

$$A_{sold} = 2.24\text{ mm} * 406.4\text{ mm} = 910.34\text{ mm}^2$$

En la Fig. 2.21 se presenta el área transversal del cordón de soldadura y en la Fig. 2.22 se presenta el área transversal de soldadura (el cual es el contorno del perfil cuadrado metálico).

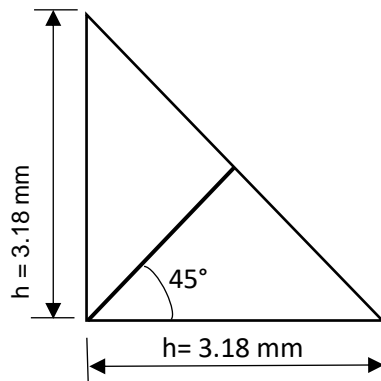


Fig. 2.21. Vista lateral del cordón de soldadura.

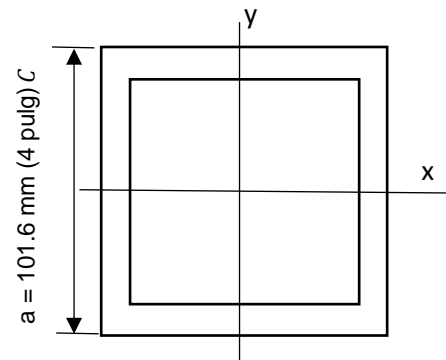


Fig. 2.22. Vista lateral del área de soldadura.

Mediante la Ec. 2.47 se calcula el esfuerzo cortante primario.

$$\tau' = \frac{R_A}{A_{sold}} \quad (2.47)$$

Resolviendo la Ec. 2.47 da como resultado:

$$\tau' = \frac{20,970.13\text{ N}}{910.34\text{ mm}^2} = 23.04\text{ MPa}$$

Se calcula el esfuerzo cortante por flexión a través de la Ec. 2.48.

$$\tau = \frac{M_{A,z} c}{I} \quad (2.48)$$

El perfil por utilizar es cuadrado por lo que el centroide se obtiene de la manera siguiente, a través de la Ec. 2.49:

$$\bar{x} = \bar{y} = \frac{a_{ext}}{2} \quad (2.49)$$
$$\bar{x} = \bar{y} = \frac{101.6 \text{ mm}}{2} = 50.8 \text{ mm}$$

El momento inercial está dado por la Ec. 2.50:

$$I = (\text{Sen } 45^\circ) h I_u \quad (2.50)$$

donde:  $h$  es la altura del cordón de soldadura, presentada en la Fig. 2.22, y

$I_u$  es el segundo momento inercial unitario.

De la Fig. 2.23 se obtiene la ecuación del segundo momento unitario para una soldadura con una figura geométrica rectangular. En el caso que se está evaluando,  $b$  y  $d$  son iguales por lo que la ecuación se simplifica de la manera siguiente, en la Ec. 2.51:

$$I_u = \frac{2(a_{ext})^3}{3} \quad (2.51)$$
$$I_u = \frac{2(101.6 \text{ mm})^3}{3} = 699,181.40 \text{ mm}^3$$

Sustituyendo en la Ec. 2.48 se obtiene el momento inercial:

$$I = \text{Sen } 45^\circ (3.18 \text{ mm})(699,181.40 \text{ mm}^3) = 1,572,178.99 \text{ mm}^4$$

El momento flector es calculado en el apartado A (análisis estático) de esta sección del capítulo y es igual a  $M_{A,z} = 4,194,030 \text{ N} \cdot \text{mm}$ .

Sustituyendo en la Ec. 2.48, se obtiene el esfuerzo cortante por flexión:

$$\tau'' = \frac{(4,194,030 \text{ N} \cdot \text{mm})(50.8 \text{ mm})}{1,572,178.99 \text{ mm}^4} = 135.52 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}$$

Finalmente se utiliza la Ec. 2.52 para obtener el esfuerzo cortante, donde se sustituye el resultado de las Ec. 2.47 y 2.48:

$$\tau = \sqrt{(\tau')^2 + (\tau'')^2} \quad (2.52)$$

$$\tau = \sqrt{(23.04 \text{ MPa})^2 + (135.52 \text{ MPa})^2} = 137.46 \text{ MPa}$$

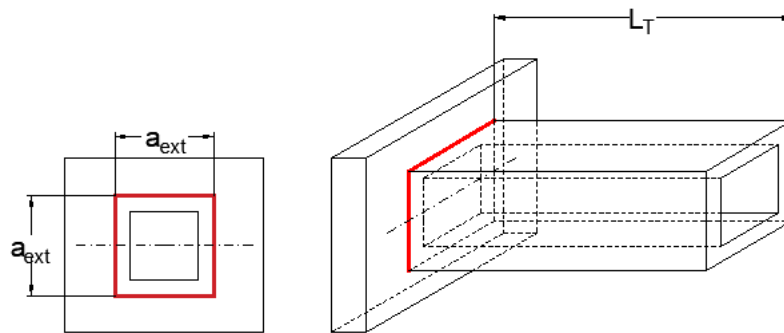


Fig. 2.23. Propiedades flexionantes para soldadura.

Para verificar si la soldadura resistirá los esfuerzos a los que será sometida, se calcula el factor de seguridad basado en los criterios presentados por ASTM para materiales dúctiles a través de la Ec. 2.53, donde se tiene que  $S_y = 0.6 * S_{m\acute{a}x}$ . El esfuerzo a carga máxima del aporte realizado por el electrodo AWS E7018 es de  $483 \text{ MPa}$ , y para el material base de acero AISI 1020 el esfuerzo a carga máxima es de  $420 \text{ MPa}$ , como criterio conservador y en el entendimiento que en el proceso de soldadura se realiza una combinación de materiales de aporte, se utiliza la resistencia del material base, por ser de menor capacidad.

$$n = \frac{0.6 * S_{m\acute{a}x}}{\tau} \quad (2.53)$$

Sustituyendo en la Ec. 2.53 da como resultado:

$$n = \frac{0.6 * 420}{137.46} = 1.83$$

Para construcciones soldadas se recomienda un factor de seguridad de 1.75, por lo tanto, con el valor obtenido en la Ec. 2.53 se determina que la soldadura es capaz de soportar los esfuerzos a los que será sometida y dar la seguridad al usuario de que no fallará.

### **2.3.2. MONTAJE DE LOS ACTUADORES**

Tomando en consideración que se efectuara un trabajo a compresión, se utiliza un montaje a cuatro pernos.

Para el montaje del actuador, se considera que el cilindro seleccionado posee un tubo transversal el cual deberá ser removido con una herramienta de corte (pulidora con disco abrasivo de corte). Este cilindro deberá ser entonces montado a una brida, el cual tras consultar el catálogo para cilindros americanos del fabricante Power Team, basados en carga y diámetro, se diseña la brida homóloga a la pieza 350099 de dicho fabricante. Esta brida diseñada se presenta en la Fig. 2.24 y está dimensionado para que su ancho sea igual que la viga a la cual será montado (101.6 mm).

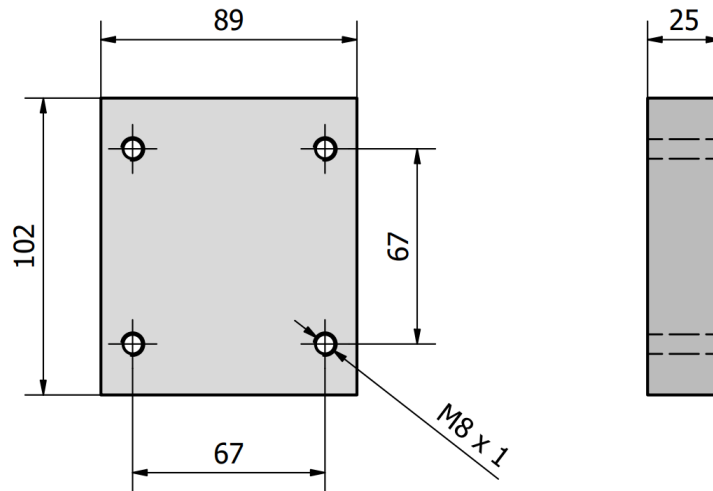


Fig. 2.24. Dimensionamiento de la brida para cilindro. Cotas en mm.

Para que el cilindro pueda ser removido con facilidad, y para no perforar la viga a la cual será fijado (de forma que se evita la concentración de esfuerzos), se decide utilizar dos bridas. Una brida será soldado directamente a la viga y tendrá 4 agujeros roscados para poder ser empernado a la segunda brida. Este segunda brida tendrá 4 agujeros roscados y será a su vez soldado al cilindro hidráulico. Los pernos seleccionados para la fijación son M8, los cuales no están sometidos a cargas cortantes. De esta forma será posible, en caso de ser necesario, remover fácilmente el cilindro de la estructura metálica a través de desenroscar los pernos que unen a las bridas. En la Fig. 2.25 se presenta la unión de los componentes que conforman dicho montaje. Para el montaje de ambos cilindros se utilizará el mismo procedimiento.

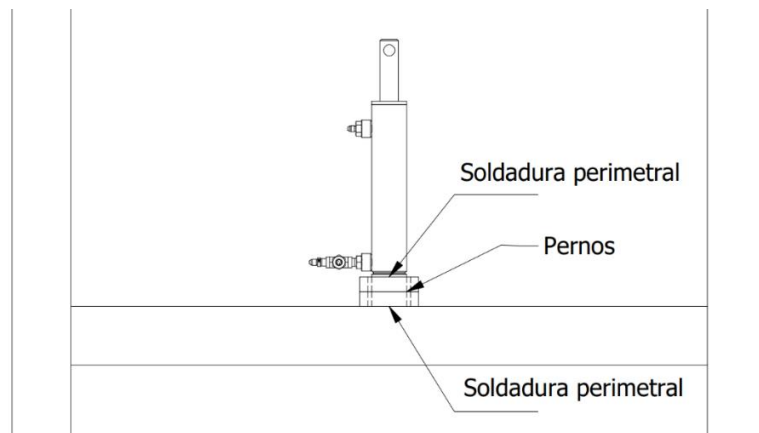


Fig. 2.25. Diagrama representativo para fijación de cilindro.

## 2.4. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL

Para el funcionamiento de la prensa es necesario implementar un sistema de control que consiste en el envío de señales eléctricas a las válvulas de dirección de flujo y válvulas de alivio.

Las señales eléctricas básicas se pueden visualizar en la Fig. 2.26, y consisten en las señales necesarias que corresponden a la extensión y retracción de los cilindros superior e inferior, respectivamente. Así como también las señales para activar el funcionamiento en baja velocidad para cada cilindro; además, se incluyen señales para paro de emergencia y para extender ambos cilindros simultáneamente. En total, se tienen entonces 8 funciones básicas a ser implementadas por el sistema de control.

Además de las señales descritas en la Fig. 2.26, es necesario el uso de señales analógicas para el control de las válvulas de alivio proporcional. De esta forma, la apertura de presión entre 0 y 21 MPa (0 y 3045.79 psi), lo que es igual a decir entre 0% y 100%, será controlada a través del envío de una señal analógica entre 4 y 20 mA para cada válvula de presión proporcional. De esta forma, ambos ajustes de presión resultan en otras 2 funciones a ser implementadas por el sistema de control. Los parámetros de las válvulas de direccionamiento de flujo y de las válvulas de alivio proporcional se presentan resumidos en la Tabla 2.8.

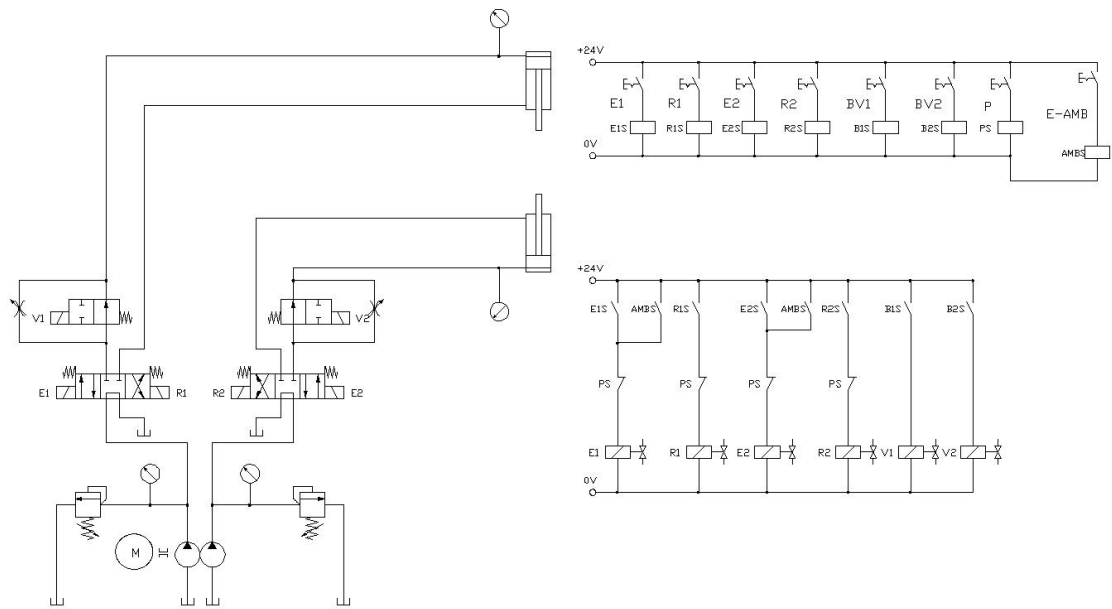


Fig. 2.26. Circuito de control básico para envío de señales digitales a los actuadores.

Para garantizar que la pieza en verde alcance la presión de compactación y las dimensiones deseadas se incluye en el diseño también un sensor de presión y un sensor de posición para cada cilindro, ubicados en el puerto de entrada para la extensión del cilindro hidráulico y al costado de este respectivamente.

El sensor de presión seleccionado es capaz de medir entre 0 y 25 MPa, y envía una señal entre 4 y 20 mA al módulo controlador. De esta forma se añaden 2 funciones más al sistema de control. A través de este sensor de presión se puede programar que los cilindros hidráulicos se detengan hasta alcanzar la presión deseada. Los parámetros de funcionamiento de este componente se resumen en la Tabla 2.9.

El sensor de posición escogido es un medidor de distancia laser con un funcionamiento basado en la triangulación laser la cual rebotara en una placa (véase plano de fabricación C2, detalle 1.3), cuenta con un alcanza de 25mm a 300 mm y una resolución de 0.3 mm así como una salida analógica de 4 a 20 mA. Dicho dispositivo tiene el propósito de retroalimentar el circuito de control en el instante de aproximarse o encontrarse en la posición establecida para obtener las dimensiones del producto final, tal que se alcance la presión adecuada al

mismo tiempo que la posición final, estas características se pueden ver en la tabla 2.10.

Tabla 2.9. Señales de salida para enviar al sistema hidráulico.

Componente	Cantidad	Voltaje, V DC	Potencia, W	Tipo de señal	Cantidad de señales por componente
Electroválvula biestable	2	24	30	Digital	2
Electroválvula monoestable	2	24	14	Digital	1
Válvula de alivio proporcional	2	24	36	Análoga (De 4 a 20 mA)	1

Tabla 2.10. Señal de entrada proveniente del sistema hidráulico.

Componente	Descripción	Cantidad	Tipo de señal	Cantidad de señales por componente
Sensor de presión	Elemento para medir la presión real que poseen los cilindros hidráulicos en su puerto de entrada	2	Análoga (De 4 a 20 mA)	1
Sensor de desplazamiento	Dispositivo fotoeléctrico que permite medir la posición del actuador	2	Análoga (De 4 a 20 mA)	1

Sobre la base de las funciones necesarias del módulo de control, se selecciona el controlador “PLC”, ya que es capaz de cumplir las funciones descritas, sin llegar a ser un componente muy complejo. Añadido a este módulo será necesario el uso de módulos de expansión para salidas analógicas y módulo de expansión para entradas analógicas para cumplir las respectivas funciones.

Se utiliza el programa LOGO! SOFT COMFORT para crear el programa de control de la prensa, este se representa en la Fig. 2.27. El PLC seleccionado es el PLC 6ED1052-1FB00-0BA8 de la marca SIEMENS.



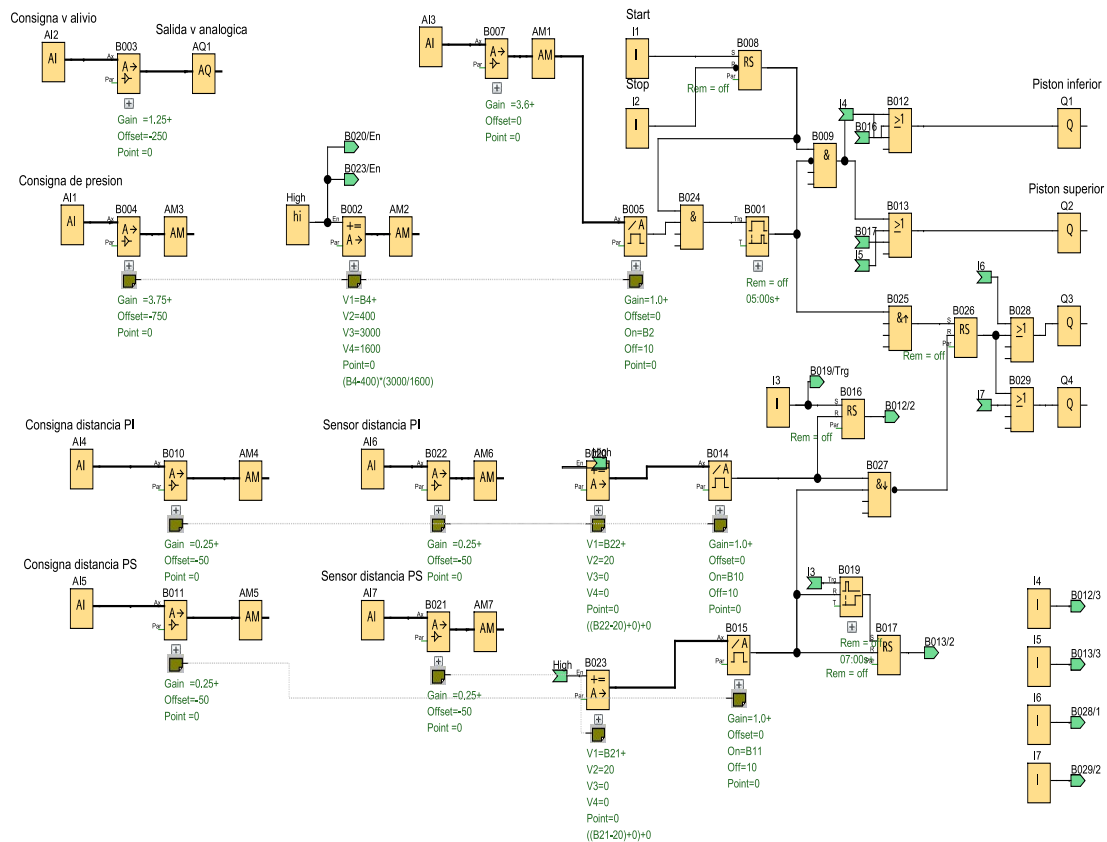


Fig. 2.27. Programa de control de PLC.

## 2.5. REPRESENTACIÓN DEL PROTOTIPO

Sobre la base de los componentes diseñados y seleccionados, tanto del sistema hidráulico como también estructurales, se esquematiza en la Fig. 2.28 una imagen renderizada que representa la prensa hidráulica para compactación de polvos metálicos para sinterizado. Esta imagen renderizada fue generada a través del software de tipo CAD llamado Autodesk Inventor.

Este prototipo además de los componentes ya antes descritos incluirá:

- Un juego de guardas de seguridad tipo gabinete;
- Compuertas con interruptores como micros de seguridad, que detendrán el equipo cuando estas se encuentren abiertas, y permitirá que el equipo opere de forma segura para los estudiantes; y

- Luminarias e interruptores internos para trabajar en condiciones de poca iluminación ambiental, y permitir apreciar de forma correcta el proceso.

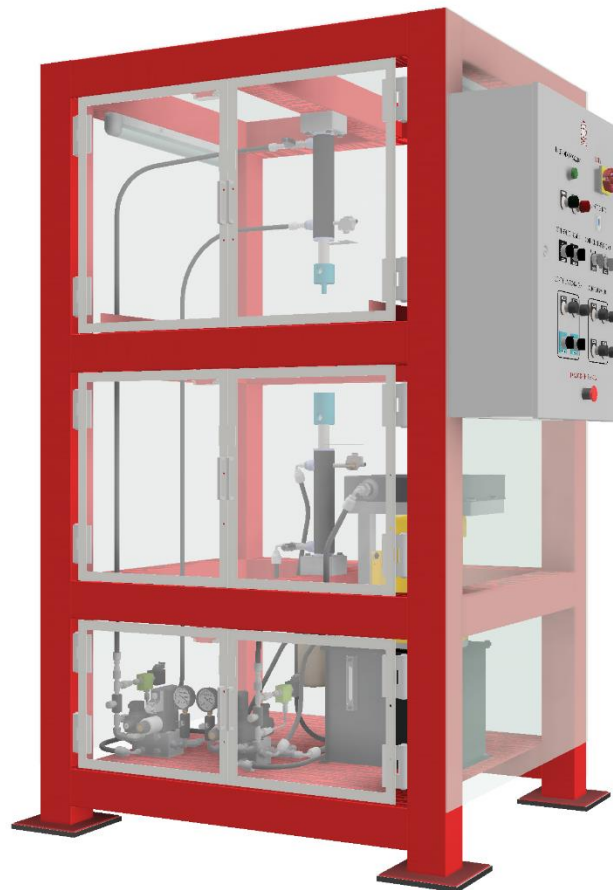


Fig. 2.28. Dibujo CAD de la prensa para sinterizado diseñada.

### 3. ESTUDIO DE FACTIBILIDAD TÉCNICA Y COSTOS

Antes de abordar la factibilidad es importante describir brevemente los objetivos implícitos en el diseño de una prensa hidráulica para compactación de polvos metálicos para el sinterizado, los cuales se describen a continuación:

- Contar con gran versatilidad para la elaboración de piezas en verde de diferentes tamaños y requisitos mecánicos respecto a límites prácticos. Lo que se traduce en la capacidad de poder incluir datos intercambiables y parametrización de variables como la carrera y la presión;
- Garantizar la seguridad en la fabricación y operación de la prensa hidráulica;
- Desarrollar un sistema de control de fácil manipulación; y
- Permitir gran precisión en los diferentes parámetros establecidos.

La fabricación de piezas sinterizadas representa una rama actualmente muy importante de la metalurgia física, la cual es ampliamente conocida en la industria moderna; sin embargo, por su grado de especialización, no es un proceso que se desarrolle de forma tan frecuente como otros procesos metalúrgicos. Con relación a ello, no se dispone específicamente en la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador con equipos capaces de desarrollar este tipo de proceso de fabricación; en contraste a otros procesos de fabricación de los cuales sí se encuentra equipos, por ejemplo: mecanizado, rectificado, soldadura, fundición, etc.

La Escuela de Ingeniería Mecánica actualmente incluye en su programa de estudio las bases necesarias para aprender sobre la metalurgia de polvos metálicos, sin embargo no dispone del equipamiento para la ejecución de experiencias prácticas, y la posibilidad de nuevos proyectos relacionados.

Es por lo tanto factible que dicho equipamiento tenga buen recibimiento dentro de la Escuela de Ingeniería Mecánica por sus usuarios objetivos: Docentes y estudiantes.

### **3.1 FACTIBILIDAD TÉCNICA**

La factibilidad técnica se refiere a los recursos necesarios como herramientas, conocimientos, habilidades, experiencia, etc., que son necesarios para efectuar las actividades o procesos que requiere el proyecto.

#### **3.1.1. DISPONIBILIDAD DE OBTENCIÓN**

Los componentes y materiales seleccionados para la fabricación de la prensa hidráulica se encuentran actualmente disponibles en el país o es posible importarlos por medio de proveedores locales. En el caso de los materiales estructurales, compuertas acrílicas, tornillería, sistemas de seguridad y cableado eléctrico se encuentran en Vidrí Industrial, S.A. de C.V., los componentes hidráulicos y de control se encuentran disponibles o es posible importarlos por medio de Autocontrol S.A de C.V, mientras que las patas vulcanizadas se cotizaron con Pinse-Auto S.A de C.V.

Además, es importante destacar que dichos proveedores son solamente de referencia, como ellos existen otros con capacidad de proveer en diferente proporción muchos de los componentes y materiales que se describirán a detalle más adelante.

#### **3.1.2. MANUAL DE FABRICACIÓN Y ENSAMBLAJE**

La prensa hidráulica consta de componentes previamente fabricados, como lo son la mayoría de los componentes del sistema hidráulico, de seguridad, control y eléctrico, restando solamente la fabricación de la estructura metálica, las bases de fijación de los actuadores, de la matriz fija y la tapadera del tanque de aceite hidráulico. Una vez se tiene la estructura y todos sus componentes, resta la instalación de estos para su funcionamiento.

El procedimiento para la fabricación de dichos componentes se describirá a continuación; estos constan de actividades de soldadura por arco eléctrico con electrodo revestido SMAW (Shielded Metal Arc Welding), perforaciones, esmerilados, cortes abrasivos, pulidos, aplicación de recubrimientos y pinturas, etc. Dichos trabajos requieren conocimientos técnicos básicos, dentro del área de ingeniería, realizables por estudiantes de dicha rama.

#### A) Fabricación de estructura de acero.-

En la fabricación de la estructura es importante respetar las dimensiones de los elementos estructurales, esto se logra tomando las dimensiones totales de la materia prima, el cálculo se esquematiza en la Fig. 3.1, la cual presenta la longitud de entrega de cada perfil comercial, que es igual a 6 m por unidad, tal como se presenta en la Fig. 3.1, si se toma de forma continua las longitudes de cada segmento, daría un total de 21.8 m de perfiles necesarios, resultado en una cantidad de 4 unidades necesarias para la fabricación. Debido a que en algunos de estos perfiles quedarán segmentos con medidas no adecuadas y que es inviable unir los segmentos para dar la longitud correcta, se recomienda utilizar las 4 unidades estimadas y los cortes indicados en la Fig. 3.1, lo que permitirá tener los segmentos continuos sin uniones intermedias que debiliten la estructura, esto debido a que es importante procurar el menor desperdicio y mayor aprovechamiento del recurso, sin comprometer la integridad estructural; se puede facilitar el proceso de corte utilizando marcadores en los puntos indicados por la Fig. 3.1, para señalar las guías de corte. Los cortes se pueden realizar ya sea mediante pulidoras manuales con disco abrasivo de corte, mediante sierra circular de mesa con disco abrasivo de corte, o mediante sierra alternativa; estas últimas son alternativas más recomendables por su precisión. Una vez realizados todos los cortes, es importante eliminar rebabas y bordes filosos mediante pulidora manual con disco abrasivo de desbaste.

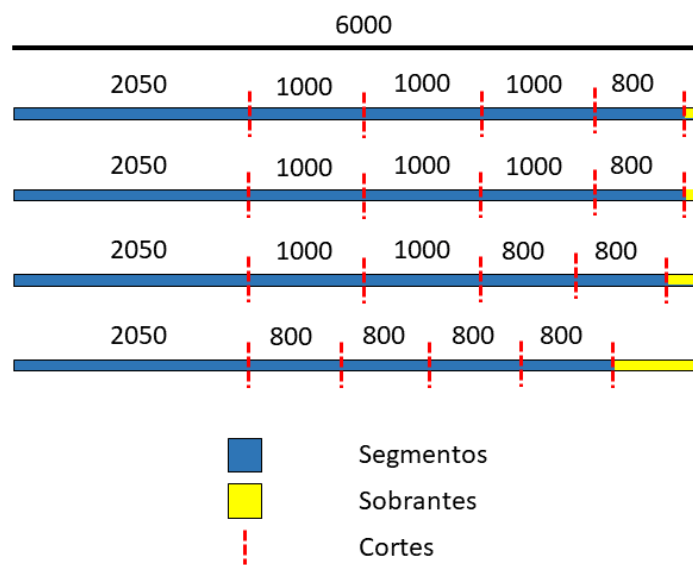


Fig. 3.1. Representación esquemática de cálculo de cantidades de perfiles estructurales. Cotas en mm.

Posteriormente es importante garantizar las relaciones geométricas entre los elementos, perpendicularidades y paralelismos entre vigas y columnas, de manera que la estructura tenga un correcto alineamiento, esto se puede lograr mediante herramientas como escuadras de soldadura y el punteo alterno con soldadura SMAW en los vértices de intercepción. Se recomienda proceder mediante la unión de marcos paralelos conformado por vigas y columnas laterales, una vez unidos los marcos por puntos y haber garantizado la simetría, dimensiones y las relaciones geométricas, se puede proceder con cordones continuos de soldadura de forma alterna para evitar contracciones que generen distorsiones importantes en las relaciones geométricas. La representación esquemática del ensamblaje y proceso de soldadura de la estructura se presenta en Anexo B: Planos de fabricación.

Una vez se tiene la estructura principal, se procede a incluir la lámina para manejo de polvos (esta sostendrá la base de sujeción de las matrices fijas e intercambiables) y el marco de las puertas de seguridad. La lámina calibre 16 a utilizar se entrega con dimensiones de 1.22 x 2.4 m y su corte se esquematiza en la Fig. 3.2, que representa el cálculo de la cantidad de cortes en la lámina de acero necesarios para la fabricación y para su máximo aprovechamiento.

También se debe hacer la preparación de la lámina inferior de 3/16 pulg, que sostendrá la unidad de poder hidráulico y los bloques de válvulas.

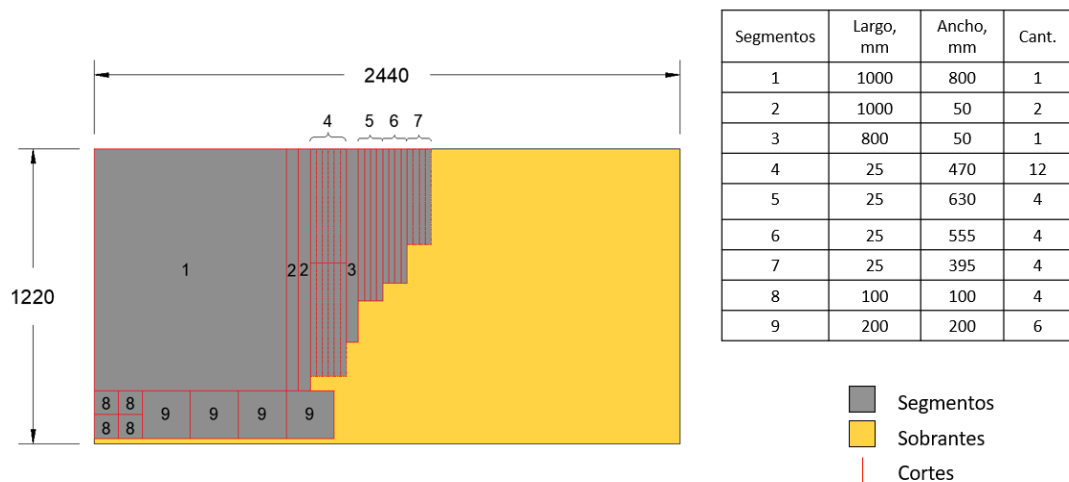


Fig. 3.2. Representación esquemática de cálculo de cantidades de láminas de acero. Cotitas en mm.

En la Fig. 3.2 se presenta los segmentos que formarán parte de la estructura de la prensa hidráulica, los cuales para su ensamble se deberán soldar.

- Segmento 1: Lámina de manejo de polvos;
- Segmentos 2: Pestañas laterales de lámina de manejo de polvos para evitar derrames;
- Segmento 3: Pestaña trasera de lámina de manejo de polvos para evitar derrames;
- Segmento 4: marco horizontal de puertas.
- Segmento 5: marco vertical de puertas superior.
- Segmento 6: marco vertical de puertas intermedias.
- Segmento 7: marco vertical de puertas inferiores.
- Segmento 8: Tapones de perfiles cuadrados superiores; y
- Segmento 9: Tapones y bases de perfiles cuadrados inferiores (estos serán vulcanizados).

Posteriormente se procede a realizar las perforaciones respectivas en las láminas. Finalmente, se puede proceder, al lijado mediante papeles de lijas abrasivas de granulometría fina para eliminar óxidos, o utilizar disco abrasivo de pulido con granulometría fina; se continua con la aplicación de una capa de base antioxidante mate, y una pintura tipo aceite, color rojo brillante, esto con el fin de proteger la estructura.

#### B) Montaje de componentes hidráulicos.-

Para el montaje de los componentes hidráulicos, se describe de forma gráfica la relación de cada componente en la Fig. 3.3, con su numeración respecto a la descripción listada en la Tabla 3.1.

En el eje del motor se introduce el acople y su respectivo inserto (ítems 4 y 5, Fig. 3.3), el cual sirve para transmitir la potencia hacia la bomba. La bomba se inserta y se emperna sobre la campana (ítem 3, Fig. 3.3), la cual también se denomina montaje motor/bomba, dicho componente es útil para alinear de forma fácil y correcta los ejes del motor y la bomba. Posteriormente, se inserta el acople (ítem 6, Fig. 3.3) en el eje de la bomba. Con dichos componentes ensamblados, se emperna la campana sobre el motor, teniendo cuidado de apretar los pernos prisioneros garantizando una transmisión en las cuñas de los ejes.

Se sueldan las camisas (ítem 34 y 40, Fig. 3.3) a la tapadera del tanque para poder ensamblar los conectores de forma que se tenga una conexión rígida entre elementos externos e internos del tanque permitiendo así un sellado completo evitando fugas de aceite.

Sobre la campana se debe colocar el empaque hidráulico (ítem 27, Fig. 3.3) y, luego de ello, empernar la tapadera del tanque (ítem 21, Fig. 3.3). En la bomba se deben insertar los respectivos conectores hidráulicos indicados en su puerto de succión y en sus puertos de presión, finalmente se inserta el filtro de succión (ítem 7, Fig. 3.3). Sobre la tapadera se deben fijar los conectores hidráulicos que se encontrarán en el interior del tanque (ítem 58, Fig. 3.3), los cuales se conectan con tubería rígida (tubing) a los conectores de salida de la bomba. Se conecta un niple (ítem 75, Fig. 3.3) para usar como descarga al tanque.



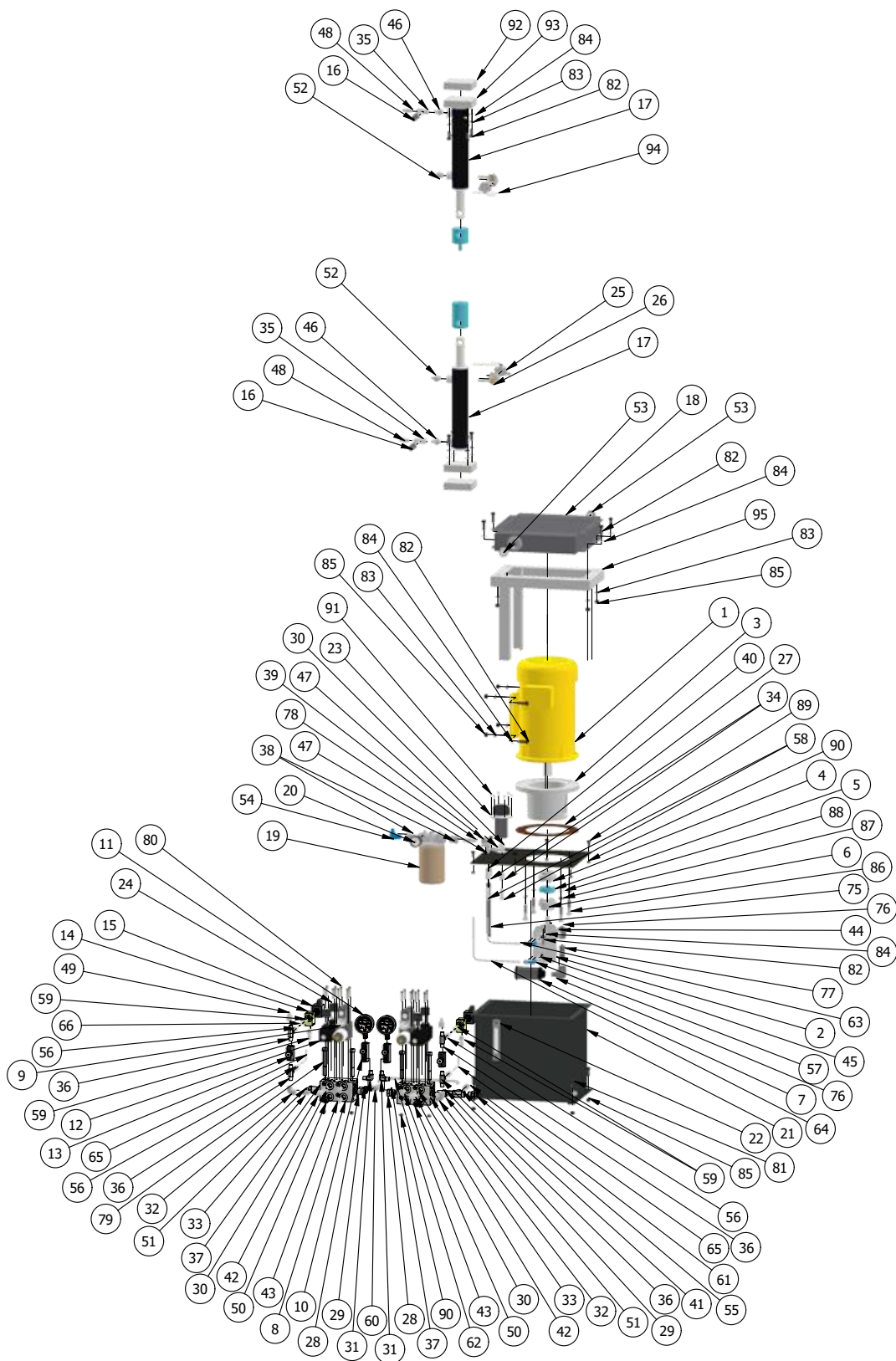


Fig. 3.3. Dibujo explosionado de componentes internos de la prensa.

Luego, se debe fijar la tapadera al tanque a través de pernos (ítem 89, Fig. 3.3). Ahora se ensamblan los respectivos componentes indicados a la salida del tanque. Se conecta el filtro de retorno (ítem 19, Fig. 3.3). Se ensambla el respiradero (ítem 23, Fig. 3.3) a través de los pernos del ítem 91 en la Fig. 3.3.

Se debe ensamblar la estructura de fijación para el intercambiador de calor (ítem 95, Fig. 3.3) al motor a través de los pernos y tuercas indicados (ítems 82-85, Fig. 3.3). El intercambiador de calor se emperna a dicha estructura y se ensamblan los conectores hidráulicos a los puertos del intercambiador.

En la Fig. 3.4 se presenta los principales componentes de la unidad de poder hidráulico con sus respectivas conexiones rígidas, en esta figura se presenta el tanque transparente con el fin de apreciar los componentes internos. El fluido se transportará al bloque de válvulas por medio de mangueras (ítem 67 y 68, Fig. 3.5).



Fig. 3.4. Detalle de ensamble de componentes rígidos en el interior y exterior de tanque.

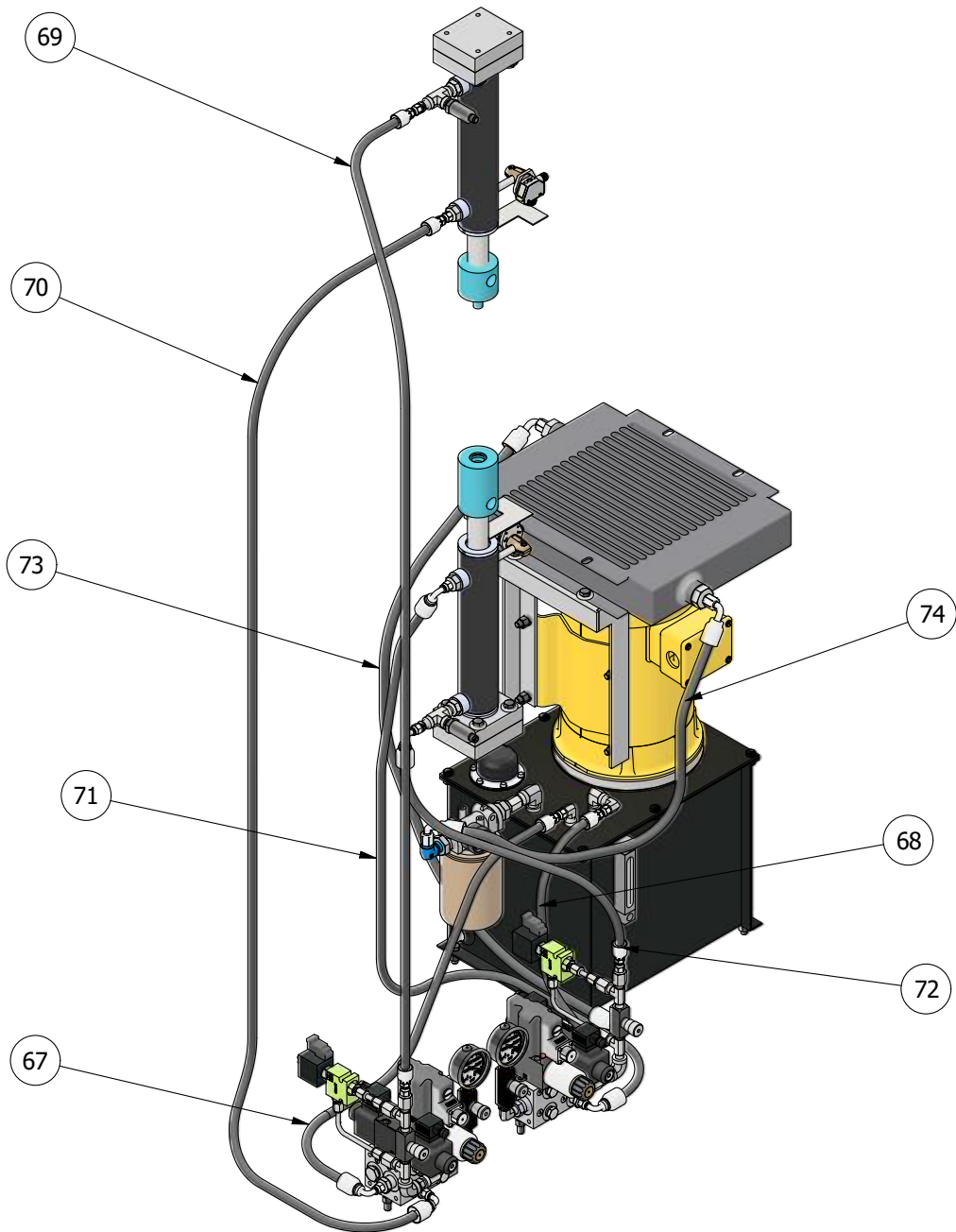


Fig. 3.5. Vista de componentes internos indicando las mangueras hidráulicas a utilizar.

Para el ensamble de los bloques de válvulas se deben montar los manifolds (ítem 8, Fig. 3.3), sobre la base para componentes hidráulicos utilizando los pernos y tuercas indicados en los ítems 79 y 90 de la Tabla 3.1. Una vez ensamblados los accesorios de conexión se deben montar las válvulas

de alivio proporcionales (ítem 9, Fig. 3.3) y las electroválvulas direccionales 4/3 (ítem 12, Fig. 3.3). Para el montaje de los manómetros (ítem 11, Fig. 3.3) se incluirán válvulas de flujo antirretorno (ítem 10, Fig. 3.3) con el fin de poder desacoplar los manómetros sin despresurizar el sistema. Finalmente se ubican las válvulas de flujo y válvulas direccionales 2/2 (ítems 13 y 14, Fig. 3.3) de cada bloque, partiendo de estos con mangueras (ítems 69-72, Fig. 3.5) hacia los cilindros hidráulicos. Se esquematiza en la Fig. 3.6 un detalle de los bloques de válvulas.



Fig. 3.6. Sistema de válvulas de direccionamiento.

En el apartado 2.3.2 del capítulo 2, se describe a detalle el diseño del montaje para los cilindros hidráulicos en la estructura. Estos cilindros se deberán fijar por medio de bridas a la estructura metálica principal; uno de ellos se debe soldar a la estructura, uniéndose por medio de pernos entre sí, esto se replica para ambos cilindros. Una vez montados, se procederá a la conexión de los sensores de presión y posición (ítems 16 y 25, Fig. 3.3).

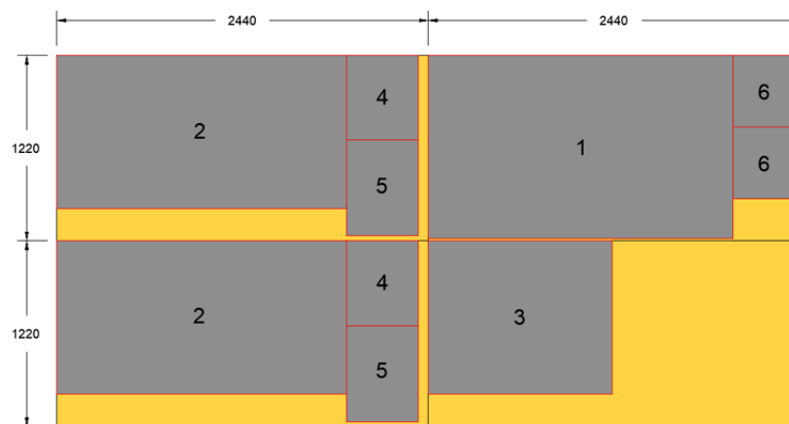
El sensor de presión se conectará a un conector tee hidráulico y el sensor de posición se rosca en su base (ítem 26, Fig. 3.3) que será soldada a cada cilindro, es también necesario soldar la placa de lectura de posición (ítem 94, Fig. 3.3) al vástago de cada cilindro.

Para finalizar se conectará a través de mangueras (ítems 73 y 74, Fig. 3.5) los bloques de válvulas que irán unidos entre sí por medio de tubería rígida (ítem 62, Fig. 3.3) al intercambiador de calor y al filtro de retorno.

C) Ensamble de puertas y guardas de seguridad.-

Ahora se prepara la lámina de acrílico con las medidas especificadas en la Fig. 3.7 y su ubicación respectiva en (ítem 100, Fig. 3.8); cada segmento indicado en la figura se utilizará de la siguiente manera:

- Segmento 1: Guarda trasera;
- Segmento 2: Guardas laterales;
- Segmento 3: Guarda superior;
- Segmento 4: Guarda frontal intermedia;
- Segmento 5: Guarda frontal superior; y
- Segmento 6: Guarda frontal inferior.



Segmentos	Largo, mm	Ancho, mm	Cant.
1	2000	1204	1
2	1901	1007	2
3	1204	1007	1
4	470	555	2
5	470	630	2
6	470	395	2

- Segmentos
- Sobrantes
- | Cortes

Fig. 3.7. Representación esquemática de cálculo de cantidades de láminas de acrílico. Cotas en mm.

Para su ensamble se deben soldar las bisagras, luego se deben limpiar los marcos y la estructura para proceder a la aplicación de pintura y posteriormente montar las láminas de acrílico utilizando pegamento. Una vez finalizado el montaje de las guardas se procede a la fijación de los micros de seguridad y haladeras de las puertas.

#### D) Ensamble del gabinete eléctrico

Teniendo el panel eléctrico se procederá a realizar los agujeros necesarios en la tapadera para cada componente electrónico indicado en los ítems 117- 127 de la Fig. 3.9. En el interior del gabinete se perforan los agujeros para instalar el riel DIN y la canaleta que soportarán los componentes eléctricos y los cables. Se deben perforar agujeros en la estructura para el gabinete y en la guarda lateral derecha; se fija el gabinete con pernos y tuercas a dicha estructura. Finalmente se montan los componentes eléctricos (ítems 107- 116 de la Fig. 3.9) y se conectan por medio de cables a los componentes a controlar, tales como sensores, electroválvulas y motor.

Finalmente, se presenta en la Fig. 3.10 un plano hidráulico donde los números correlativos de los componentes corresponden con los componentes hidráulicos y electrónicos presentados en la Tabla 3.1, y por lo tanto, se puede comprender de mejor forma su posición y funcionamiento dentro de este sistema.

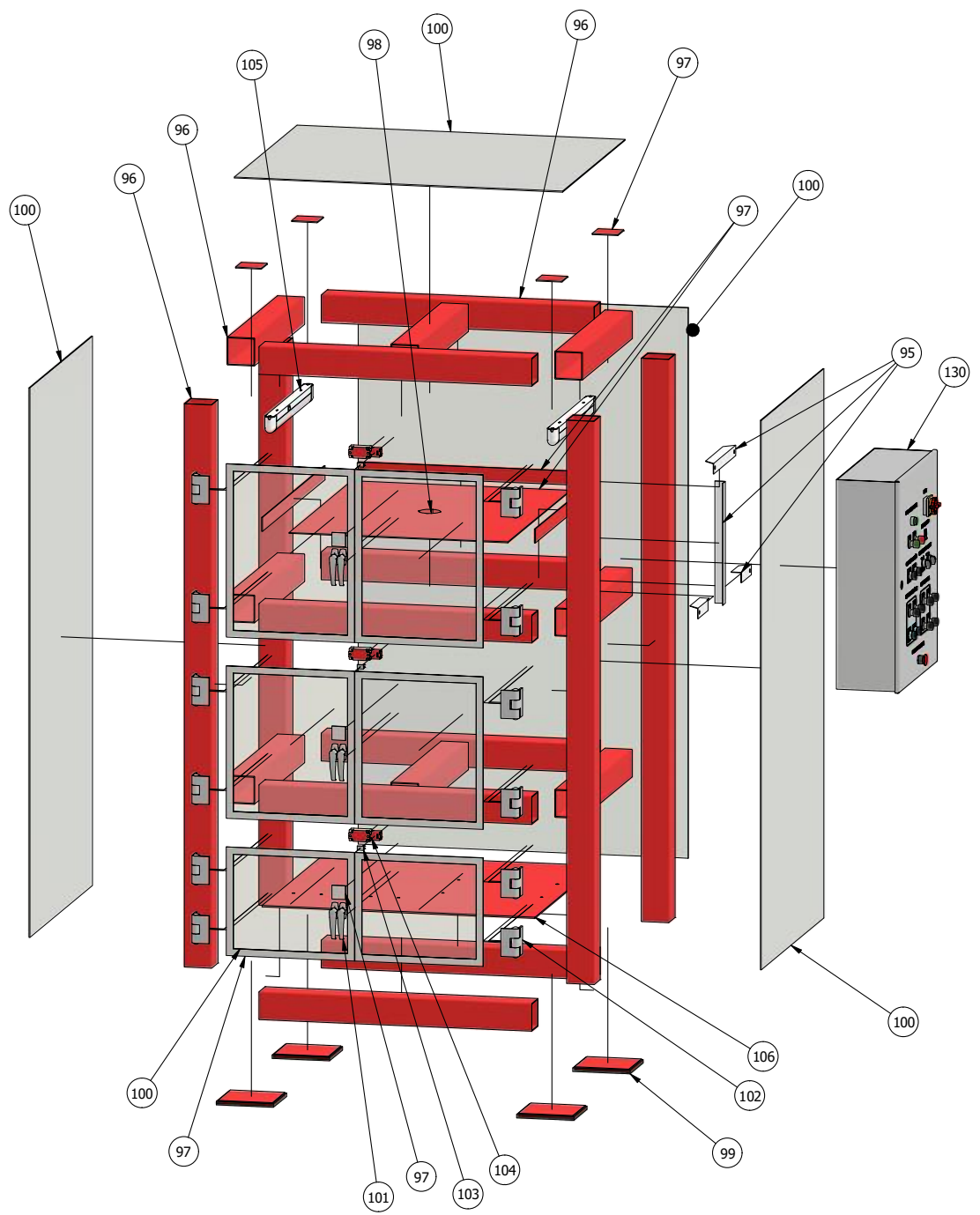
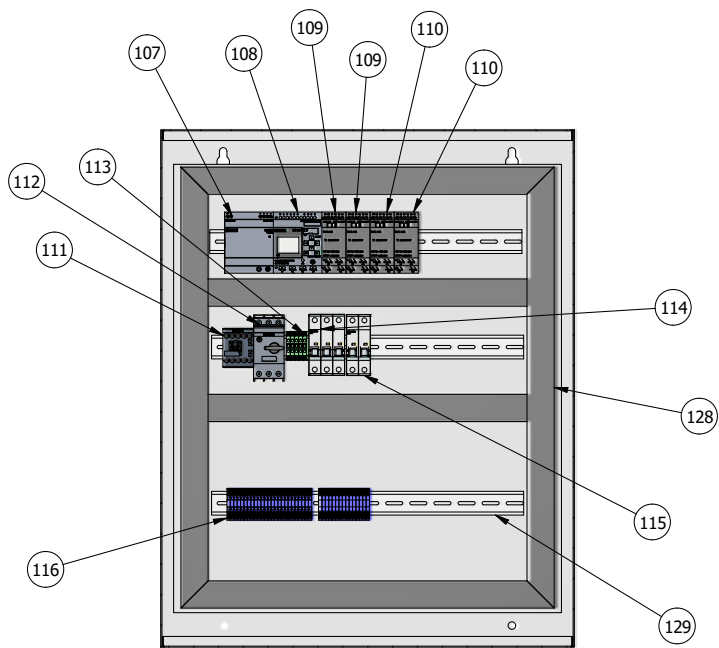
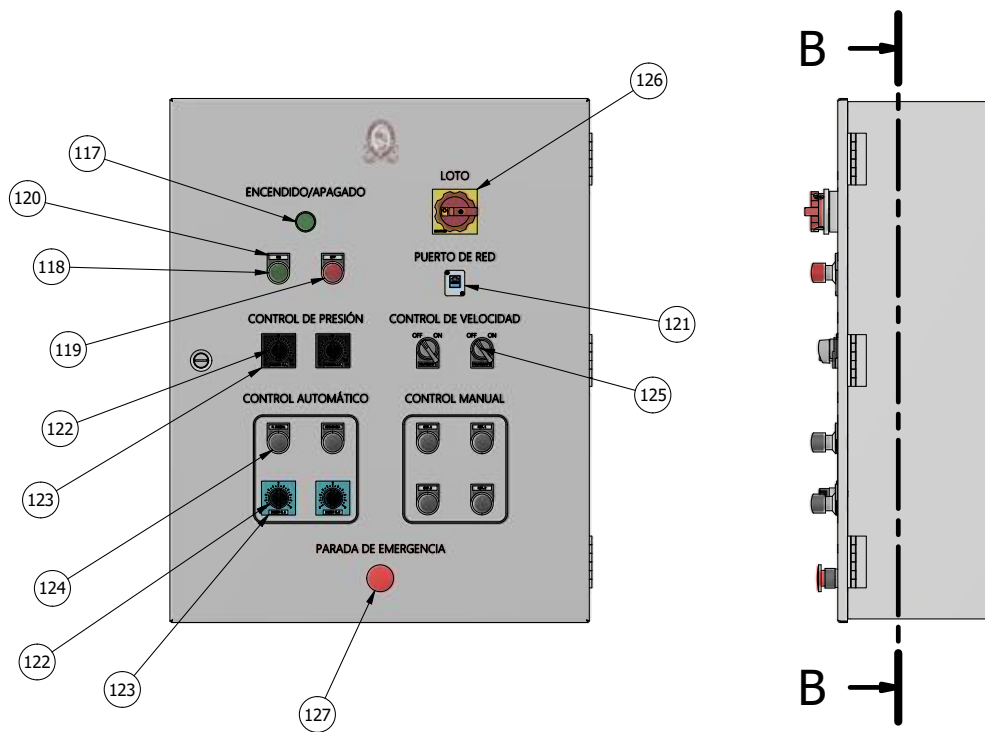


Fig. 3.8. Dibujo explosionado de componentes externos de la prensa.



### SECCION B-B

Fig. 3.9. Diseño del gabinete de control.



Nota: El número de componente hidráulico corresponde al citado en la lista de componentes.

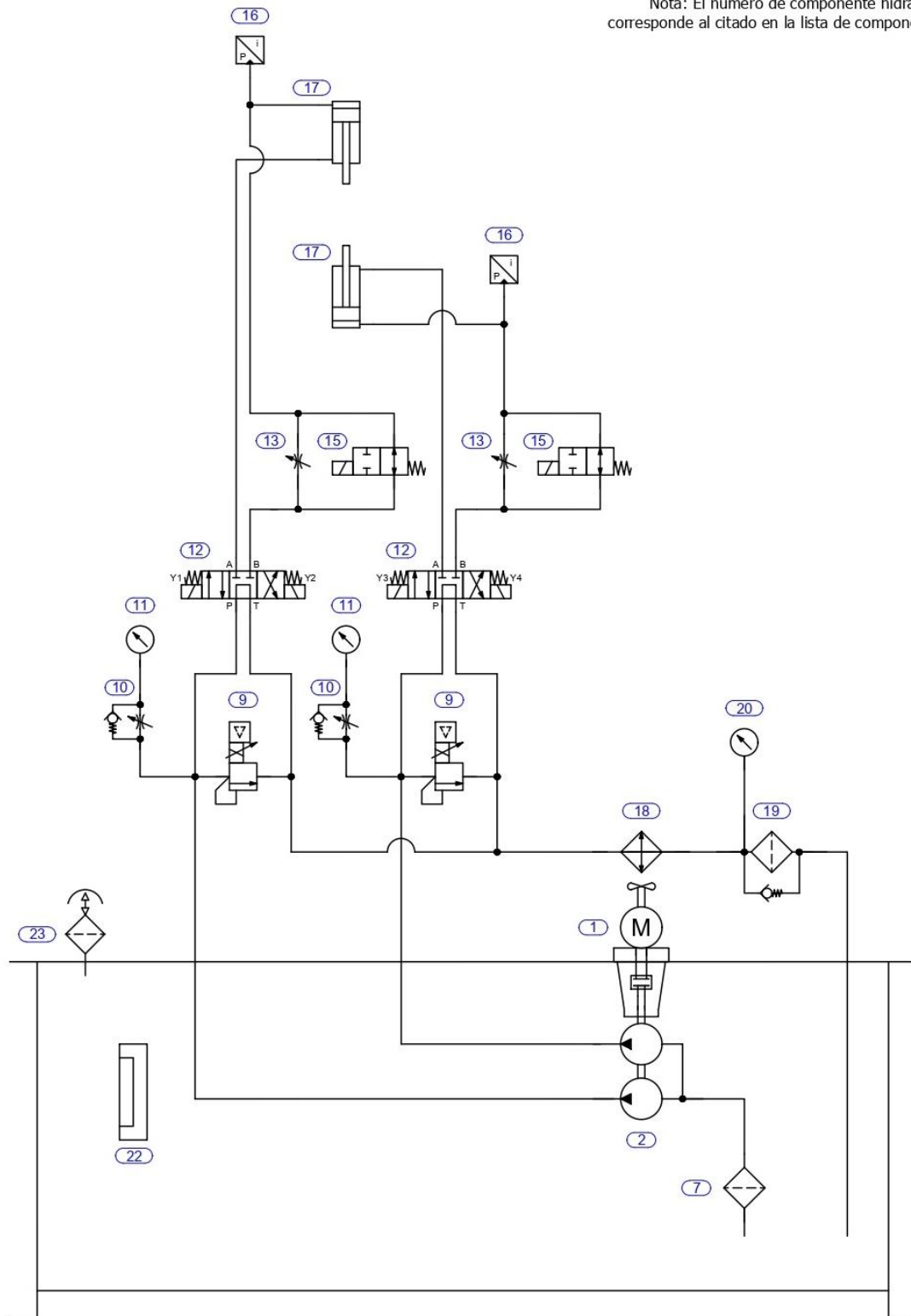


Fig. 3.10. Plano hidráulico.

Tabla 3.1. Lista de componentes para ensamble de la prensa hidráulica de sinterizado.

#	Código	Cant.	Descripción	Fabricante	Proveedor
1	CEM3611T	1	Motor, 3 HP, 60 Hz, 3 ph, 182TC, 1800 rpm, 230/460 V	Baldor	Autocontrol
2	PGP505B0020 CJ1H1XD2D2 505B0020XD2 D2D2	1	Bomba de engranajes doble, serie PGP505	Parker	Autocontrol
3	M182472AA	1	Montaje Motor/Bomba (Campana)	Magnaloy	Autocontrol
4	M10010408	1	Acople, lado del motor	Magnaloy	Autocontrol
5	M170H5	1	Inserto de Hytrel	Magnaloy	Autocontrol
6	M10001604	1	Acople, lado de la bomba	Magnaloy	Autocontrol
7	937480	1	Filtro de succión, 1/2 pulg NPT	Parker	Autocontrol
8	BM-ASP03S2- 02-1_Z	2	Manifold, 2 estaciones, CETOP 3, Paralelo	Magnaloy	Autocontrol
9	RE06M21T2N 1F0	2	Series RE06M*T - Válvula de alivio proporcional	Parker	Autocontrol
10	F400S	2	Válvula reguladora de flujo, antirretorno, 1/4 pulg NPT	Parker	Autocontrol
11	221565	2	Manómetro 0-3000 psi	Bailey Hydraulics	Autocontrol
12	D1VW009CNY W	2	Válvula direccional 4/3, Centro Tandem, Serie D1VW	Parker	Autocontrol
13	N400	2	Válvula reductora de caudal	Parker	Autocontrol
14	B10-2-6T	2	Cuerpo estándar para válvula direccional 2/2.	Parker	Autocontrol
15	DSH102N	2	Válvula direccional 2/2, monoestable.	Parker	Autocontrol
16	SCP01-0250P- 35-07	2	Sensor de presión (Transductor)	Parker	Autocontrol
17	287207	2	Cilindro hidráulico, doble efecto, 2 pulg O.D., 8 pulg Stroke (Chief)	Bailey Hydraulics	Autocontrol
18	4UJD7	1	Enfriador de aceite hidráulico, 18 HP.	Grainger	Aeropost
19	12AT110CBP GN12H	1	Filtro de retorno, spin-on	Parker	Autocontrol
20	936912	1	Manómetro de saturación para filtro (25 psi)	Parker	Autocontrol
21	775690	1	Tanque hidráulico de 5 gal	Parker	Autocontrol
22	FL69213	1	Visor de nivel (5 pulg de longitud) (incluido en tanque)	Parker	Autocontrol
23	AB116310	1	Respirador de tanque (incluido en tanque)	Parker	Autocontrol
24	PS2028BP	4	Conector eléctrico DIN 30 mm	Parker	Autocontrol
25	Q4XTILAF300- Q8	2	Sensor de posición	Banner	IDSA

*Continúa.*

Continuación.- Tabla 3.1. Lista de componentes para ensamble de la prensa hidráulica de sinterizado.

#	Código	Cant.	Descripción	Fabricante	Proveedor
26	SMBQ4XFAM1 2	2	Sostén para sensor de posición	Banner	IDSA
27	-	1	Empaque para montaje de motor (1/16 pulg)	Vitorite	Vidrí
28	1/2 x 1/4 PTR-S	2	Reductor 1/2 pulg NPT macho - 1/4 pulg NPT hembra	Parker	Autocontrol
29	1/2 x 3/8 PTR-S	2	Reductor 1/2 pulg NPT macho - 3/8 pulg NPT hembra	Parker	Autocontrol
30	1/4 CD-S	3	Conector codo 1/4 pulg NPT macho-hembra	Parker	Autocontrol
31	1/4 CR-S	2	Conector codo 1/4 pulg NPT macho-macho	Parker	Autocontrol
32	1/4 DD-S	2	Conector codo 1/4 pulg NPT hembra-hembra	Parker	Autocontrol
33	1/4 FF-S	2	Niple 1/4 pulg NPT	Parker	Autocontrol
34	1/4 GG-S	2	Conector recto 1/4 pulg NPT hembra - 1/4 pulg NPT hembra	Parker	Autocontrol
35	1/4 MMO-S	2	Unión T 1/4 pulg NPT hembra	Parker	Autocontrol
36	1/4 RRS-S	4	Unión T 1/4 pulg NPT macho	Parker	Autocontrol
37	1/2 HP-S	2	Tapón 1/2 pulg NPT macho	Parker	Autocontrol
38	3/4 x 3/8 PTR-S	2	Reductor 3/4 pulg NPT macho - 3/8 pulg NPT hembra	Parker	Autocontrol
39	3/8 CD-S	1	Conector codo 3/8 pulg NPT macho-hembra	Parker	Autocontrol
40	3/8 GG-S	1	Conector recto 3/8 pulg NPT hembra - 3/8 pulg NPT hembra	Parker	Autocontrol
41	3/8 MRO-S	1	Unión T 3/8 pulg NPT hembra- hembra-macho	Parker	Autocontrol
42	3/8 x 1/4 PTR-S	2	Reductor 3/8 pulg NPT macho - 1/4 pulg NPT hembra	Parker	Autocontrol
43	3/8 HP-S	4	Tapón 3/8 pulg NPT macho	Parker	Autocontrol
44	6-1/2 F5OG-S	1	Adaptador SAE 6 macho - 1/2 pulg NPT hembra	Parker	Autocontrol
45	6-1/4 F5OG-S	2	Adaptador SAE 6 macho - 1/4 pulg NPT hembra	Parker	Autocontrol
46	8-1/4 F5OF-S	2	Conector recto SAE 8 macho x 1/4 pulg NPT macho	Parker	Autocontrol
47	4-4 CTX-S	2	Conector codo 1/4 pulg NPT macho x 1/4 pulg JIC macho	Parker	Autocontrol
48	4-4 FTX-S	2	Conector recto 1/4 pulg NPT macho x 1/4 pulg JIC macho	Parker	Autocontrol
49	4-4 GTX-S	2	Conector recto 1/4 pulg NPT hembra x 1/4 pulg JIC macho	Parker	Autocontrol

Continúa.

Continuación.- Tabla 3.1. Lista de componentes para ensamble de la prensa hidráulica de sinterizado.

#	Código	Cant.	Descripción	Fabricante	Proveedor
50	4-6 FTX-S	2	Conector recto 3/8 pulg NPT macho x 1/4 pulg JIC macho	Parker	Autocontrol
51	4-8 FTX-S	2	Conector recto 1/2 pulg NPT macho x 1/4 pulg JIC macho	Parker	Autocontrol
52	4-8 F5OX-S	2	Conector recto SAE 8 macho x 1/4 pulg JIC macho	Parker	Autocontrol
53	6-12 F5OX-S	2	Conector recto SAE 12 macho x 3/8 pulg JIC macho	Parker	Autocontrol
54	6-6 CTX-S	1	Conector codo 3/8 pulg NPT macho x 3/8 pulg JIC macho	Parker	Autocontrol
55	6-6 FTX-S	1	Conector recto 3/8 pulg NPT macho x 3/8 pulg JIC macho	Parker	Autocontrol
56	4-4 GBU-S	4	Conector recto 1/4 pulg Tubing, 1/4 pulg NPT hembra	Parker	Autocontrol
57	4-4 CBU-S	2	Conector codo 1/4 pulg Tubing, 1/4 pulg NPT macho	Parker	Autocontrol
58	4-4 FBU-S	2	Conector recto 1/4 pulg Tubing x 1/4 pulg NPT macho	Parker	Autocontrol
59	4-6 F5BU-S	4	Conector recto 1/4 pulg Tubing, SAE 6 macho	Parker	Autocontrol
60	6-6 CBU-S	1	Conector codo 3/8 pulg Tubing, 3/8 pulg NPT macho	Parker	Autocontrol
61	6-6 FBU-S	1	Conector recto 3/8 pulg Tubing, 3/8 pulg NPT macho	Parker	Autocontrol
62	C1BK88	1	Tubing 3/8 pulg, con giro a 180°, 390 mm	Marmon/ Keystone	Autocontrol
63	C1AF27	1	Tubing 1/4 pulg, con giro a 90°, 210 mm	Marmon/ Keystone	Autocontrol
64	C1AF27	1	Tubing 1/4 pulg, con giro a 90°, 320 mm	Marmon/ Keystone	Autocontrol
65	C1AF27	2	Tubing 1/4 pulg, recto, 26 mm	Marmon/ Keystone	Autocontrol
66	C1AF27	2	Tubing 1/4 pulg, con giro a 90°, 110 mm	Marmon/ Keystone	Autocontrol
67	421SN-4, 10643-4-4, 13943-4-4	1	Manguera hidráulica 1/4 pulg, 840 mm de longitud, 3250 psi, conexión recta y codo 1/4 pulg JIC hembra	Parker/ Autocontrol	Autocontrol
68	421SN-4, 10643-4-4, 13943-4-4	1	Manguera hidráulica 1/4 pulg, 300 mm de longitud 3250 psi, conexión recta y codo 1/4 pulg JIC hembra	Parker/ Autocontrol	Autocontrol

Continúa.

Continuación.- Tabla 3.1. Lista de componentes para ensamble de la prensa hidráulica de sinterizado.

#	Código	Cant.	Descripción	Fabricante	Proveedor
69	421SN-4, 10643-4-4	1	Manguera hidráulica 1/4 pulg, 1800 mm de longitud 3250 psi, conexiones rectas 1/4 pulg JIC hembra	Parker/ Autocontrol	Autocontrol
70	421SN-4, 10643-4-4, 13943-4-4	1	Manguera hidráulica 1/4 pulg, 1660 mm de longitud 3250 psi, conexión recta y codo 1/4 pulg JIC hembra	Parker/ Autocontrol	Autocontrol
71	421SN-4, 13943-4-4	1	Manguera hidráulica 1/4 pulg, 1220 mm de longitud 3250 psi, conexiones codos 1/4 pulg JIC hembra	Parker/ Autocontrol	Autocontrol
72	421SN-4, 10643-4-4, 13943-4-4	1	Manguera hidráulica 1/4 pulg, 520 mm de longitud 3250 psi, conexión recta y codo 1/4 pulg JIC hembra	Parker/ Autocontrol	Autocontrol
73	421SN-6, 13943-6-6	1	Manguera hidráulica 3/8 pulg, 1230 mm de longitud 2600 psi, conexiones codos 3/8 pulg JIC hembra	Parker/ Autocontrol	Autocontrol
74	421SN-6, 13943-6-6	1	Manguera hidráulica 3/8 pulg, 680 mm de longitud 2600 psi, conexiones codos 3/8 pulg JIC hembra	Parker/ Autocontrol	Autocontrol
75	-	1	Niple galvanizado 3/8 pulg NPT x 8 pulg	-	Vidrí
76	-	2	Codo galvanizado hembra- hembra 1/2 pulg NPT	-	Vidrí
77	-	1	Niple galvanizado 1/2 pulg NPT x 2 pulg	-	Vidrí
78	-	1	Niple galvanizado 3/8 pulg NPT x 2 pulg	-	Vidrí
79	-	4	Perno allen 5/16 pulg x 4 pulg, rosca ordinaria	-	Vidrí
80	-	16	Perno allen 3/16 pulg x 1 3/8 pulg, rosca ordinaria	-	Vidrí
81	-	4	Perno cabeza hexagonal 3/8 pulg x 1 pulg, rosca ordinaria	-	Vidrí
82	-	18	Perno cabeza hexagonal 3/8 pulg x 2 pulg, rosca ordinaria	-	Vidrí
83	-	18	Arandela de presión 3/8 pulg, zincada	-	Vidrí
84	-	18	Arandela plana 3/8 pulg, zincada	-	Vidrí

Continúa.

Continuación.- Tabla 3.1. Lista de componentes para ensamble de la prensa hidráulica de sinterizado.

#	Código	Cant.	Descripción	Fabricante	Proveedor
85	-	12	Tuerca 3/8 pulg, rosca ordinaria	-	Vidrí
86	-	4	Perno cabeza hexagonal 1/2 pulg x 1 pulg, rosca ordinaria	-	Vidrí
87	-	4	Arandela de presión 1/2 pulg, zincada	-	Vidrí
88	-	4	Arandela plana 1/2 pulg, zincada	-	Vidrí
89	-	6	Perno cabeza hexagonal 5/16 pulg x 1 pulg, rosca ordinaria	-	Vidrí
90	-	10	Tuerca 5/16 pulg, rosca ordinaria	-	Vidrí
91	-	6	Perno cabeza hexagonal 3/16 pulg x 1 pulg, rosca ordinaria (incluido en respirador)	-	Autocontrol
92	-	2	Bloque de acero, 4 agujeros roscados	-	Vidrí
93	-	2	Bloque de acero, 4 agujeros roscados y agujero central	-	Vidrí
94	-	2	Placa de referencia para medir ubicación de cilindro	-	Vidrí
95	-	-	Angulo 1 1/2 pulg, 3.18 mm, AG	-	Vidrí
96	-	-	Tubo estructural cuadrado, 4 pulg, 3.18 mm	-	Vidrí
97	-	-	Lámina galvanizada lisa, calibre 16	-	Vidrí
98	-	-	Bloque de acero para base de metales	-	Acerosal
99	-	4	Base vulcanizada	-	Tameinsal
100	-	-	Acrílico	-	Vidrí
101	-	6	Manecilla	-	Vidrí
102	-	12	Visagra	-	Vidrí
103	-	3	Acople para microswitch	-	Aeropost
104	-	3	Microswitch	-	Aeropost
105	-	2	Lámpara LED	-	Vidrí
106	-	-	Lámina negra, 3/16 pulg (4.7mm)	-	Vidrí
107	6EP3332-6SB00-0AY0	1	Fuente de alimentación 24 VDC	SIEMENS	Vidrí
108	6ED1052-1FB00-0BA8	1	LOGO	SIEMENS	Vidrí
109	6ED1055-1MA00-0BA2	2	Módulo de expansión de entradas analógicas (LOGO)	SIEMENS	Aeropost
110	6ED1055-1MM00-0BA2	2	Módulo de expansión de salidas analógicas (LOGO)	SIEMENS	Aeropost

Continúa.

Continuación.- Tabla 3.1. Lista de componentes para ensamble de la prensa hidráulica de sinterizado.

#	Código	Cant.	Descripción	Fabricante	Proveedor
111	3RT2018-1AK61	1	Contactador 16 A	SIEMENS	Vidrí
112	3RV20111JA10	1	Guardamotor, 7-10 A	SIEMENS	Vidrí
113	LG37172	5	Bornera de tierra	Legrand	Freund
114	5SL63207CC	1	Automato, 20 A, 3P (Motor)	SIEMENS	Vidrí
115	5SL62027CC	1	Automato, 2 A, 2P (Control)	SIEMENS	Vidrí
116	LG37161	40	Bornera con tornillo	Legrand	Freund
117	ND16-22DS/4-G	1	Indicador luminoso LED, color verde	CHINT	Freund
118	3su11000ab401ba0	1	Pulsador verde	SIEMENS	Vidrí
119	3su11000ab201ca0	1	Pulsador rojo	SIEMENS	Vidrí
120	NP2-BZ31	10	Placa de señalización para botonería 22 mm	CHINT	Maquila 360
121	8541694115	1	Acoplador Ethernet RJ45, hembra hembra	Dingsun	Aeropost
122	ECX2300-5K	4	Potenciómetro, 5 k $\Omega$	Automation Direct	Aeropost
123	-	4	Placa indicadora para potenciómetro	-	Maquila 360
124	3su11000ab101ba0	6	Pulsador negro	SIEMENS	Vidrí
125	3su11002bf601ba0	2	Selector switch, 2 posiciones	SIEMENS	Vidrí
126	PSA063AK331S	1	Aislador principal, LOTO	CHINT	Freund
127	3su11001hb201cg0	1	Paro de emergencia	SIEMENS	Vidrí
128	LG36206	-	Canaleta ranurada 40 x 40	Legrand	Freund
129	TH35-7-5	-	Riel DIN, 35 mm	CHINT	Freund
130	AEM86/300PM	1	Gabinete 800 x 600 x 300 mm	Argos Eléctrica	Freund

### 3.2 MANUALES E INSTRUCCIONES OPERATIVAS

En la Fig. 3.11 se representa los indicadores, pulsadores, reguladores y dispositivos de seguridad y comunicación que contiene el gabinete de control para la operación de la prensa hidráulica para el sinterizado de piezas. En este

apartado se describe para el usuario, el funcionamiento del equipo, mantenimiento y características de los componentes.

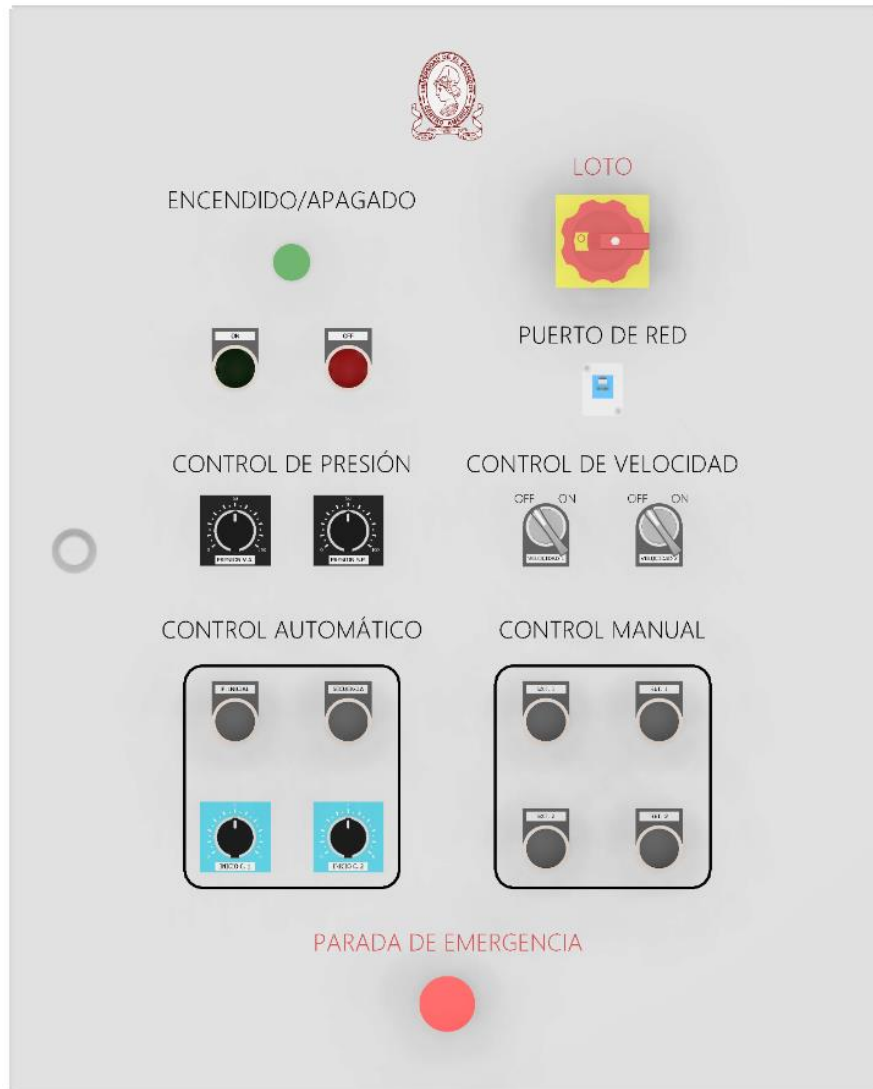


Fig. 3.11. Tablero de control de prensa hidráulica de compactación de polvos metálicos para sinterizado.

### 3.2.1. MANUAL DE OPERACIÓN POR CONTROL MANUAL Y AUTOMÁTICO

La operación del equipo se realizará a través de botoneras físicas que funcionan a través de instrucciones dentro del programa LOGO! utilizado. Este



programa debe ser descargado en el dispositivo LOGO! ubicado dentro del gabinete de control, para lo cual es necesaria una computadora y el software “LOGO! Soft Comfort” de Simens. Este dispositivo LOGO! cumple la función de PLC (Programmable Logic Controller o Controlador Lógico Programable).

Las instrucciones se ingresan mediante programación dentro del controlador, a través del puerto de red; estas instrucciones incluyen todas las entradas y salidas digitales y análogas, variables y sus relaciones, así como los parámetros de secuencia y consignas que este debe de ejecutar. El programa se descarga en el PLC una sola vez, antes del primer uso.

La función principal de la prensa es ejecutar la secuencia para compactar las piezas de polvo metálico; esta secuencia se esquematiza en la Fig. 3.12, donde se indican también los botones que se deben presionar.

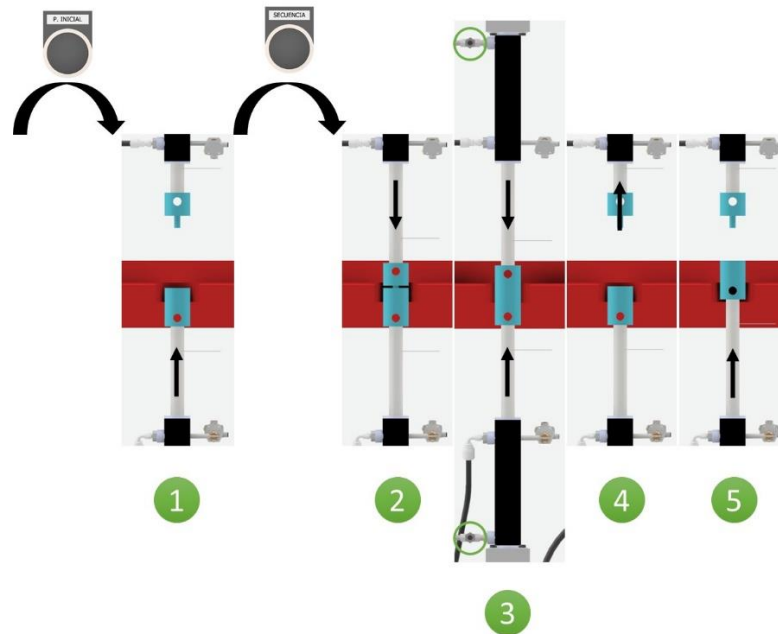


Fig. 3.12. Representación esquemática de secuencia de compactación de polvo para sinterizado, Clase 1 y 3.

A continuación, se presenta una lista en donde se describe cada paso de la secuencia:

- 1) Posición inicial: cuando se acciona el pulsador inicial, independientemente de la posición anterior, ya sea la posición final (al terminar la secuencia) o una posición arbitraria ingresada de forma manual mediante los pulsadores manuales de cada actuador de extensión y retracción (ver Fig. 3.12);
- 2) Inicio de secuencia: Mediante los potenciómetros de cada actuador, se ingresa al sistema las cotas de compactación respectivas de cada uno; la diferencia de estas cotas representa el espesor de las diferentes piezas, y se puede setear dicho espesor dentro de las capacidades de cada actuador con relación a su presión máxima alcanzable, dado que este tipo de prensas tiene capacidad técnica para compactar piezas de Clase 1, 2, 3 y 4, como se describe en el primer capítulo. Actualmente se presenta una esquematización en la Fig. 3.12. de una secuencia para una pieza Clase 1 y 3 en donde solamente se requiere que un actuador ejerza la compactación (actuador superior), del mismo modo la descripción del programa en LOGO representa la secuencia para dichas Clases, aunque es posible programar al PLC para que ambos actuadores ejerzan la compactación y sea posible trabajar piezas Clase 2 y 4, así mismo se setearían las cotas de cada actuador mediante los mismos potenciómetros vistos en la Fig. 3.12;
- 3) Etapa de compactación: En esta etapa el actuador superior alcanza su posición y presión final, habiendo compactado el polvo para sinterizado; mientras que el actuador inferior mantiene su posición seteada hasta el final de la secuencia (después de la etapa 4), véase Fig. 3.12;
- 4) Etapa de retracción: El actuador superior comienza a retraerse hasta su posición superior (previamente programada en el PLC) mientras que el actuador inferior comienza a extenderse hasta alcanzar su posición final o de expulsión (previamente programada en el PLC); y
- 5) Etapa de expulsión: habiendo alcanzado el actuador superior su posición superior (previamente programada en el PLC) y el actuador inferior habiendo llegado hasta su posición de expulsión (previamente programada en el PLC); de esta manera la pieza se encuentra fuera de la matriz fija, y el espacio entre los actuadores es tal que es posible retirar la pieza de forma segura. Una vez

extraída la pieza anterior, si se quiere introducir el polvo para una pieza nueva es necesario como se describe anteriormente, accionar el pulsador de P. Inicial, el cual llevará a los actuadores a su posición inicial, donde es posible llenar la matriz de nuevo polvo, y comenzar nuevamente la secuencia antes descrita.

Las botoneras físicas permiten arrancar, detener, interrumpir, ajustar presiones, velocidades, carrera y ejecutar la secuencia o el inicio de la secuencia, sin afectar la programación de forma permanente, ajustándose a diferentes geometrías, dimensiones y materiales sin necesidad de incluir nuevas instrucciones en el programa. A continuación, se listan los botones y sus funciones:

- a) Botones encendido/apagado: Estos cumplen la función de encendido y apagado manual e independiente del equipo, mediante la conexión y desconexión del circuito eléctrico. Además, se incluye un indicador que cumple la función de control visual de tipo LED (Light Emitting Diode o diodo emisor de luz), presentando el estado del equipo;
- b) Botón de secuencia o control automático de secuencia: Este botón forma parte del control automático del equipo y permite comenzar la secuencia que ha sido ingresada en el programa LOGO, utilizando las variables parametrizadas en cada uno de los puntos de dicha secuencia, véase Fig. 3.11;
- c) Botón de Iniciación o control automático de iniciación: Como el botón de secuencia forma parte del control automático y permite una vez terminada la secuencia, pulsarlo y llevar los actuadores a su posición inicial seteada mediante los sensores de posición;
- d) Potenciómetros de ajuste de cotas: Estos como se describen en el Botón de Inicio de Secuencia, permiten introducir las cotas que dan el espesor de las diferentes piezas fabricadas, que el programa ejecutará en la secuencia antes mencionada;

- e) Botones de control manual: Estos son independientes para cada actuador y permiten controlar de forma individual la extensión y retracción de cada uno, por medio de un botón de extensión y retracción manual;
- f) Interruptores de seguridad tipo hongo y LOTO: El interruptor tipo hongo permite detener de forma inmediata el equipo en caso de emergencia, mientras que el interruptor tipo LOTO permite interrumpir el equipo de forma indefinida en caso de este ser intervenido y permitir un mantenimiento o revisión más seguro;
- g) Reguladores de velocidad o control de velocidad: Para cada actuador se tienen dos diferentes niveles de velocidad en cada uno de los reguladores. El subsistema de control de velocidad consta de una electroválvula y una reguladora de caudal manual, la electroválvula mediante el regulador de velocidad permite un flujo continuo del caudal sin restricción de caudal o permite el paso hacia una línea restringida por una reguladora de caudal que ha sido previamente regulada de forma manual con el caudal deseado;
- h) Regulador de presión: Para cada actuador se tiene un potenciómetro que controla los diferentes niveles de presión dentro del intervalo que se desea controlar. Este potenciómetro regulará la válvula de alivio proporcional y a su vez, detectará este valor en el sensor de presión del actuador durante la etapa de compactación; y
- i) Puerto de red: Este es una conexión hembra de red que permite conectarse al módulo de control LOGO y cargar el programa con las variables parametrizadas, de acuerdo con el modelo de sinterizado que se desea fabricar.

El programa diseñado consta de las variables de operación y sus relaciones entre variables; éstas se encuentran descritas mediante bloques que representan los diferentes componentes del sistema y sus conexiones. Dichas variables permiten establecer los parámetros de operación en las diferentes etapas de las secuencias establecidas de extensión y retracción, las cuales se ejecutarán una vez se haya pulsado el botón de secuencia o control automático de secuencia, estas etapas se caracterizan mediante dos variables (las cuales

son presión y carrera), éstas a su vez serán comparadas y determinadas mediante transmisores de presión y de posición que permiten retroalimentar al circuito de control de forma continua, lo que permitirá que cada actuador se controle de forma independiente y parametrizado de acuerdo a las necesidades de diseño de cada componente sinterizado.

Dicha parametrización se encontrará dentro de un intervalo determinado, de modo que las etapas no entren en conflicto entre sí o entre etapas de los actuadores.

### **3.2.2. MANUAL DE MANTENIMIENTO Y SEGURIDAD**

Existen tres principales pautas previas a la operación de cualquier equipo, que garantizan la integridad física del operador y del equipo mismo; estas pautas se basan en reglas básicas de seguridad que sirven de guía general para la correcta operación del equipo:

a) Reglas de seguridad.

- Realice todas las inspecciones de rutina y regulares según como se indica en este manual;
- Verifique siempre la integridad del equipo de seguridad antes de cada operación;
- No opere el equipo en condiciones superiores a las indicadas como máximas en el apartado de especificaciones técnicas; y
- Utilice siempre el sentido común para prever situaciones de riesgo.

b) Aspectos de seguridad.

- Riesgos eléctricos: Se debe de asegurar siempre de que las condiciones de aislamiento de los cables eléctricos de control y alimentación se encuentren en buenas condiciones, sin exposición que provoquen cortocircuitos, electrocución directa o por conducción. Además, estos

podrían provocar conatos de incendio o incendios por medio de materiales combustibles como el mismo aceite con el que opera el equipo.

- Riesgo de incendio: Una vez verificadas las condiciones del sistema eléctrico, antes de conectarlo y en caso de no identificar exposición eléctrica, mantenga la prudencia de evitar derrames de aceite que pueda funcionar como combustible en caso de cortocircuito.
- Riesgos de atrapamiento: Es importante que antes de operar el equipo se asegure que las guardas de seguridad se encuentren en buenas condiciones, sin que existan aberturas o roturas que permitan introducir objetos o miembros dentro del espacio de trabajo. También debe de verificar que los interruptores de seguridad tipo microswitch funcionen como corresponden, interrumpiendo la máquina al abrir las compuertas. Por último, asegúrese que el interruptor de emergencia tipo hongo de seguridad detenga inmediatamente el equipo al ser accionado.
- Riesgos de cortadura: Una sugerencia importante es que debe de garantizar las buenas condiciones de las guardas de seguridad, procurando no golpearlo con objetos contundentes o forzar el acrílico debido a que este se puede agrietar o romper, provocando bordes filosos que ocasionen cortaduras.

#### c) Mantenimiento

Para garantizar una correcta operación del equipo, así como las condiciones de seguridad mínimas, es importante respetar las frecuencias y actividades de mantenimiento recomendadas en este apartado. Se debe de tener en consideración que de acuerdo con el nivel de utilización estas actividades podrían cambiar la frecuencia de su realización, aunque no se recomienda eliminarlas completamente, lo anteriormente descrito se desarrolla mediante el plan de mantenimiento presentado en la Tabla 3.2.

El programa de mantenimiento se divide en sistemas, los cuales se subdividen en partes; de acuerdo a la naturaleza de estas partes se asignan actividades de mantenimiento y su frecuencia, la cual se relaciona con la

durabilidad del componente de acuerdo a estándares de referencia, información técnica del fabricante o históricos de deterioro y fallas comunes de estos. Esta frecuencia se puede establecer en un período de tiempo como días, semanas o meses, así como en horas de operación e incluso antes de cada operación. Dichas actividades se realizan por personal responsable de acuerdo con su nivel de experiencia, como bien podría ser técnico u operador.

Tabla 3.2. Plan de Mantenimiento de Prensa Hidráulica de Compactación de Polvo para Sinterizado.

Sistema	Parte	Actividad	Frecuencia	Nivel del responsables
Sistema Hidráulico	Bomba	Inspección auditiva	6 mes	Técnico
		Limpieza	1 año	Técnico
		Rodamientos de bomba: Revisión y cambio si aplica	1 año	Técnico
		Eje de bomba: Revisión y cambio si aplica	1 año	Técnico
	Mangueras	Revisión por fugas o deterioro	3 mes	Operador
	Válvulas	Revisión por fugas o deterioro	3 mes	Operador
		Limpieza	6 mes	Operador
	Accesorios hidráulicos	Revisión por fugas	3 mes	Operador
	Actuadores	Revisión por fuga	3 mes	Operador
		O ring: Revisión y cambio si aplica	1 año	Técnico
		Limpieza	1 año	Operador
	Enfriador	Revisión por fuga	3 mes	Operador
		Limpieza	6 mes	Operador
	Depósito	Revisión por fuga	3 mes	Operador
		Limpieza	6 mes	Operador
		Revisión de nivel de aceite	3 mes	Operador
Cambio de aceite		1 año	Técnico	
Filtros	Revisión por fuga	3 mes	Operador	
	Revisión y cambio si aplica	1 año	Operador	
Sistema Mecánico	Motor	Rodamientos: Revisión y cambio si aplica	1 año	Técnico
		Eje, cuña y cuñero: Revisión por desgaste	1 año	Técnico
		Empaquetadura: Revisión por fuga y cambio si aplica	1 año	Técnico
	Coupling Motor-Bomba	Acoples e Inserto: Revisión por deterioro	6 mes	Técnico

*Continúa.*

Continuación.- Tabla 3.2. Plan de Mantenimiento de Prensa Hidráulica de Compactación de Polvo para Sinterizado.

Sistema	Parte	Actividad	Frecuencia	Nivel del responsables
Sistema Eléctrico y de control	Transmisor de Presión	Limpieza y calibración	1 año	Técnico
	Sensor de posición	Limpieza y calibración	1 año	Técnico
	Manómetros	Calibración o cambio	1 año	Técnico
	Conectores DIN	Revisión y limpieza	6 mes	Operador
	Tablero de Control	Contactores, breaker, autómato, borneras, pulsadores, fuente de poder y PLC: Revisión, limpieza y reaprete de contactos y respaldo de PLC.	6 mes	Técnico
Sistema de Seguridad	Guardas	Revisión de estado	Antes de cada operación	Operador
	Microswitch	Revisión de estado y funcionamiento	Antes de cada operación	Operador
	Paro de Emergencia	Revisión de estado y funcionamiento	Antes de cada operación	Operador
Sistema Estructural	Estructura	Revisión por corrosión o deterioro y aplicación de pintura	1 año	Operador
		Limpieza	3 mes	Operador
	Guarda	Limpieza	3 mes	Operador

### 3.2.3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS

A continuación se presenta las especificaciones técnicas relevantes para los usuarios de la máquina propuesta, las cuales describen características o capacidad de los componentes más críticos, como lo son el motor eléctrico, la bomba y cilindros hidráulicos, tal como se presenta en la Tablas 3.3 - 3.5.



Tabla 3.3. Especificaciones técnicas de motor eléctrico.

Variable	Valor
Potencia	3 HP
Velocidad síncrona	1800 rpm
Frecuencia	60 Hz
Fases	3
Voltaje	230/460 V
Número de polos	4

Tabla 3.4. Especificaciones técnicas de bomba hidráulica.

Variable	Valor
Caudal (para c/ puerto)	58.33 cm <sup>3</sup> /s
Presión máxima alcanzable	27.5 MPa (3988 psi)

Tabla 3.5. Especificaciones técnicas de Cilindro hidráulico.

Variable	Valor
Carrera	202.32 mm (8 pulg)
Presión	20.68 MPa (3000 psi)
Diámetro de compactación máximo, utilizando una presión de compactación de 70 MPa de la pieza	27.6 mm
Diámetro de compactación máximo, utilizando una presión de compactación de 40 MPa de la pieza	36.5 mm

### 3.3 COSTOS DE FABRICACIÓN

En la Tabla 3.1 se describe la lista de los componentes de la prensa de sinterizado; en dicha lista se presenta el número correlativo de componente (que a su vez se representa de forma gráfica en la Fig. 3.3), la cantidad de cada tipo de componente, su descripción, la marca o fabricante de estos y el proveedor local o en el exterior que los proporciona.

Los costos asociados a los componentes, materias primas y consumibles, servicios de fabricación y ensamblaje adicionales, se desglosan en las Tablas 3.6 - 3.11. Cada tabla corresponde a los componentes que serán adquiridos por cada proveedor y los costos presentados se sustentan sobre la base de cotizaciones obtenidas de dichos proveedores, las cuales se documentan en los Anexos C1 - C11.

Los costos del proveedor Autocontrol se desglosan en la Tabla 3.6, en ella se detallan los componentes hidráulicos y sus accesorios, mediante subsistemas. La documentación de la cotización completa de este proveedor se presenta en los Anexos C1-C5.

Tabla 3.6. Costos de componentes del sistema hidráulico de la prensa de sinterizado, proveedor: Autocontrol S.A. de C.V.

Elemento		Cant.	C/U, \$	C/T, \$
Componentes principales del Sistema Hidráulico	Bomba de engranajes doble	1	919.00	919.00
	Motor, 3 HP, 60 Hz, 3ph, 182TC, 1800 rpm, 230/460 V.	1	1350.00	1350.00
	Acople bomba	1	55.25	55.25
	Acople motor	1	55.25	55.25
	Inserto	1	25.50	25.50
	Montaje Motor/Bomba (Campana)	1	170.00	170.00
	Cilindro hidráulico, doble efecto, 2 pulg DO, 8 pulg Stroke (Chief)	2	477.56	955.12
	Sensor de presión	2	301.25	602.50
	Manifold, 2 estaciones, CETOP 3, Paralelo	2	204.00	408.00
	Series D1VW / D1VW - Válvula direccional 4/3, Centro Tandem	2	361.92	723.84
	Conector eléctrico DIN 30 mm	4	15.67	62.68
	Series RE06M*T - Válvula de alivio proporcional	2	3223.00	6446.00
	Manómetro 0-3000 psi	2	41.05	82.10
	Válvula reguladora de flujo Hidráulico	2	57.66	115.32
	Válvula direccional 2/2, monoestable.	2	98.47	196.94
	Cuerpo estándar para válvula direccional 2/2.	2	74.10	148.20
	Válvula reductora de caudal	2	109.02	218.04
	Filtro de Retorno	1	61.83	61.83
	Filtro de succión	1	31.26	31.26
	Tanque de 5 galones	1	848.74	848.74
Manómetro de saturación para filtro spin on	1	42.15	42.15	
Conectores hidráulicos (NPT y SAE)	Reductor 1/2 pulg NPT macho - 1/4 pulg NPT hembra	2	4.75	9.50
	Reductor 1/2 pulg NPT macho - 3/8 pulg NPT hembra	2	4.17	8.34
	Conector codo 1/4 pulg NPT macho-hembra	3	5.99	17.97
	Conector codo 1/4 pulg NPT macho-macho	2	7.22	14.44

Continúa.

Continuación.- Tabla 3.6. Costos de componentes del sistema hidráulico de la prensa de sinterizado, proveedor: Autocontrol S.A. de C.V.

Elemento		Cant.	C/U, \$	C/T, \$
Conectores hidráulicos (NPT y SAE)	Conector codo 1/4 pulg NPT hembra-hembra	2	5.70	11.40
	Niple 1/4 pulg NPT	2	1.68	3.36
	Conector recto 1/4 pulg NPT hembra - 1/4 pulg NPT hembra	2	3.24	6.48
	T 1/4 pulg NPT hembra	2	9.11	18.22
	T 1/4 pulg NPT macho	4	6.08	24.32
	Reductor 3/4 pulg NPT macho - 3/8 pulg NPT hembra	2	3.33	6.66
	Conector codo 3/8 pulg NPT macho-hembra	1	8.84	8.84
	Conector recto 3/8 pulg NPT hembra - 3/8 pulg NPT hembra	1	4.68	4.68
	Tee 3/8 pulg NPT hembra-hembra-macho	1	14.97	14.97
	Reductor 3/8 pulg NPT macho - 1/4 pulg NPT hembra	2	3.08	6.16
	Adaptador SAE 6 macho - 1/2 pulg NPT hembra	1	12.59	12.59
	Adaptador SAE 6 macho - 1/4 pulg NPT hembra	2	2.41	4.82
	Conector recto SAE 8 macho x 1/4 pulg NPT macho	2	21.64	43.28
Tapones hidráulicos	Tapón 1/2 pulg NPT macho	2	1.10	2.20
	Tapón 3/8 pulg NPT macho	4	0.55	2.20
Conectores para manguera	Conector codo 1/4 pulg NPT macho x 1/4 pulg JIC macho	2	3.41	6.82
	Conector recto 1/4 pulg NPT macho x 1/4 pulg JIC macho	2	2.61	5.22
	Conector recto 1/4 pulg NPT hembra x 1/4 pulg JIC macho	2	2.63	5.26
	Conector recto 3/8 pulg NPT macho x 1/4 pulg JIC macho	2	3.29	6.58
	Conector recto 1/2 pulg NPT macho x 1/4 pulg JIC macho	2	6.81	13.62
	Conector recto SAE 8 macho x 1/4 pulg JIC macho	2	2.32	4.64
	Conector recto SAE 12 macho x 3/8 pulg JIC macho	2	7.28	14.56
	Conector codo 3/8 pulg NPT macho x 3/8 pulg JIC macho	1	6.33	6.33
	Conector recto 3/8 pulg NPT macho x 3/8 pulg JIC macho	1	3.87	3.87
	Conector recto 1/4 pulg Tubing, 1/4 pulg NPT hembra	4	13.79	55.16

Continúa.

Continuación.- Tabla 3.6. Costos de componentes del sistema hidráulico de la prensa de sinterizado, proveedor: Autocontrol S.A. de C.V.

Elemento		Cant.	C/U, \$	C/T, \$
Conectores para tubería rígida	Conector codo 1/4 pulg Tubing, 1/4 pulg NPT macho	2	8.57	17.14
	Conector recto 1/4 pulg Tubing x 1/4 pulg NPT macho	2	5.14	10.28
	Conector recto 1/4 pulg Tubing, SAE 6 macho	4	19.79	79.16
	Conector codo 3/8 pulg Tubing, 3/8 pulg NPT macho	1	12.12	12.12
	Conector recto 3/8 pulg Tubing, 3/8 pulg NPT macho	1	5.33	5.33
Tubería rígida	Tubing 3/8 pulg, con giro a 180°, 390 mm	1	16.72	16.72
	Tubing 1/4 pulg, con giro a 90°, 210 mm	1	3.63	3.63
	Tubing 1/4 pulg, con giro a 90°, 320 mm	1	7.26	7.26
	Tubing 1/4 pulg, recto, 26 mm	2	3.63	7.26
	Tubing 1/4 pulg, con giro a 90°, 110 mm	2	3.63	7.26
Mangueras hidráulicas	Manguera de 1/4 pulg, 3250 psi, con terminales recto y codo 90° hembra de 1/4 pulg JIC, con una longitud de 840 mm	1	18.11	18.11
	Manguera de 1/4 pulg, 3250 psi, con terminales recto y codo 90° hembra de 1/4 pulg JIC, con una longitud de 300 mm	1	14.70	14.70
	Manguera de 1/4 pulg, 3250 psi, con terminales recto hembra de 1/4 pulg JIC, con una longitud de 1800 mm	1	19.45	19.45
	Manguera de 1/4 pulg, 3250 psi, con terminales recto y codo 90° hembra de 1/4 pulg JIC, con una longitud de 1660 mm	1	23.22	23.22
	Manguera de 1/4 pulg, 3250 psi, con terminales codo 90° hembra de 1/4 pulg JIC, con una longitud de 1220 mm	1	23.58	23.58
	Manguera de 1/4 pulg, 3250 psi, con terminales recto y codo 90° hembra de 1/4 pulg JIC, con una longitud de 520 mm	1	16.40	16.40
	Manguera de 3/8 pulg, 2600 psi, con terminales codo 90° hembra de 3/8 pulg JIC, con una longitud de 1230 mm	1	31.13	31.13
	Manguera de 3/8 pulg, 2600 psi, con terminales codo 90° hembra de 3/8 pulg JIC, con una longitud de 680 mm	1	29.11	29.11
	Total, sin IVA=			14,202.07
IVA=			1,846.27	
Total, con IVA=			16,048.33	

En la Tabla 3.7 se presenta los costos de los componentes necesarios para la estructura metálica, consumibles, tornillería y componentes electrónicos que serán ensamblados en el gabinete de control, estos se cotizaron con el proveedor Vidrí S.A. de C.V.

Tabla 3.7. Costos de componentes cotizados en Vidrí.

Elemento	Cant.	C/U, \$	C/T, \$
Empaque Vitorite 1/16 pulg	1	21.50	21.50
Niple galvanizado 3/8 pulg NPT x 6 pulg	1	1.60	1.60
Codo galvanizado hembra-hembra 1/2 pulg NPT	2	0.70	1.40
Niple galvanizado 1/2 pulg NPT x 2 pulg	1	0.45	0.45
Niple galvanizado 3/8 pulg NPT x 2 pulg	1	0.80	0.80
Perno allen 5/16 pulg x 4 pulg, rosca ordinaria	4	0.65	2.60
Perno allen 3/16 pulg x 1 1/2 pulg, rosca ordinaria	16	0.20	3.20
Perno cabeza hexagonal 3/8 pulg x 1 pulg, rosca ordinaria	4	0.20	0.80
Perno cabeza hexagonal 3/8 pulg x 2 pulg, rosca ordinaria	18	0.30	5.40
Arandela de presión 3/8 pulg, zincada	18	0.04	0.72
Arandela plana 3/8 pulg, zincada	18	0.09	1.62
Tuerca 3/8 pulg, rosca ordinaria	12	0.12	1.44
Perno cabeza hexagonal 1/2 pulg x 1 pulg, rosca ordinaria	4	0.50	2.00
Arandela de presión 1/2 pulg, zincada	4	0.08	0.32
Arandela plana 1/2 pulg, zincada	4	0.19	0.76
Perno cabeza hexagonal 5/16 pulg x 1 pulg, rosca ordinaria	6	0.20	1.20
Tuerca 5/16 pulg, rosca ordinaria	10	0.07	0.70
Angulo 1 1/2 pulg, 3.18 mm, AG	1	17.50	17.50
Tubo estructural cuadrado, 4 pulg, 3.18 mm	4	125.00	500.00
Lámina galvanizada lisa, calibre 16, 4 x 8 pies	1	79.95	79.95
Lámina negra 3/16 plg /4.70mm) 2 x 1m	1	118.00	118.00
Lámina acrílica transparente 2.5 mm, 1.22 x 2.44 m	4	67.96	271.84
Par de bisagras alcayate nudo 3 x 3 pulg	12	1.40	16.80
Lámpara LED 2x32w SYLVANIA	2	43.95	87.90
Tubo fluorescente 32w luz blanca SYLVANIA	4	1.75	7.00
Fuente de alimentación 24 VDC	1	76.95	76.95
LOGO V8.3	1	180.00	180.00
Contactador 16 A	1	51.95	51.95
Guardamotor, 7-10 A	1	77.95	77.95

Continúa.

Continuación.- Tabla 3.7. Costos de componentes cotizados en Vidri.

Elemento	Cant.	C/U, \$	C/T, \$
Automato, 20 A, 3P (Motor)	1	24.95	24.95
Automato, 2 A, 2P (Control)	1	26.50	26.50
Pulsador verde	1	15.50	15.50
Libras de electrodo para hierro dulce 1/8 pulg	44	2.25	99.00
Pegamento epóxico epoxi-mil 150 g LOCTITE	6	3.90	23.40
Pulsador rojo	1	16.50	16.50
Pulsador negro	6	15.00	90.00
Selector switch, 2 posiciones	2	22.95	45.90
Paro de emergencia, tipo hongo	1	40.95	40.95
Haladera aluminio mate 128 mm	6	2.10	12.60
Total, sin IVA=			1,927.65
IVA=			250.59
Total, con IVA=			2,178.24

A continuación se presenta en la Tabla 3.8 los costos ofrecidos por el proveedor Freund para los componentes eléctricos y electrónicos.

Tabla 3.8. Costos de componentes cotizados en Freund S.A. de C.V.

Elemento	Cant.	C/U, \$	C/T, \$
Gabinete 80 x 60 x 30 cm Metal IP66	1	169.00	169.00
Bornera de tierra	5	5.25	26.25
Bornera con tornillo	40	1.25	50.00
Indicador luminoso LED, color verde	1	3.90	3.90
Aislador principal, LOTO	1	43.00	43.00
Canaleta ranurada 40 x 40	2	15.30	30.60
Riel DIN, 35 mm	2	3.95	7.90
Total=			330.65

La importación de productos de diferentes fabricantes se realiza a través de Aeropost, la cual es una empresa que se dedica a importar productos incluyendo todos los impuestos y envío al lugar de destino. En la Tabla 3.9 se presenta los componentes adquiridos a través de Aeropost y el costo de cada uno de ellos.

Tabla 3.9. Costos de componentes cotizados a través de Aeropost S.A. de C.V.

Elemento	Cant.	C/U, \$	C/T, \$
Enfriador de aceite hidráulico, 18 HP	1	533.56	533.56
Acoplador Ethernet RJ45, hembra hembra	1	22.38	22.38
Potenciómetro, 5 k $\Omega$	4	55.47	221.88
Microswitch	3	41.47	124.40
Módulo de expansión de entradas analógicas (LOGO)	2	166.98	333.95
Módulo de expansión de salidas analógicas (LOGO)	2	262.51	525.01
Total=			1,761.18

En la Tabla 3.10 se presentan los costos de los sensores para determinar la posición del actuador y los servicios para el vulcanizado de las bases de esta prensa del trabajo de graduación, respectivamente.

Tabla 3.3. Costos de componentes cotizados en IDSA S.A. de C.V.

Elemento	Cant.	C/U, \$	C/T, \$
Sensor de posición	2	594.15	1,188.30
Sostén para sensor de posición	2	8.00	16.00
Total, sin IVA=			1,204.30
IVA=			156.56
Total, con IVA=			1,360.86

Tabla 3.4. Costos de componentes cotizados a través de Pinse-auto S.A. de C.V.

Elemento	Cant.	C/U, \$	C/T, \$
Fabricación e instalación de 4 tacos de caucho vulcanizado para patas de estructura metálica tipo armadura	1	120.00	120.00
Acero 4 pulg de diámetro y ancho/alto (Para bloques de acero y cilindro)	7	25.00	175.00
Maquinado de bloques de acero y cilindro de acero	5	50.00	250.00
Total, sin IVA=			545.00
IVA=			70.85
Total, con IVA=			615.85

El costo del aceite hidráulico a utilizar es de \$57.74, cotizado con la empresa Acavisa S.A. de C.V.

La suma total de los costos de los diferentes proveedores se presenta en la Tabla 3.12, la cual representa el costo total que tiene la prensa.

Tabla 3.5. Costo total de la prensa.

Proveedor	Costo, \$
Autocontrol	16,048.33
Vidrí	2178.24
Freund	330.65
Aeropost	1,761.18
IDSA	1,360.86
Pinse-auto	615.85
Acavisa	57.74
Total =	22,352.85

El costo total a la fecha para la fabricación de la prensa hidráulico de compactación de polvos metálicos para sinterizado es de \$22,352.85; este monto puede variar respecto a la inflación del mercado y las leyes que establecen los impuestos a los productos importados.

Dado que se proyecta que dicha prensa sea fabricada y ensamblada por estudiantes de la carrera de Ingeniería Mecánica de la Universidad de El Salvador, como un proyecto didáctico con fines académico; donde ellos podrán poner en práctica los conocimientos adquiridos durante dicha carrera, mediante la interpretación de la información técnica que se describe en el presente trabajo, como con la ejecución de dicho proyecto.



## CONCLUSIONES

Finalizado el presente trabajo de graduación sobre el diseño de una prensa hidráulica de compactación de polvos metálicos para sinterizado para uso didáctico se puede concluir lo siguiente:

- La información bibliográfica recopilada mediante investigación permitió fundamentar los conocimientos particulares sobre prensas hidráulicas de compactación de polvos metálicos para sinterizado; estableciendo criterios y parámetros a tomar en consideración en su diseño, aunque que fueron complementados mediante los amplios conocimientos adquiridos en las áreas de hidráulica, mecánica de materiales, procesos de fabricación y adicionalmente el área de automatización que exigió un esfuerzo extra para complementar los conocimientos básicos con que se contaban.
- La capacidad y dimensiones de la prensa hidráulica están determinados por el producto sinterizado que se excogitó, el cual es un filtro neumático que exhibe alta porosidad, un intervalo de presión de compactación relativamente bajo, dimensiones y geometrías medianamente complejas; estas condicionaron la capacidad y distribución de los componentes hidráulicos y estructurales, debido al diseño sucesivo de los componentes que se relacionan entre sí por las mismas variables.
- La prensa hidráulica diseñada dispone de una capacidad de desarrollar una carrera de 202.32 mm (8 pulg) por cada cilindro hidráulico, con una presión hidráulica máxima a soportar de 20.68 MPa (3000 psi), los cuales son alimentados con una bomba de engranajes doble con un caudal de 58.33 cm<sup>3</sup>/s capaz de entregar una presión máxima de 27.5 MPa (3988 psi), esta a su vez es accionada por un motor de 3 HP a 1800 rpm y una alimentación eléctrica de 230/460 V trifásica. Estos componentes se controlan mediante el uso de un controlador lógico programable, el cual comanda las electroválvulas direccionales, válvulas de alivio proporcionales y recibe señales de los sensores de presión y posición; y mediante estas señales ejecuta un laso de

retroalimentación que permite ejecutar la secuencia de compactación previamente seteados.

- Para el diseño de la prensa hidráulica de polvos metálicos es de suma importancia tomar en consideración aspectos de seguridad, ya que esta será operada por estudiantes; dichos aspectos se encuentran plasmados en el manual de mantenimiento y seguridad. Esto se logró utilizando guardas y micros de seguridad, ubicados en la estructura de la prensa; así como una parada de emergencia y un LOTO ubicados en el gabinete de control.
- El costo total para la fabricación de una prensa hidráulica para compactación de polvos metálicos en el sinterizado es de \$ 22,352.85 tomando en consideración componentes, insumos y fabricación de piezas con subcontratistas; este costo puede variar respecto a la inflación del mercado y las leyes que establecen los impuestos de los productos importados. La rentabilidad del equipo no es medible económicamente ya que ha sido diseñado para uso didáctico sin fines de lucro, más bien se encuentra relacionado con el beneficio académico que se espera lograr al ser implementado dentro de los equipos disponibles del taller mecánico de la Escuela de Ingeniería Mecánica para las prácticas de laboratorio.

## BIBLIOGRAFÍA

- [1] Avner, S.H. (1979). *Introducción a la metalurgia física*. (2<sup>ra</sup>. ed.). Estados Unidos: Editorial McGraw-Hill Book Co., INC.
- [2] Veazey, M. V. (2005, noviembre-diciembre). *1 600 Years Young—Thanks to its Enduring Corrosion Resistance, an Indian Historical Artifact’s Appearance Belies its Age*. Recuperado el 28 de marzo del 2022, de [http://publications.iupac.org/ci/2005/2706/3\\_veazey.html](http://publications.iupac.org/ci/2005/2706/3_veazey.html)
- [3] Morral, F.R., Jimeno, E. & Molera, P. (1985). *Metalurgia general*, (Tomo II), Barcelona: Editorial Reverté, S. A. Recuperado el 28 de marzo del 2022, de <https://books.google.com/sv/books?id=yuAbEAAAQBAJ&printsec=frontcover#v=onepage&q&f=false>
- [4] Suits, C.G. (2002, 24 de diciembre). *National Academy of Sciences Memorial Biography: William David Coolidge*. Recuperado el 28 de marzo del 2022, de <https://web.archive.org/web/20080313153940/http://www.harvardsquarelibrary.org/unitarians/coolidge.html>
- [5] Bernd, S.E. (2003). *Introducción a la metalurgia*. Santiago de Chile: Universidad de Santiago de Chile, Facultad de Ingeniería, Departamento de Ingeniería Metalúrgica, Capítulo 22: Pulvimetalurgia.
- [6] Castro, M.L., Rincón R., E., Laredo L., B. & Castello T., J. M. (2005). *Moldeo por inyección de metales, estado actual*. Revista de ciencia, tecnología y medio ambiente, (Volumen III). Recuperado el 28 de marzo del 2022, de [http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECTIN05\\_003.pdf](http://www.uax.es/publicaciones/archivos/TECTIN05_003.pdf)
- [7] Kalpakjian, S. & Schmid, S. R. (2008). *Mecánica, ingeniería y tecnología*. (5<sup>ta</sup>. ed.). México: Editorial Pearson.
- [8] Google (2022, 20 abril). *Google Trend. Términos Clave: Sinterizado*. Recuperado 20 de abril de 2022, de <https://trends.google.com/trends/explore?date=2004-01-01%202022-04-12&q=sinterizado,pulvimetalurgia,sintered,metalurgia%20de%20polvos>
- [9] Appold, H., Feiler, K., Reinhard, A. & Schmidt, P. (1985). *Tecnología de los metales para profesiones técnico-mecánicas*. (1<sup>ra</sup> ed.). Barcelona: Editorial Reverté, S. A.
- [10] DeGarmo, E.P., Black, J.T. & Kohser, R.A. (1994). *Materiales y Procesos de Fabricación. Vol. 1*. (2<sup>da</sup> ed.). Barcelona: Editorial Reverté, S. A.
- [11] Groover, M.P. (1997). *Fundamentos de manufactura moderna. Materiales, procesos y sistemas*. (1<sup>ra</sup> ed.). Naucalpan de Juárez: Prentice-Hall Hispanoamericana, S. A.
- [12] Black, J.T., & Kohser, R.A. (2012). *DeGarmo's Materials and Processes in Manufacturing [Materiales y Procesos de Fabricación de DeGarmo]*. (11<sup>ava</sup> ed.). Hoboken: Wiley.
- [13] Höganäs A.B. (2014). *Producción de componentes sinterizados (Manual 2)*. [https://www.hoganas.com/globalassets/download-media/sharepoint/handbooks---all-documents/handbook-2\\_production-of-](https://www.hoganas.com/globalassets/download-media/sharepoint/handbooks---all-documents/handbook-2_production-of-)

[sintered-components spanish september 2014 0788hoges-interactive.pdf](#)

- [14] Aldabaldetrecu Patxi (2000). *Museo de la máquina-herramienta de maquinaria Madrid*. S.A., Madrid.  
<http://www.maquinariamadrid.com/docs/museo.pdf>
- [15] Eugene A. Avallone (1995). *Manual del ingeniero mecánica Marks* (9<sup>na</sup> ed.), Editorial Mc.Graw Hill.  
<https://gabpingeneria.weebly.com/uploads/2/0/1/6/20162823/prensas.pdf>
- [16] Solpress (2021). *Tipos de prensas industriales*. México,  
<https://solpressbcn.com/tipos-de-prensas-industriales/>
- [17] Sanabria, D. (2016). *Cálculo y diseño de una prensa hidráulica semiautomática tipo H de 100 toneladas para la empresa sistemas innovadores moldeados*. Universidad pedagógica y tecnología de Colombia.
- [18] Súbia S. Miguel Ángel (2021). *Diseño e implementación de un sistema de control para una prensa hidráulica basado en PLC LOGO y HMI*. Instituto superior tecnológico vida nueva. Quito, Ecuador.  
<http://dspace.istvidanueva.edu.ec/xmlui/handle/123456789/144>
- [19] Lioyang Pharma Machinery Co., Ltd, *Máquina de forja en Caliente*  
[https://spanish.alibaba.com/p-detail/Bolts-1649565999.html?spm=a2700.shop\\_plser.41413.37.7cd27b03uaGCpX](https://spanish.alibaba.com/p-detail/Bolts-1649565999.html?spm=a2700.shop_plser.41413.37.7cd27b03uaGCpX)
- [20] GRAINGER México. *Prensa de cremallera*.  
<https://www.grainger.com.mx/producto/DAYTON-Prensa-de-Cremallera%2C0-a-4000-lb-/p/467L16>
- [21] Constain A., Valencia A. *Gatos Hidráulicos*.  
<https://app.emaze.com/@AWCWQITI#/5>
- [22] Albeco. *Catálogo AMES filtros metálicos sinterizados*.  
[https://www.albeco.com.pl/pl/katalog/preview/Ames\\_AmesPore\\_Sintered\\_metallic\\_filters\\_EN\\_ES.pdf](https://www.albeco.com.pl/pl/katalog/preview/Ames_AmesPore_Sintered_metallic_filters_EN_ES.pdf)
- [23] Bailey International. *Bailey Hydraulics Electronic Catalog*.  
<https://www.baileyhydraulics.com/electronic-catalog>
- [24] Parker Hydraulics. *Catalog HY09-0500/US: PGP 500 Series, PGM 500 Series, Single or Multiple Aluminum Pumps & Motors*  
<https://dihmosa.com/cms/uploads/catalogo-de-bombas-serie-500.pdf>
- [25] ABB Motors and Drives US. *CEM3611T - Product Catalog - Baldor.com*.  
<https://www.baldor.com/catalog/cEM3611T#tab=%22specs%22>
- [26] Parker Hydraulics. *Oildyne 550 Series Hydraulic Power Units*.  
<https://www.parker.com/content/dam/Parker-com/Literature/Hydraulic-Pump-Division/Oildyne-550-Series/03---550-Series-Section-12-2015.pdf>
- [27] Arq. Argimiro Castillo Gandica. *Web del Profesor Argimiro Castillo*.  
[http://webdelprofesor.ula.ve/arquitectura/argicast/materias/materia2/CLASE\\_VIGAS.html](http://webdelprofesor.ula.ve/arquitectura/argicast/materias/materia2/CLASE_VIGAS.html)

**ANEXOS**

# ANEXOS A: DOCUMENTOS Y CRITERIOS DE SELECCIÓN Y DISEÑO

## ANEXO A1. CATÁLOGO PARA SELECCIÓN DE CILINDRO HIDRÁULICO MARCA BAILEY HYDRAULICS, PÁGINA 34 [23]

### HYDRAULIC CYLINDERS

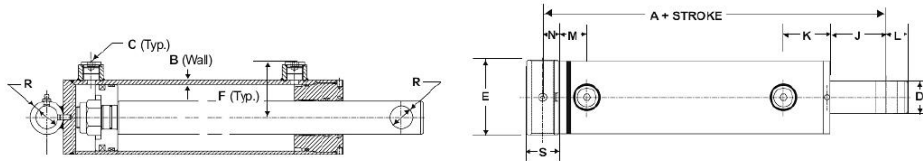
#### CHIEF™ WP WELDED CYLINDERS - 3000 PSI

##### MEDIUM DUTY, HIGHLY VERSATILE WELDED CYLINDER WITH CROSS-TUBE BASE

This Bailey Chief cylinder is ideal for construction, agriculture, trailer manufacturers, metal fabricating, and waste/recycling equipment applications.

#### Features:

- **Intended Use:** Double-acting application
- **Piston:** Ductile iron with wear ring
- **Gland:** Ductile iron, screw-in design with wear ring
- **Tube:** Precision honed steel
- **Rod:** Hard chrome plated
- **Rod End Mount:** Rod eye drilled
- **Base End Mount:** Steel cross-tube with grease zerk
- **Tube Seal:** Buna o-ring with Polytemp hytrel backup
- **Rod Seal:** Deep polypak with B lip design
- **Rod Wiper:** Urethane, snap-in
- **Piston Seal:** Hallite 755 provides prolonged wear resistance with wear ring
- **Painted black**
- **3 year limited warranty**



#### Dimensional Data in Inches:

BORE	A	B	C	D	E	F	J	K	L	M	N	R	S
1.5	7	0.1875	SAE 6	1.000	2.000	1.625	2.507	2.125	0.625	0.851	0.625	0.640	1.25
2.0	8	0.1875	SAE 8	1.250	2.500	1.874	3.444	1.875	0.752	0.974	0.625	0.765	1.25
2.5	8	0.1875	SAE 8	1.375	3.000	2.125	3.125	2.000	0.752	1.044	0.625	0.765	1.25
3.0	8	0.1875	SAE 8	1.500	3.500	2.375	2.629	2.187	1.000	1.245	0.750	1.015	1.50
3.5	8	0.1875	SAE 8	1.750	4.000	2.624	2.438	2.312	1.000	1.312	0.750	1.015	1.50
4.0	9	0.2500	SAE 8	2.000	4.625	2.937	3.002	2.185	1.250	1.613	1.000	1.265	2.00

PART NO.	STROKE	ROD DIA.	RETRACTED	EXTENDED	COLUMN LOAD	PORT SIZE	PIN DIA.	SHIP WT.	MSRP	YOUR PRICE
<b>1.5" Bore</b>										
287200	4	1	11	15	5,300	SAE 6	0.625	6	\$217.26	\$178.15
287201	6	1	13	19	5,300	SAE 6	0.625	7	\$225.73	\$185.10
287202	8	1	15	23	5,300	SAE 6	0.625	8	\$234.69	\$192.45
287203	10	1	17	27	5,300	SAE 6	0.625	9	\$241.98	\$182.02
287204	12	1	19	31	5,300	SAE 6	0.625	10	\$252.84	\$207.30
286350	Seal Kit	1							\$33.48	\$27.21

## ANEXO A2. CATÁLOGO PARA SELECCIÓN DE CILINDRO HIDRÁULICO MARCA BAILEY HYDRAULICS, PÁGINA 35 [23]

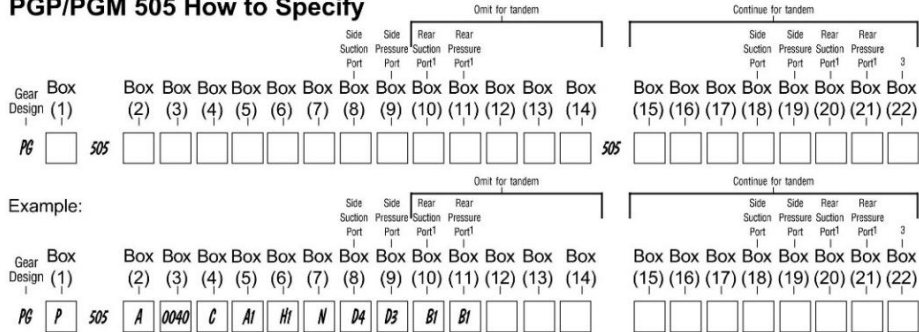
PART NO.	STROKE	ROD DIA.	RETRACTED	EXTENDED	COLUMN LOAD	PORT SIZE	PIN DIA.	SHIP WT.	MSRP	YOUR PRICE	CYLINDERS	
<b>2" Bore</b>												
287207	8	1.25	16	24	9,420	SAE 8	0.75	13	\$237.29	\$194.58	CYLINDER COMPONENTS	
287208	10	1.25	18	28	9,420	SAE 8	0.75	14	\$244.94	\$200.85		
287211	16	1.25	24	40	9,420	SAE 8	0.75	18	\$267.90	\$219.68		
287213	20	1.25	28	48	9,420	SAE 8	0.75	21	\$293.22	\$232.24		
287214	24	1.25	32	56	8,180	SAE 8	0.75	24	\$296.87	\$238.51		
287216	30	1.25	38	68	5,580	SAE 8	0.75	28	\$313.83	\$257.34		
287218	32	1.25	40	72	4,990	SAE 8	0.75	30	\$321.48	\$263.61		
287219	36	1.25	44	80	4,050	SAE 8	0.75	33	\$336.80	\$276.18		
287221	42	1.25	50	92	3,070	SAE 8	0.75	37	\$359.75	\$295.00		
287222	48	1.25	56	104	2,410	SAE 8	0.75	41	\$382.72	\$313.83		
287225	60	1.25	68	128	1,590	SAE 8	0.75	50	\$428.65	\$351.49		
287226	72	1.25	80	152	1,130	SAE 8	0.75	59	\$527.42	\$432.48		
286351	Seal Kit	1.25							\$34.45	\$28.25		
<b>2.5" Bore</b>												
287229	8	1.375	16	24	14,720	SAE 8	0.75	17	\$252.60	\$207.13	CYLINDER COMPONENTS	
287231	12	1.375	20	32	14,720	SAE 8	0.75	20	\$267.90	\$219.68		
287233	16	1.375	24	40	14,720	SAE 8	0.75	24	\$283.22	\$232.24		
287235	20	1.375	28	48	14,720	SAE 8	0.75	27	\$298.52	\$244.79		
287236	24	1.375	32	56	12,250	SAE 8	0.75	31	\$346.20	\$283.88		
287238	30	1.375	38	68	8,350	SAE 8	0.75	36	\$336.54	\$275.12		
287239	32	1.375	40	72	7,460	SAE 8	0.75	38	\$361.16	\$312.55		
287240	36	1.375	44	80	6,050	SAE 8	0.75	41	\$397.26	\$325.75		
287242	42	1.375	50	92	4,590	SAE 8	0.75	47	\$423.42	\$347.20		
287244	48	1.375	56	104	3,600	SAE 8	0.75	52	\$404.85	\$329.52		
287248	60	1.375	68	128	2,380	SAE 8	0.75	62	\$500.36	\$410.30		
286352	Seal Kit	1.375							\$35.72	\$29.29		
<b>3" Bore</b>												
287252	8	1.5	16	24	21,200	SAE 8	1	21	\$268.32	\$236.42	CYLINDER COMPONENTS	
287254	12	1.5	20	32	21,200	SAE 8	1	25	\$335.04	\$274.73		
287256	16	1.5	24	40	21,200	SAE 8	1	30	\$350.93	\$287.76		
287258	20	1.5	28	48	21,200	SAE 8	1	34	\$367.67	\$301.49		
287259	24	1.5	32	56	17,840	SAE 8	1	38	\$383.52	\$314.49		
287261	30	1.5	38	68	12,120	SAE 8	1	45	\$407.53	\$334.17		
287263	36	1.5	44	80	8,770	SAE 8	1	51	\$430.76	\$353.22		
287265	40	1.5	48	88	7,250	SAE 8	1	55	\$444.95	\$364.86		
287269	48	1.5	56	104	5,200	SAE 8	1	64	\$456.99	\$374.73		
287272	60	1.5	68	128	3,430	SAE 8	1	75	\$482.78	\$395.88		
286353	Seal Kit	1.5							\$38.27	\$31.38		
<b>3.5" Bore</b>												
287275	8	1.75	16	24	28,860	SAE 8	1	29	\$374.42	\$304.32		CYLINDER COMPONENTS
287276	10	1.75	18	28	28,860	SAE 8	1	32	\$348.29	\$285.60		
287277	12	1.75	20	32	28,860	SAE 8	1	34	\$416.05	\$341.16		
287278	16	1.75	24	40	28,860	SAE 8	1	40	\$430.64	\$353.12		
287279	18	1.75	26	44	28,860	SAE 8	1	43	\$511.76	\$419.64		
287280	20	1.75	28	48	28,860	SAE 8	1	46	\$476.24	\$390.49		
287281	24	1.75	32	56	28,860	SAE 8	1	51	\$519.83	\$426.26		
287282	30	1.75	38	68	22,290	SAE 8	1	60	\$509.02	\$417.40		
287284	40	1.75	48	88	13,330	SAE 8	1	74	\$655.52	\$537.53		
287286	48	1.75	56	104	9,550	SAE 8	1	85	\$676.53	\$472.75		
286354	Seal Kit	1.75							\$39.55	\$32.43		
<b>4" Bore</b>												
287290	8	2	17	25	37,690	SAE 8	1.25	39	\$445.52	\$365.33	CYLINDER COMPONENTS	
287291	10	2	19	29	37,690	SAE 8	1.25	43	\$455.52	\$373.53		
287292	12	2	21	33	37,690	SAE 8	1.25	47	\$473.92	\$388.61		
287294	16	2	25	41	37,690	SAE 8	1.25	54	\$499.43	\$409.53		
287295	18	2	27	45	37,690	SAE 8	1.25	58	\$516.94	\$423.89		
287296	20	2	29	49	37,690	SAE 8	1.25	61	\$531.79	\$436.07		
287300	24	2	33	57	37,690	SAE 8	1.25	69	\$561.38	\$460.33		
287301	30	2	39	69	37,690	SAE 8	1.25	80	\$604.31	\$495.53		
287302	36	2	45	81	27,380	SAE 8	1.25	91	\$643.99	\$528.07		
287305	48	2	57	105	16,280	SAE 8	1.25	118	\$739.83	\$606.66		
287309	60	2	69	129	10,780	SAE 8	1.25	151	\$814.65	\$668.01		
286355	Seal Kit	2							\$43.38	\$35.57		

Prices subject to change. For the most accurate pricing, please refer to our website at [Baileyhydraulics.com](http://Baileyhydraulics.com) or call one of our Customer Experience Representatives at 1-800-800-1810.

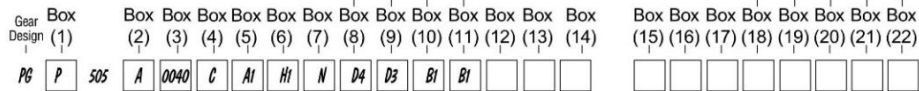
35

# ANEXO A3. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE BOMBA SELECCIONADA, SERIE PGP 505 [24]

## PGP/PGM 505 How to Specify



Example:



Box 1 Pump/Motor	
P	Pump
M	Motor

Boxes 2,15 Unit		
	Pump	Motor
A	Single unit	Standard Motor w/o checks
B	Multiple unit	Standard Motor w/ two checks
C	—	Standard Motor w/one anti cavitation check (ACC)
M	Single distributor unit	—
N	Multiple distributor unit	—

Boxes 3,16 Displacement	
0020	2.0 ccm
0030	3.0 ccm
0040	4.0 ccm
0050	5.0 ccm
0060	6.0 ccm
0070	7.0 ccm
0080	8.0 ccm
0100	10.0 ccm
0110	11.0 ccm
0120	12.0 ccm

Boxes 4 Rotation	
C	Clockwise
A	Counter clockwise
B	Bi-directional

Box 5 Shaft	
A1	9T, 16/32 Pitch, 32L, SAE "A" spline
A2	9T, 20/40 Pitch, 27L, SAE "AA" spline
J1	Ø12.7, 3.2 Key, no thread, 38L, parallel
K1	Ø15.88, 4.0 Key, no thread, 32L, SAE "A", parallel
Q1	Ø12.7, 7.6L, 2.4 Key, M8x1.25, taper 1:8
Q2	Ø14.25, 5.5L, 3.0 Key, M10x1, taper 1:8
V4	11x2.8, 1/4UNF for flange code A1, tang drive

Box 6 Shaft End Covers	
A1	50.8x50.8 - Ø45.25 4bolt square flange
D2	56.0x73.0 - Ø30.0 rectangular
D3	71.4x96.0 - Ø36.47 rectangular
H1	82.5 - Ø50.8 SAE "A-A" 2bolt flange
H2	106.4 - Ø82.55 SAE "A" 2bolt flange

Boxes 7,17 Shaft Seal	
X	No seal
N	NBR
V	FPM, FKM
M	Double NBR
W	Double FPM

Boxes 8,9,10,11,18,19,20,21 Port Options	
B1	No ports
D2	9/16" - 18 UNF thread
D3	3/4" - 16 UNF thread
D4*	7/8" - 14 UNF thread
D5*	1 1/16" - 12UN thread
K5*	14.2mm, 25.15, 1/4" - 20UNC, square flange

\*Not usable for rear ports

Box 12 Motor Drain Option <sup>2</sup>	
B1	No drain
A	7/16"-20 UNF thread
C	9/16"-18 UNF thread

Box 13 Drain Position <sup>2</sup>	
2	Drain on bottom
3	Drain on top
4	Rear drain

Box 14 Section Connection	
S	Separate inlets
C	Common inlets

### NOTES:

- 1 Only coded for the last section.
- 2 Only for motors
- 3 For further "B" triple unit repeat displacement, shaft seal between sections, side suction port, side pressure port, rear suction port, rear pressure port.
4. Dimensions are in millimeters except where noted.

## PGP/PGM505 Specifications

Code		0020	0030	0040	0050	0060	0070	0080	0090	0100	0110	0120
Displacements	cm <sup>3</sup> /rev	2.0	3.0	4.0	5.0	6.0	7.0	8.0	9.0	10.0	11.0	12.0
	in <sup>3</sup> /rev	0.12	0.18	0.24	0.31	0.37	0.43	0.49	0.55	0.61	0.67	0.73
Continuous Pressure	bar	275	275	275	275	275	275	275	250	250	250	220
	psi	3988	3988	3988	3988	3988	3988	3988	3625	3625	3625	3190
Minimum Speed @ Max. outlet pressure	rpm	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500	500
Maximum Speed @ 0 Inlet & Max. outlet pressure	rpm	4000	4000	4000	4000	3600	3300	3000	2800	2800	2400	2400
Input Power @ Max. Pressure and 1500 rpm	HP	2.15	3.08	4.02	5.10	6.03	7.11	8.05	8.45	9.25	10.19	10.06
	kW	1.6	2.3	3.0	3.8	4.5	5.3	6.0	6.3	6.9	7.6	7.5
Dimension L	mm	38.5	41.1	43.8	46.5	49.1	51.8	54.5	57.2	59.8	62.5	65.2
	in	1.52"	1.62"	1.72"	1.83"	1.93"	2.04"	2.15"	2.25"	2.35"	2.46"	2.57"
Approximate Weight	lbs	4.76	4.89	5.00	5.11	5.25	5.36	5.47	5.60	5.69	5.80	5.91
	kg	2.16	2.22	2.27	2.32	2.38	2.43	2.48	2.54	2.58	2.63	2.68



# ANEXO A4. MOTOR SELECCIONADO: CEM3611T, FABRICANTE BALDOR [25]

## CEM3611T



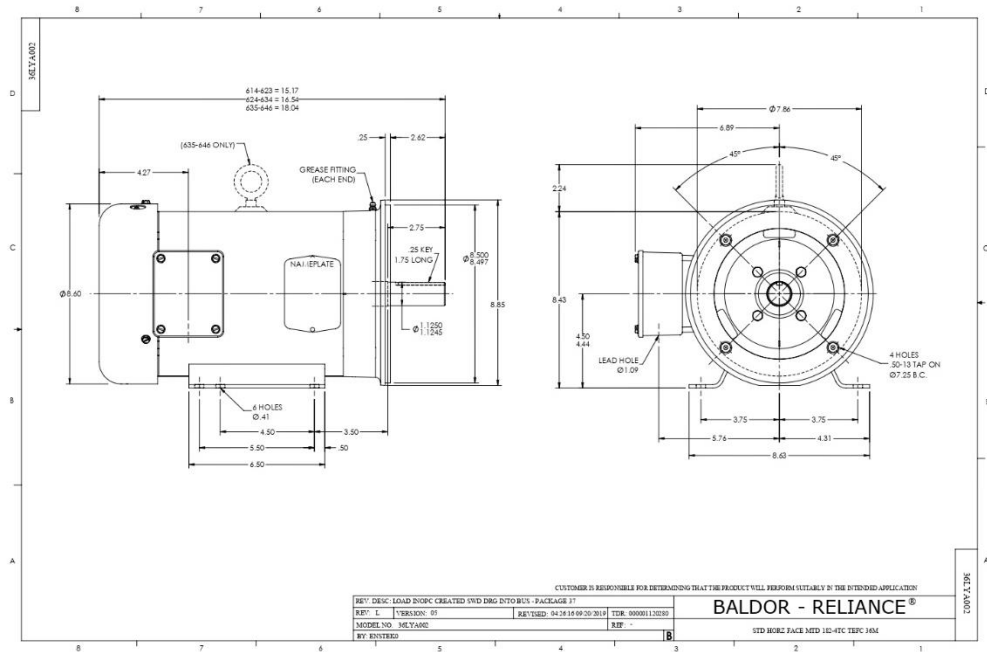
3HP, 1760RPM, 3PH, 60HZ, 182TC, 3632M, TEFC, F1

[Product Information Packet PDF](#)

Ship Weight	75.000 LB
UPC	781568431504

**SPECS**   DRAWINGS   NAMEPLATE   PERFORMANCE   PARTS

Catalog Number	CEM3611T	KVA Code	K
Enclosure	TEFC	Lifting Lugs	No Lifting Lugs
Frame	182TC	Locked Bearing Indicator	Locked Bearing
Frame Material	Steel	Motor Lead Exit	Ko Box
Frequency	60.00 Hz	Motor Lead Termination	Flying Leads
Motor Letter Type	Three Phase	Motor Lead Quantity/Wire Size	9 @ 16 AWG
Output @ Frequency	3.000 HP @ 60 HZ	Motor Type	3632M
Phase	3	Mounting Arrangement	F1
Synchronous Speed @ Frequency	1800 RPM @ 60 HZ	Number of Poles	4
Voltage @ Frequency	230.0 V @ 60 HZ 460.0 V @ 60 HZ	Overall Length	16.55 IN
		Power Factor	75



## ANEXO A5. ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DE MANGUERAS SELECCIONADAS

Medium Pressure  
Standard

Parkrimp No-Skive Hose  
421SN

### 421SN

*No-Skive*

EN 853 1SN – ISO 1436 Type 1



- *No-Skive* thin cover hose construction
- Nitrile (NBR) inner tube  
– extended fluid compatibility

#### Primary Applications

General medium pressure hydraulic applications

#### Type Approvals

Details please find on pages **Ab-16** to **Ab-19**

#### Applicable Specifications

EN 853 1SN – ISO 1436 Type 1 – SAE 100R1AT

#### Construction

Inner tube: Nitrile (NBR)  
Reinforcement: One high-tensile steel wire braid  
Cover: Synthetic rubber

Temperature Range ..... -40 °C up to +100 °C

Exception: Air ..... max. +70 °C  
Water ..... max. +85 °C

#### Recommended Fluids

Hydraulic fluids on a mineral-oil basis, water-glycol and lubricating oils, air and water. For air and gas applications with a pressure exceeding 1.7 MPa, the cover must be pin-pricked.

Consult the chemical compatibility section on pages **Ab-26** to **Ab-34** for more detailed information.

#### Fitting Series



Part Number	Hose I.D.				Hose O.D. mm	Pressure Rating				min. bend radius mm	weight kg
	DN	Inch	Size	mm		max. working pressure MPa	psi	min. burst pressure MPa	psi		
421SN-4	6	1/4	-4	6.4	13.4	22.5	3250	90.0	13000	100	0.24
421SN-5	8	5/16	-5	7.9	15.0	21.5	3125	86.0	12500	115	0.27
421SN-6	10	3/8	-6	9.5	17.4	18.0	2600	72.0	10400	130	0.34
421SN-8	12	1/2	-8	12.7	20.7	16.0	2325	64.0	9300	180	0.43
421SN-10	16	5/8	-10	15.9	23.9	13.0	1875	52.0	7500	200	0.49
421SN-12	19	3/4	-12	19.1	27.8	10.5	1525	42.0	6100	240	0.63
421SN-16	25	1	-16	25.4	35.8	8.8	1275	35.0	5075	300	0.94
421SN-20	31	1 1/4	-20	31.8	44.8	6.3	900	25.2	3600	420	1.19
421SN-24	38	1 1/2	-24	38.1	51.1	5.0	725	20.0	2900	500	1.49
421SN-32	51	2	-32	50.8	64.7	4.0	575	16.0	2300	630	2.23

The combination of high temperature and high pressure could reduce the hose life.

Hose layline example

PARKER NO-SKIVE 421SN-8 WP 16,0 MPa [160 BAR] L \* \* SAE 100R1AT-8 12,5 MM [1/2] X1W EN 853/1SN/12/DIN



Cab-9

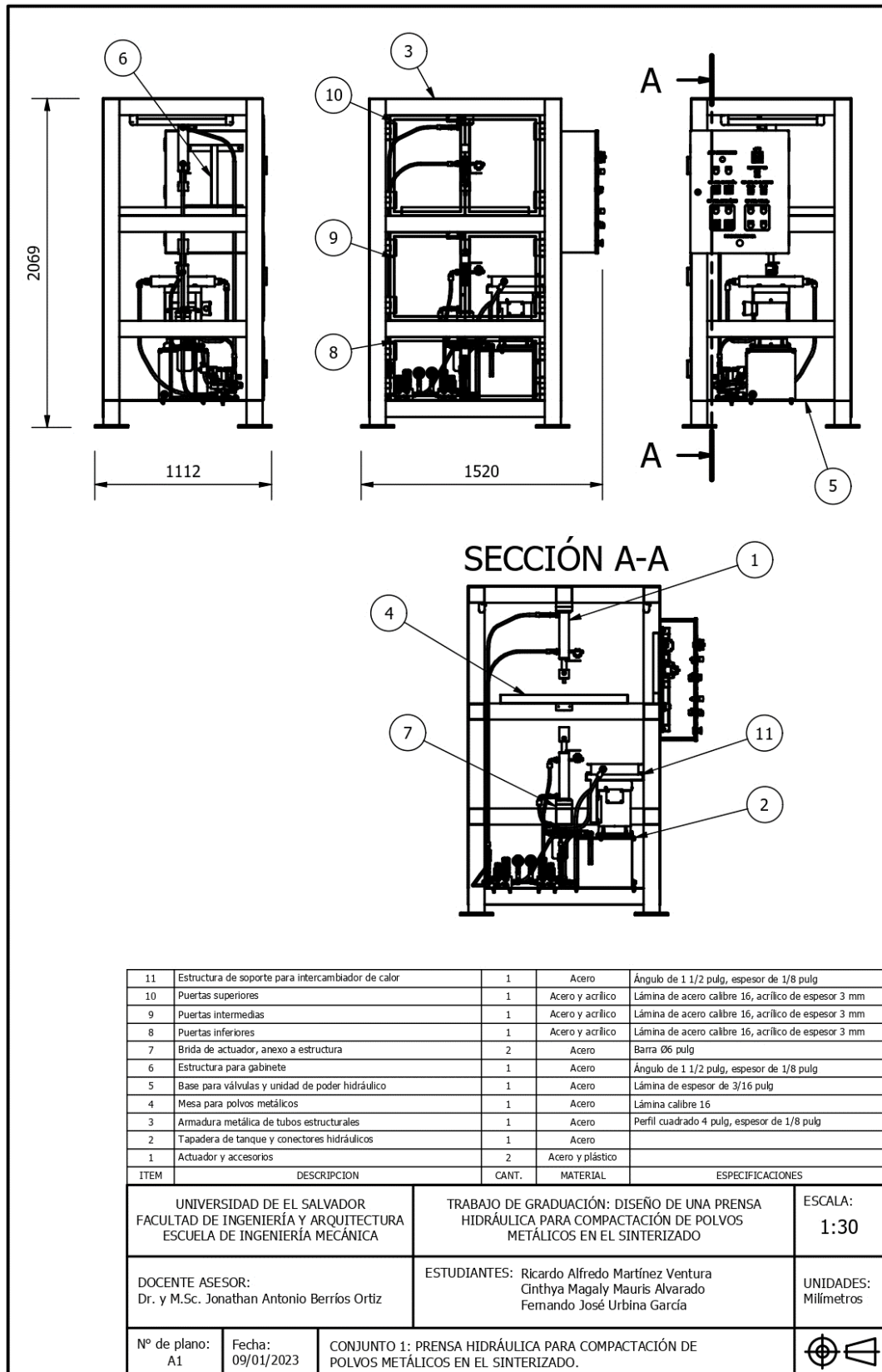
Catalogue 4400/UK

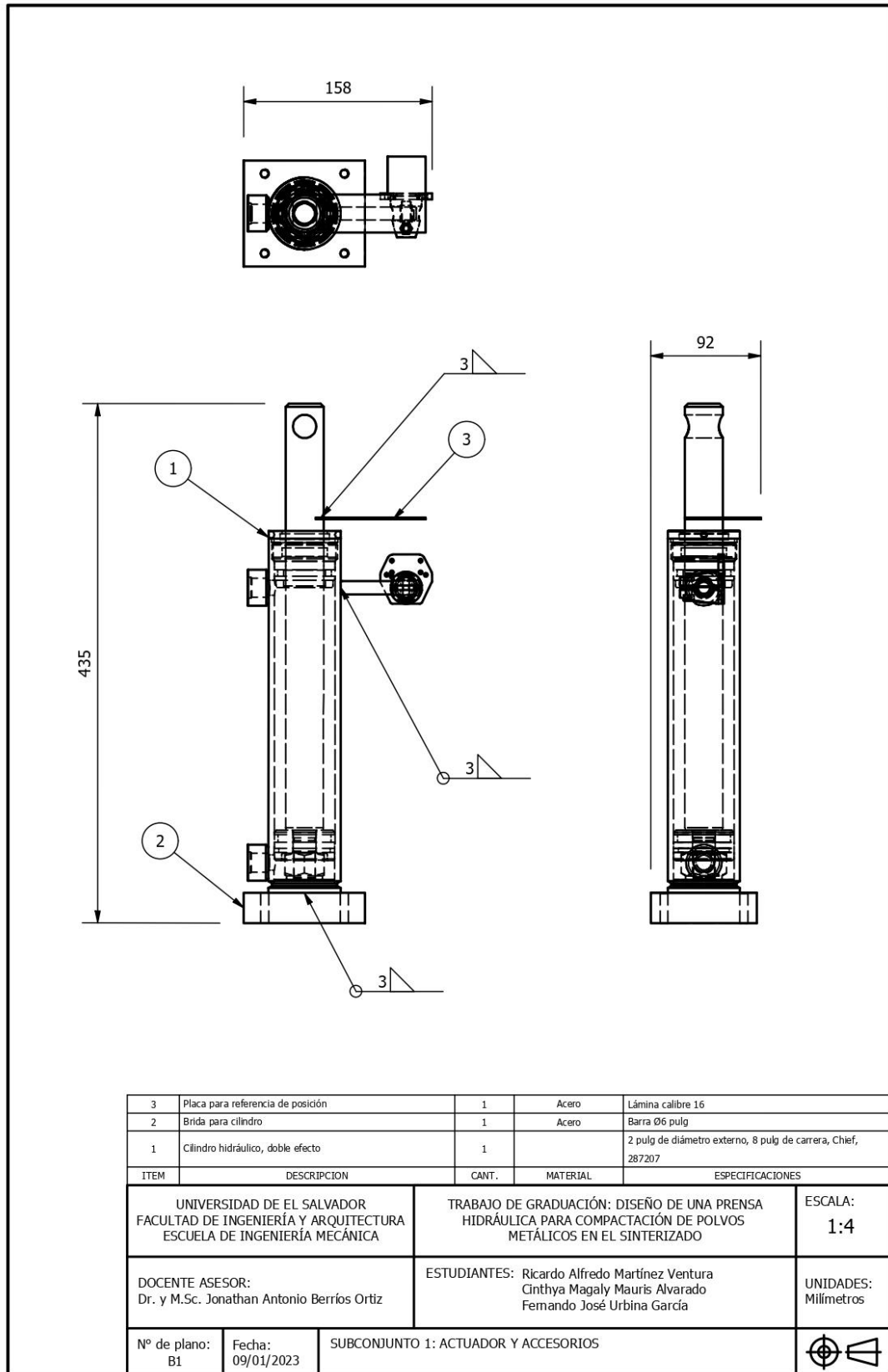
Hose

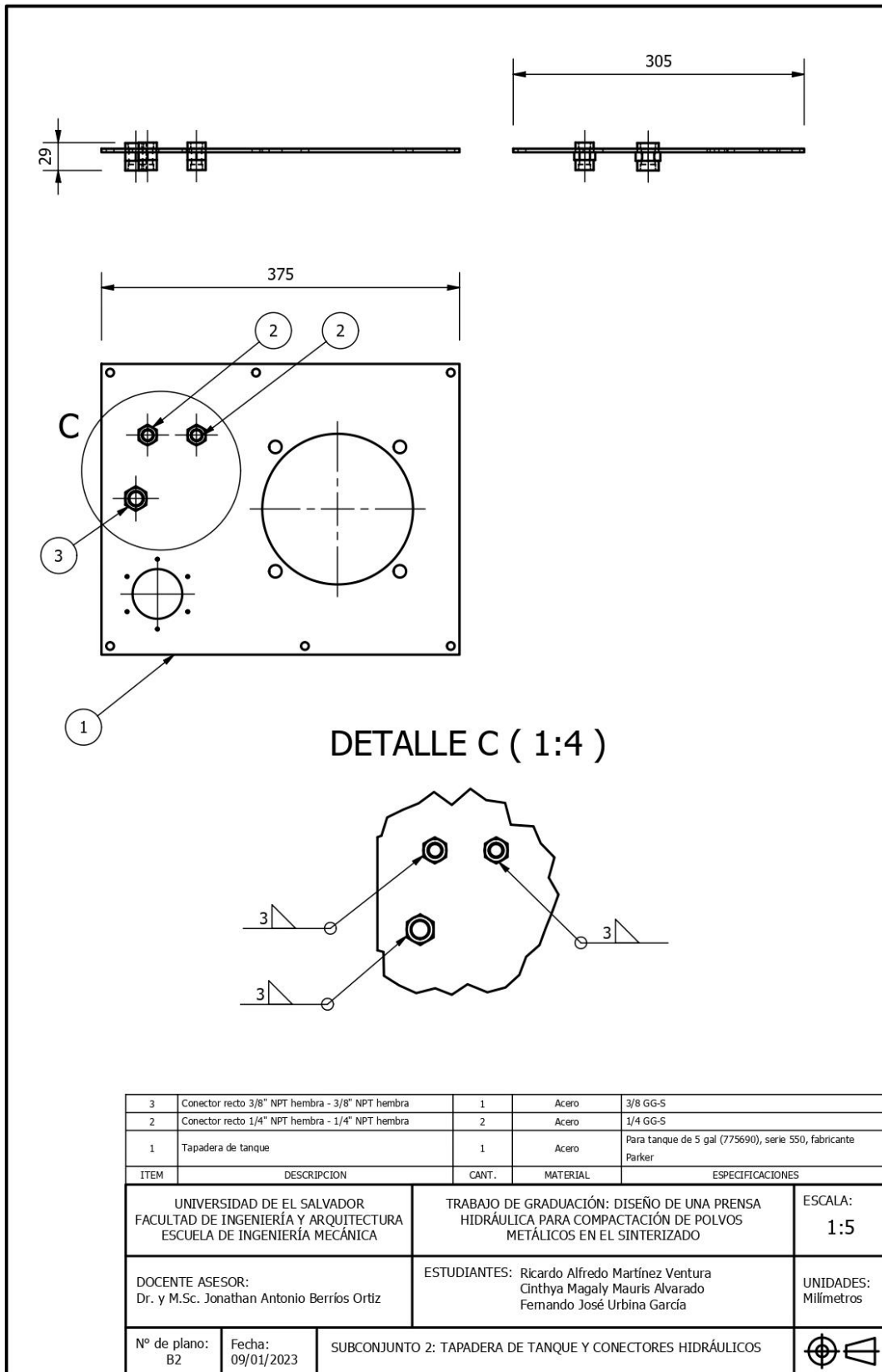
**ANEXO A6. CRITERIOS PARA DETERMINAR FACTOR DE SEGURIDAD A MATERIALES DÚCTILES, SEGÚN NORTON (1996)**

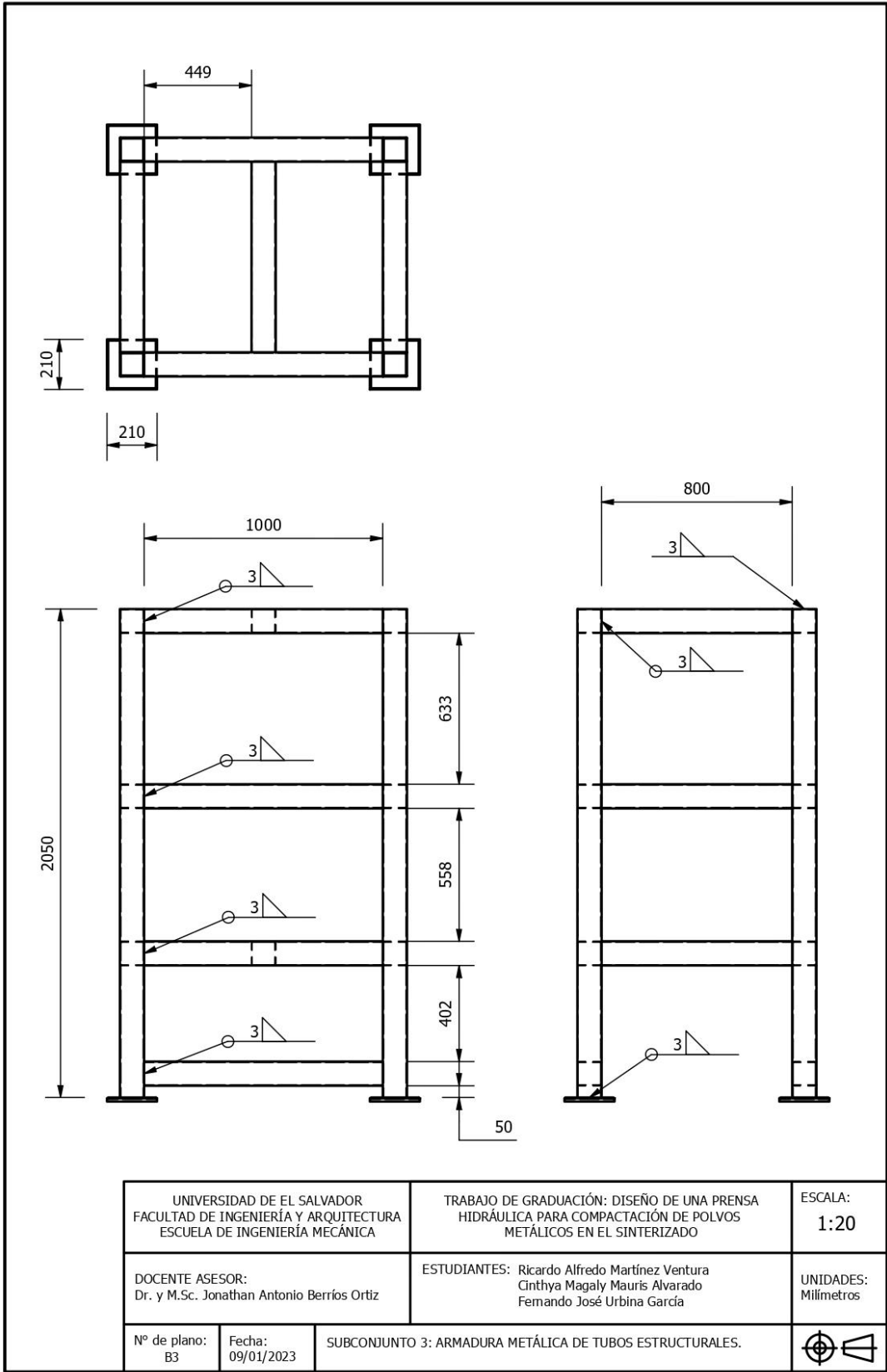
Factor	Información	Calidad de la información	Factor
F1	Información de las propiedades del material disponible a través de ensayos	El material usado fue llevado a ensayos.	1.3
		Existe disponibilidad de información representativa de ensayos del material.	2
		Existe disponibilidad parcial de información representativa de ensayos del material.	3
		Existe una pobre información representativa de ensayos del material pobremente.	5+
F2	Condiciones ambientales en que será utilizado	Son idénticas a las condiciones de ensayo del material.	1.3
		Existen condiciones ambientales generales.	2
		Condiciones moderadamente severas.	3
		Condiciones ambientales extremadamente severas.	5+
F3	Modelos analíticos para cargas y esfuerzos	Modelos del sistema han sido ensayados en experimentos.	1.3
		Existen modelos que representan precisamente al sistema.	2
		Existen modelos que representan aproximadamente al sistema	3
		Los modelos son aproximaciones muy lejanas.	5+

**ANEXO B: PLANOS DE FABRICACIÓN**

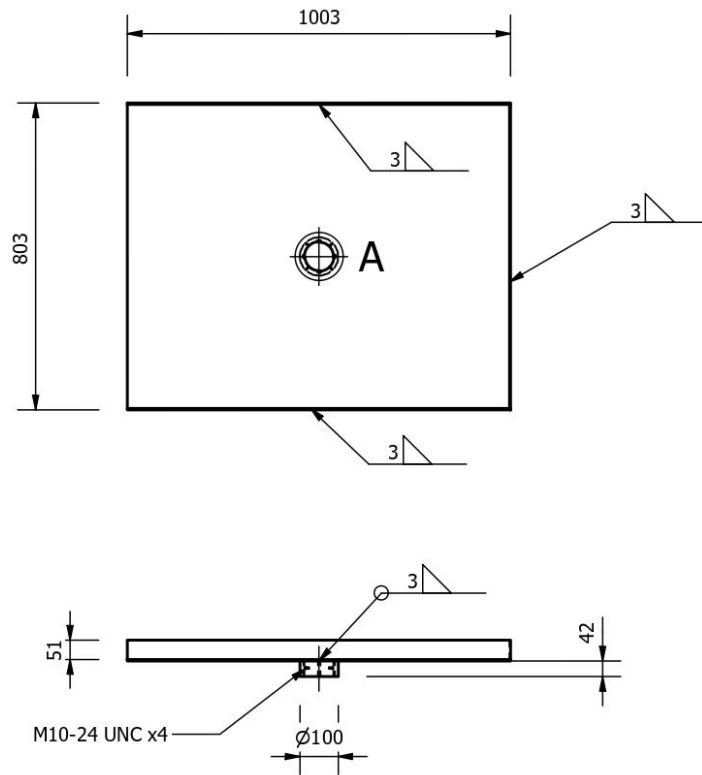




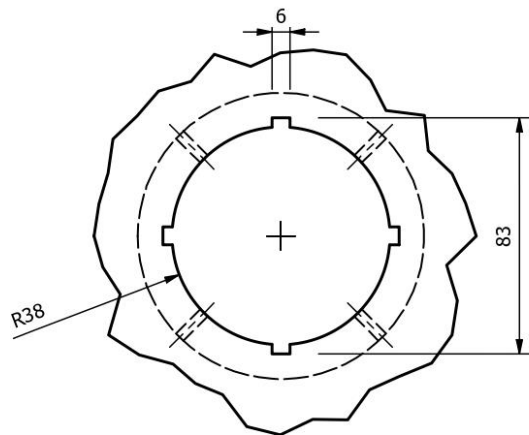




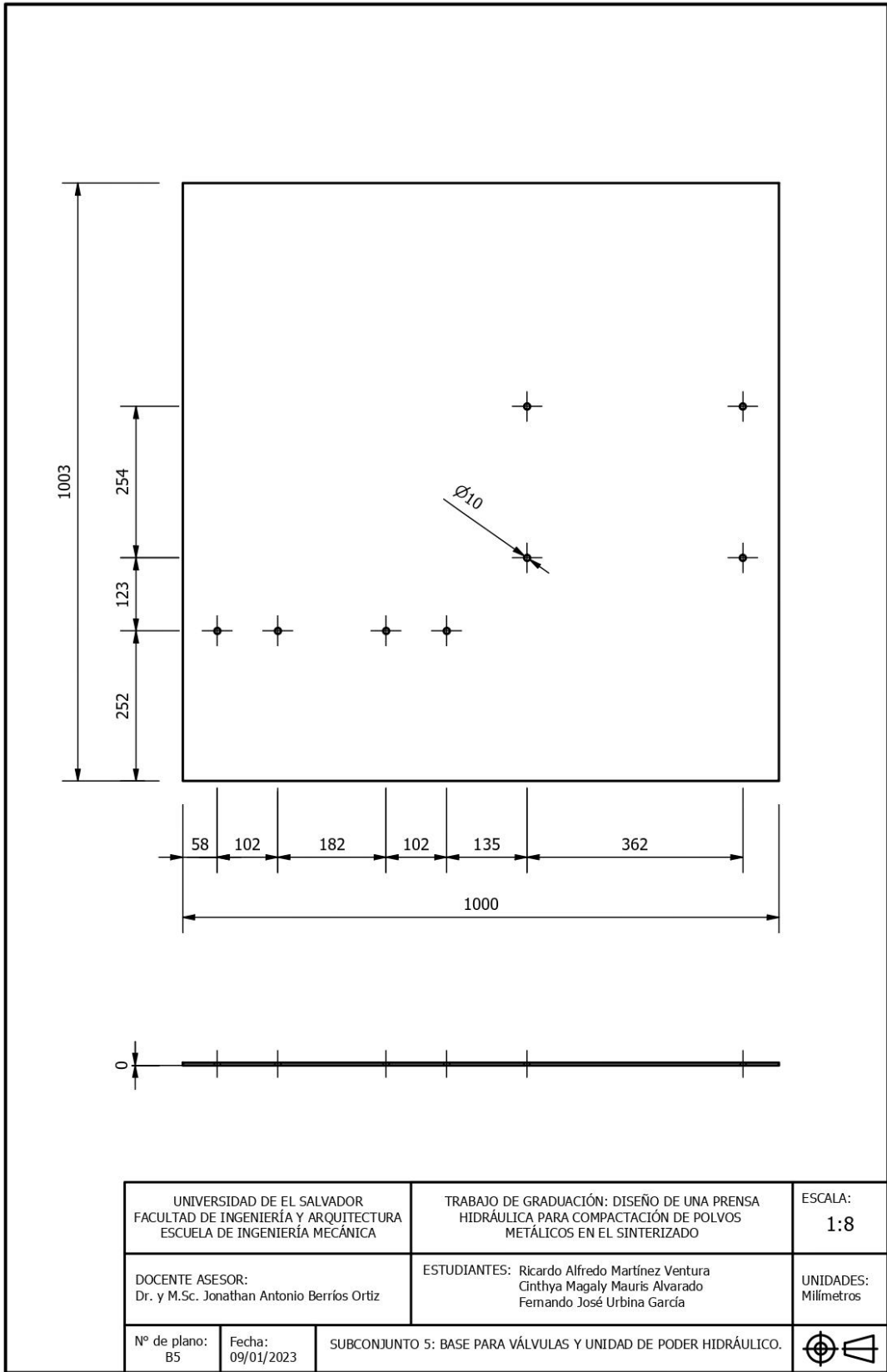




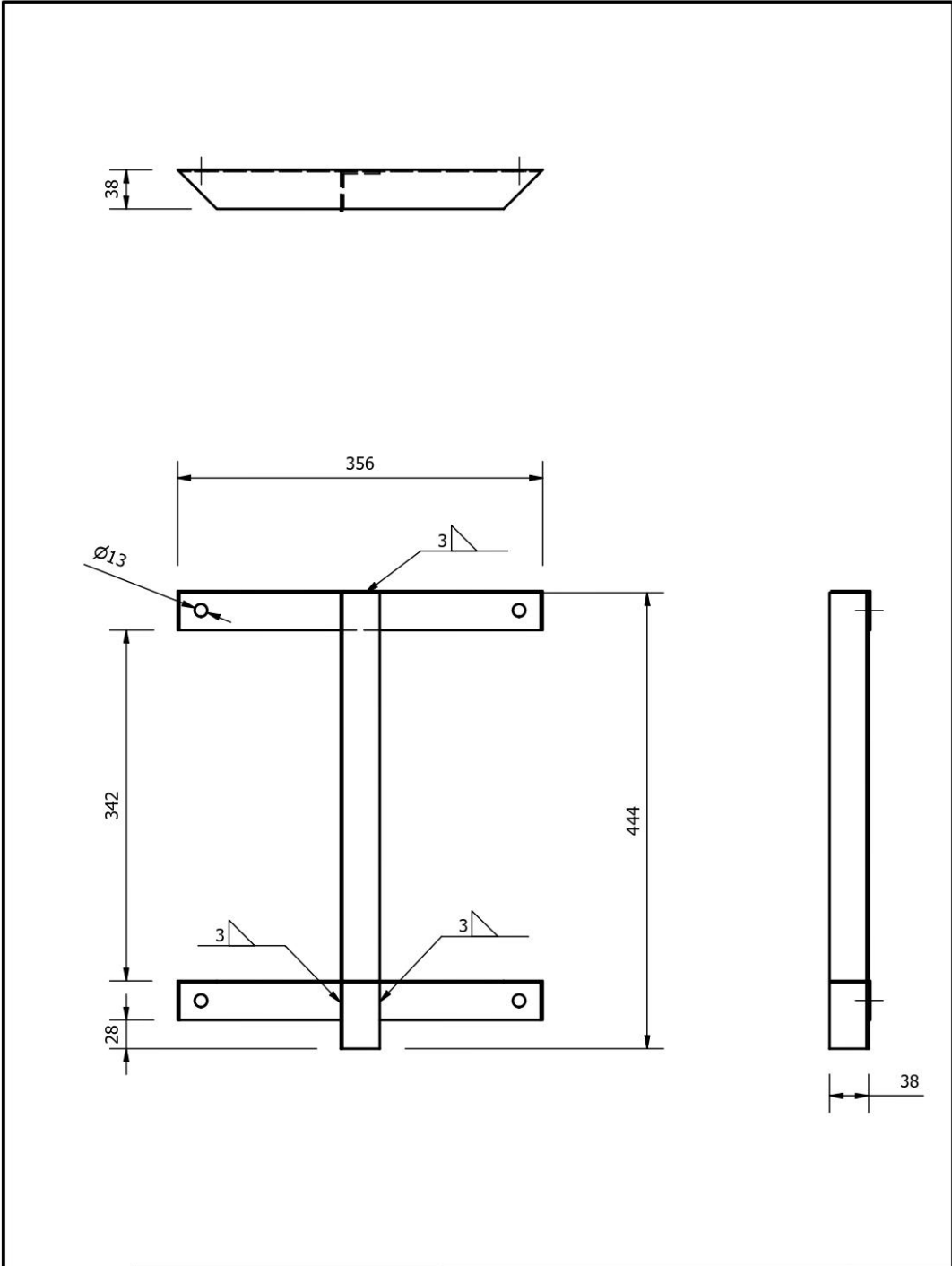
DETALLE A ( 1:2 )



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS EN EL SINTERIZADO	ESCALA: 1:15
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Ricardo Alfredo Martínez Ventura Cinthya Magaly Mauris Alvarado Fernando José Urbina García	UNIDADES: Milímetros
Nº de plano: B4	Fecha: 09/01/2023	SUBCONJUNTO 4: MESA PARA POLVOS METÁLICOS.	

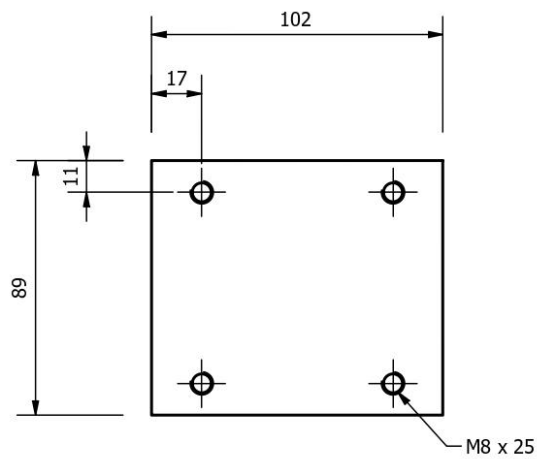


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS EN EL SINTERIZADO	ESCALA: 1:8
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Ricardo Alfredo Martínez Ventura Cintha Magaly Mauris Alvarado Fernando José Urbina García	UNIDADES: Milímetros
Nº de plano: B5	Fecha: 09/01/2023	SUBCONJUNTO 5: BASE PARA VÁLVULAS Y UNIDAD DE PODER HIDRÁULICO.	



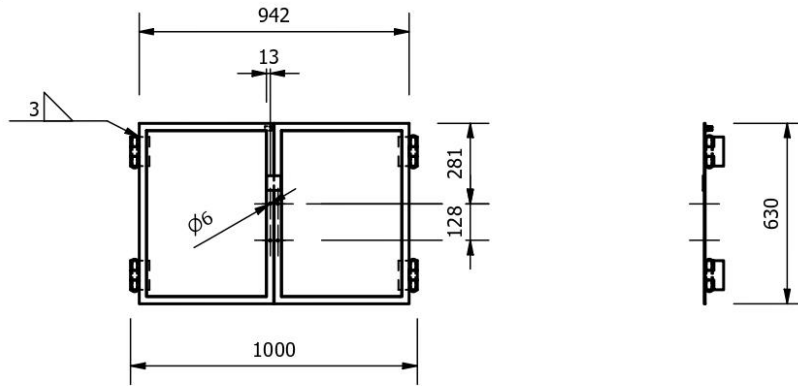
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS EN EL SINTERIZADO	ESCALA: 1:5
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Ricardo Alfredo Martínez Ventura Cinthya Magaly Mauris Alvarado Fernando José Urbina García	UNIDADES: Milímetros
Nº de plano: B6	Fecha: 09/01/2023	SUBCONJUNTO 6: ESTRUCTURA PARA GABINETE.	



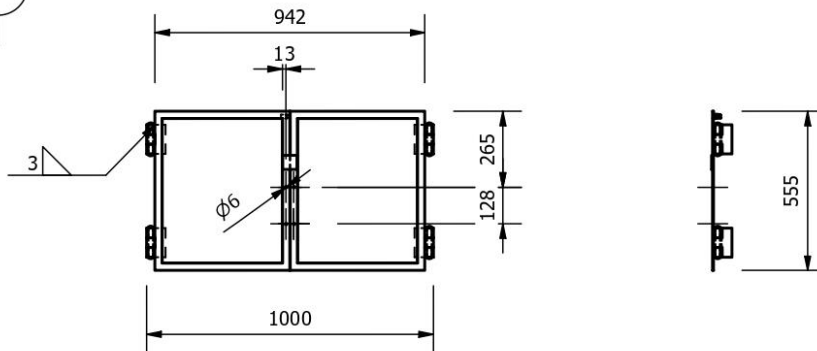


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS EN EL SINTERIZADO	ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Ricardo Alfredo Martínez Ventura Cinthya Magaly Mauris Alvarado Fernando José Urbina García	UNIDADES: Milímetros
Nº de plano: B7	Fecha: 09/01/2023	SUBCONJUNTO 7: BRIDA DE ACTUADOR, ANEXO A ESTRUCTURA.	

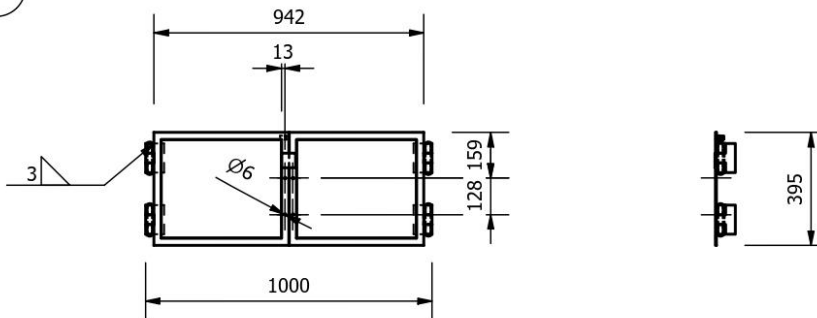
SUBCONJUNTO 8: PUERTAS SUPERIORES.



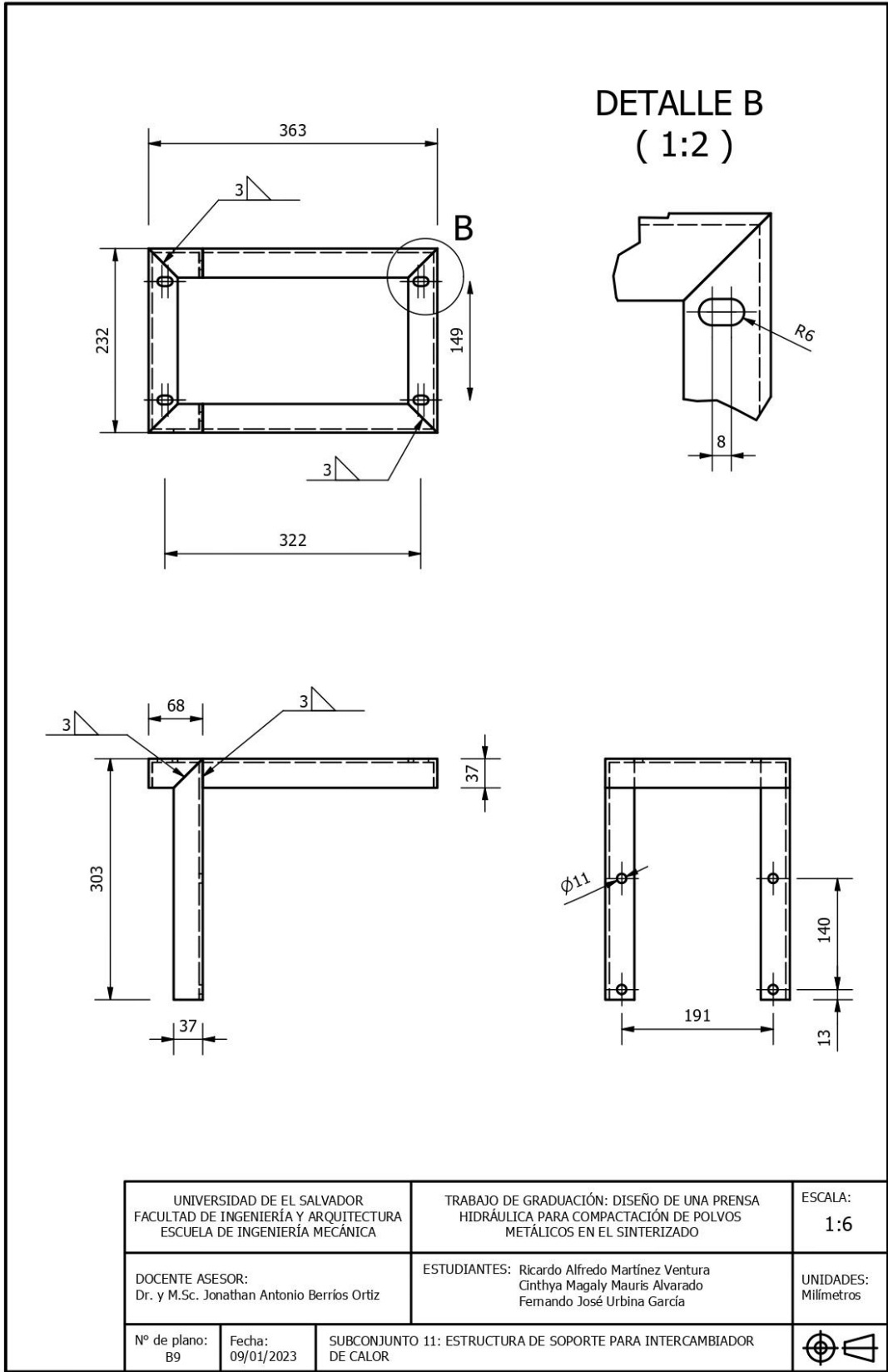
SUBCONJUNTO 9: PUERTAS INTERMEDIAS

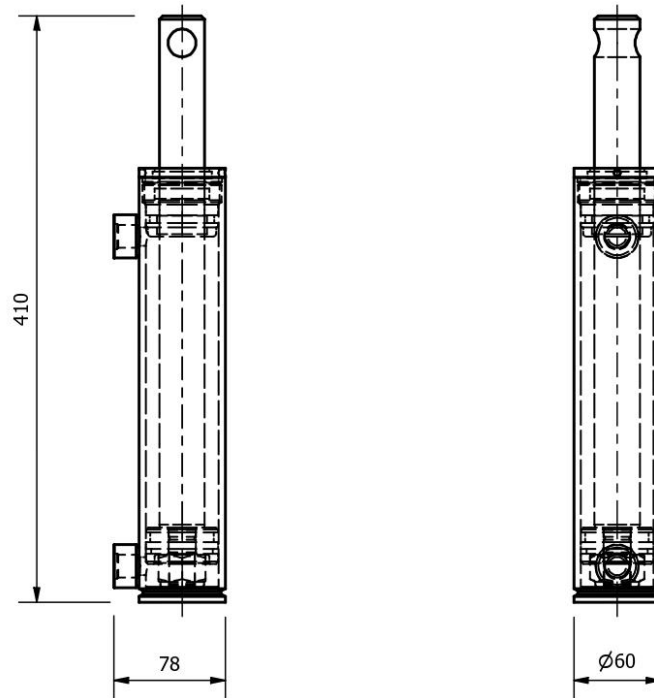


SUBCONJUNTO 10: PUERTAS INFERIORES



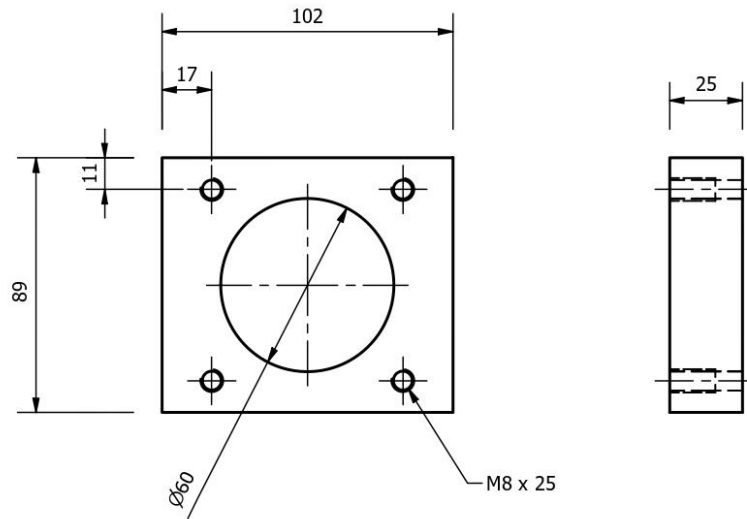
UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS EN EL SINTERIZADO	ESCALA: 1:20
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Ricardo Alfredo Martínez Ventura Cintha Magaly Mauris Alvarado Fernando José Urbina García	UNIDADES: Milímetros
Nº de plano: B8	Fecha: 09/01/2023	SUBCONJUNTO 8: PUERTAS SUPERIORES. SUBCONJUNTO 9: PUERTAS INTERMEDIAS. SUBCONJUNTO 10: PUERTAS INFERIORES.	



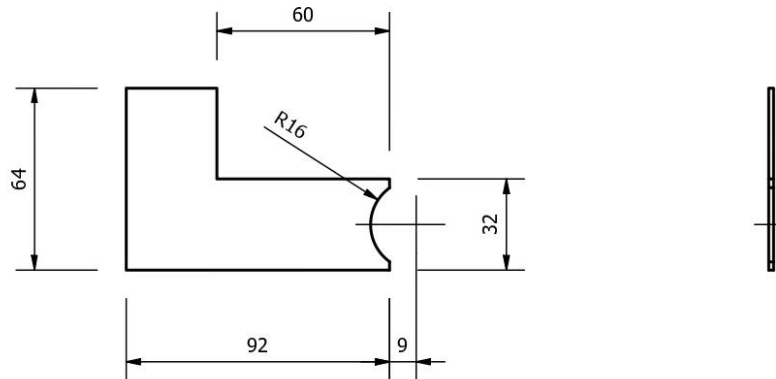


UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS EN EL SINTERIZADO	ESCALA: 1:4
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berríos Ortiz		ESTUDIANTES: Ricardo Alfredo Martínez Ventura Cintha Magaly Mauris Alvarado Fernando José Urbina García	UNIDADES: Milímetros
Nº de plano: C1	Fecha: 09/01/2023	DETALLE 1.1: CILINDRO HIDRÁULICO, DOBLE EFECTO (287207)	

DETALLE 1.2: BRIDA DE ACTUADOR, ANEXO A CILINDRO

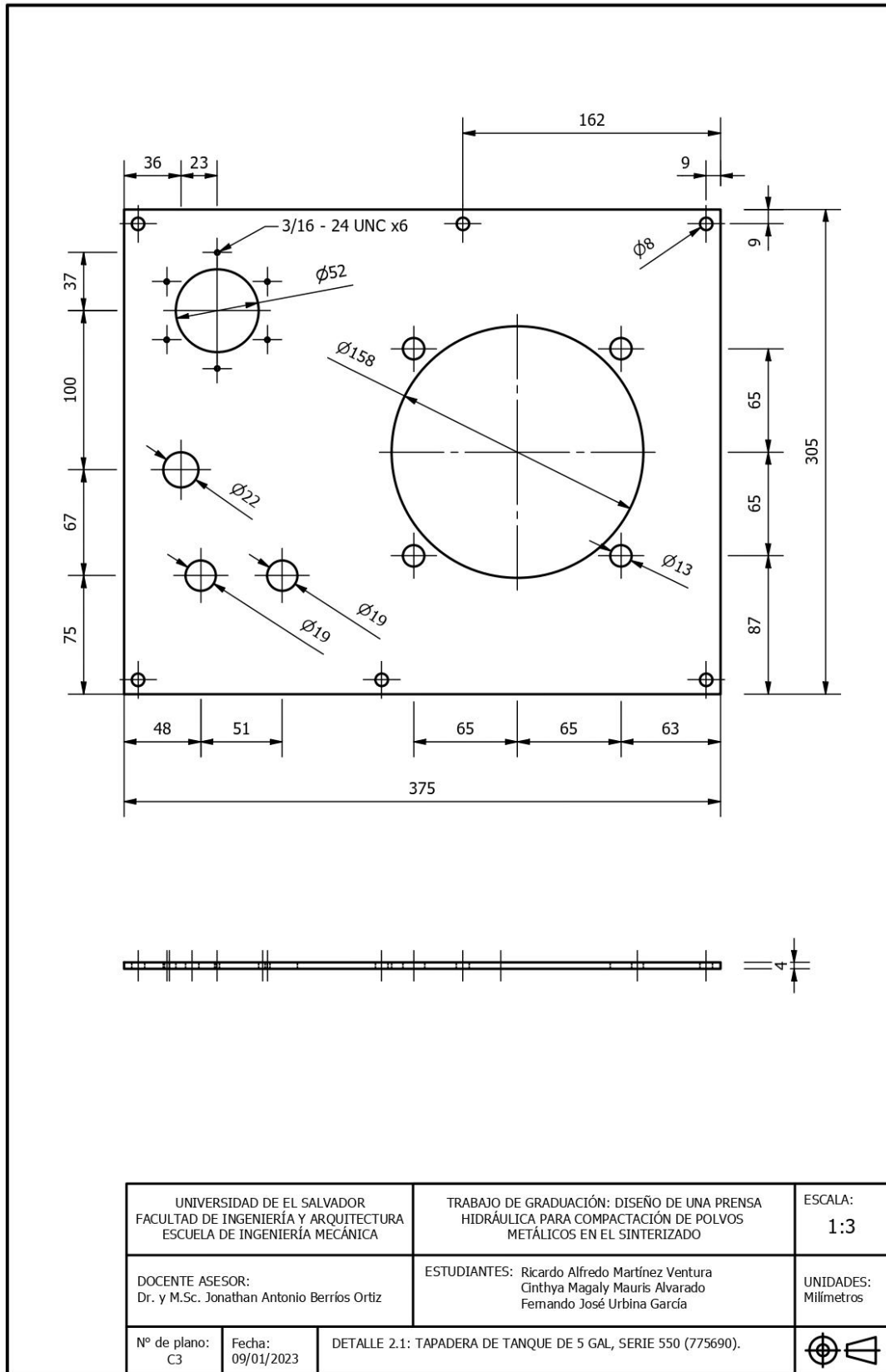


DETALLE 1.3: PLACA PARA REFERENCIA DE POSICIÓN



UNIVERSIDAD DE EL SALVADOR FACULTAD DE INGENIERÍA Y ARQUITECTURA ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA		TRABAJO DE GRADUACIÓN: DISEÑO DE UNA PRENSA HIDRÁULICA PARA COMPACTACIÓN DE POLVOS METÁLICOS EN EL SINTERIZADO	ESCALA: 1:2
DOCENTE ASESOR: Dr. y M.Sc. Jonathan Antonio Berrios Ortiz		ESTUDIANTES: Ricardo Alfredo Martínez Ventura Cintha Magaly Mauris Alvarado Fernando José Urbina García	UNIDADES: Milímetros
Nº de plano: C2	Fecha: 09/01/2023	DETALLE 1.2: BRIDA DE ACTUADOR, ANEXO A CILINDRO DETALLE 1.3: PLACA PARA REFERENCIA DE POSICIÓN	





# ANEXO C: COTIZACIONES

## ANEXO C1. AUTOCONTROL



08/12/2022

COTIZACIÓN

Cliente:	Ricardo Martínez	Forma de pago	<b>20221208 0</b>
Atención a:	-	35% ANTICIPO, 35% CONTRA ENTREGA	
Dirección:	Reparto Santa Fe, 37 Av. Norte, casa #4. S.S.	30% CRÉDITO A 30 DÍAS	
NIT:	-		NRC:219705-7
NRC:	-		NIT:0612-230812-101-1
GIRO:	-		Pequeño contribuyente

GRUPO AUTOCONTROL  
10 AÑOS  
2012-2022

Pág. 1 de 5

Cantidad	Código	Descripción General	Tiempo de entrega			P.Unit.	Totales
			Inmediata	Semanas	A confirmar		
1	PGP505-personalizada	Bomba de engranajes doble, personalizada		12		\$ 919.00	\$ 919.00
1	CEM3611T	Motor, 3 HP, 60 Hz, 3ph, 182TC, 1800 rpm, 230/460 V.		12		\$ 1,350.00	\$ 1,350.00
1	M10001604	Acople bomba		12		\$ 55.25	\$ 55.25
1	M10010408	Acople motor		12		\$ 55.25	\$ 55.25
1	M170H5	Inserto		12		\$ 25.50	\$ 25.50
1	M182472AA	Montaje Motor/Bomba (Campana)		12		\$ 170.00	\$ 170.00
2	Z87207	Cilindro hidráulico, doble efecto, 2 in DO, 8 in Stroke (Chief)		12		\$ 477.56	\$ 955.12
2	SCP01-0250P-35-07	Sensor de presión		12		\$ 301.25	\$ 602.50
2	BM-ASPO3S2-02-1_Z	Manifold, 2 estaciones, CETOP 3, Paralelo		12		\$ 204.00	\$ 408.00
2	D1VW009CNYW	Series D1VW - Válvula direccional 4/3, Centro Tandem		12		\$ 361.92	\$ 723.84
4	PS2028BP	Conector eléctrico DIN 30 mm		12		\$ 15.67	\$ 62.68
2	RE06M21T2N1FO	Series RE06M*T - Válvula de alivio proporcional		12		\$ 3,223.00	\$ 6,446.00
2	Z21565	Manómetro 0-3000 psi		12		\$ 41.05	\$ 82.10
2	F400S	Válvula reguladora de flujo Hidráulico		12		\$ 57.66	\$ 115.32
2	DSH102N	Válvula direccional 2/2, monoestable.		12		\$ 98.47	\$ 196.94
2	B10-2-6T	Cuerpo estándar para válvula direccional 2/2.		12		\$ 74.10	\$ 148.20

 Neumática Industrial	 Gestión de Aire Comprimido	 Hidráulica Industrial	 Hidráulica Móvil	 Filtración de Fluidos	 Herramientas Hidráulicas H2000	 Diferenciales y Servicios	 Tecnología Industrial	 Capacitación y Bases de Entrenamiento	 Proyectos y Servicios	 Inyección de Componentes	Sumas	\$ 14,202.06
Especialistas en automatización industrial											IVA	\$ 1,846.27
SUB-TOTAL											\$ 16,048.33	

					VENTA TOTAL	\$ 16,048.33
--	--	--	--	--	-------------	--------------

Automatización Industrial y Proyectos - Componentes y Sistemas Neumáticos, Hidráulicos, Eléctricos, Electrónicos y Mecatrónicos. Modificación y actualización de máquinas industriales. Capacitación y Equipos Didácticos de Entrenamiento Industrial para Colegios, Escuelas, Universidades y Centros de Formación Profesional.  
[soluciones@grupoautocontrol.com](mailto:soluciones@grupoautocontrol.com) PBX. 2207-3377 Calle Gabriela Mistral #201. S.S.  
[www.grupoautocontrol.com](http://www.grupoautocontrol.com)

# ANEXO C2. AUTOCONTROL



08/12/2022

COTIZACIÓN

Cliente:	Ricardo Martínez	Forma de pago
Atención a:	-	35% ANTICIPO, 35% CONTRA ENTREGA
Dirección:	Reparto Santa Fe, 37 Av. Norte, casa #4. S.S.	30% CRÉDITO A 30 DÍAS
NIT:	-	
NRC:	-	
GIRO:	-	

<b>20221208 0</b>
NRC:219705-7
NIT:0612-230812-101-1
Pequeño contribuyente

GRUPO AUTOCONTROL  
10 AÑOS  
2012-2022

Pág. 2 de 5

Cantidad	Código	Descripción General	Tiempo de entrega			P.Unit.	Totales
			Inmediata	Semanas	A confirmar		
2	N400	Válvula reductora de caudal		12		\$ 109.02	\$ 218.04
1	12AT110CBPGN12H	Filtro de Retorno		12		\$ 61.83	\$ 61.83
1	937480	Filtro de succión		12		\$ 31.26	\$ 31.26
1	775690	Tanque de 5 galones		12		\$ 848.74	\$ 848.74
2	1/2 x 1/4 PTR-S	Reductor 1/2" NPT macho - 1/4" NPT hembra		12		\$ 4.75	\$ 9.50
2	1/2 X 3/8 PTR-S	Reductor 1/2" NPT macho - 3/8" NPT hembra		12		\$ 4.17	\$ 8.34
3	1/4 CD-S	Conector codo 1/4" NPT macho-hembra		12		\$ 5.99	\$ 17.97
2	1/4 CR-S	Conector codo 1/4" NPT macho-macho		12		\$ 7.22	\$ 14.44
2	1/4 DD-S	Conector codo 1/4" NPT hembra-hembra		12		\$ 5.70	\$ 11.40
2	1/4 FF-S	Niple 1/4" NPT		12		\$ 1.68	\$ 3.36
2	1/4 GG-S	Conector recto 1/4" NPT hembra - 1/4" NPT hembra		12		\$ 3.24	\$ 6.48
2	1/4 MMO-S	T 1/4" NPT hembra		12		\$ 9.11	\$ 18.22
4	1/4 RRS-S	T 1/4" NPT macho		12		\$ 6.08	\$ 24.32
2	1/2 HP-S	Tapón 1/2" NPT macho		12		\$ 1.10	\$ 2.20
2	3/4 x 3/8 PTR-S	Reductor 3/4" NPT macho - 3/8" NPT hembra		12		\$ 3.33	\$ 6.66
1	3/8 CD-S	Conector codo 3/8" NPT macho-hembra		12		\$ 8.84	\$ 8.84

	<p><i>Especialistas en automatización industrial</i></p>	<table border="1"> <tr> <td>Sumas</td> <td>\$ 14,202.06</td> </tr> <tr> <td>IVA</td> <td>\$ 1,846.27</td> </tr> <tr> <td><b>SUB-TOTAL</b></td> <td><b>\$ 16,048.33</b></td> </tr> </table>	Sumas	\$ 14,202.06	IVA	\$ 1,846.27	<b>SUB-TOTAL</b>	<b>\$ 16,048.33</b>
Sumas	\$ 14,202.06							
IVA	\$ 1,846.27							
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>\$ 16,048.33</b>							
	<table border="1"> <tr> <td><b>VENTA TOTAL</b></td> <td><b>\$ 16,048.33</b></td> </tr> </table>	<b>VENTA TOTAL</b>	<b>\$ 16,048.33</b>					
<b>VENTA TOTAL</b>	<b>\$ 16,048.33</b>							

Automatización Industrial y Proyectos - Componentes y Sistemas Neumáticos, Hidráulicos, Eléctricos, Electrónicos y Mecatrónicos. Modificación y actualización de máquinas industriales. Capacitación y Equipos Didácticos de Entrenamiento Industrial para Colegios, Escuelas, Universidades y Centros de Formación Profesional.  
[soluciones@grupoautocontrol.com](mailto:soluciones@grupoautocontrol.com) PBX. 2207-3377 Calle Gabriela Mistral #201. S.S  
[www.grupoautocontrol.com](http://www.grupoautocontrol.com)

# ANEXO C3. AUTOCONTROL



08/12/2022

COTIZACIÓN

Cliente:	Ricardo Martínez
Atención a:	-
Dirección:	Reparto Santa Fe, 37 Av. Norte, casa #4. S.S.
NIT:	-
NRC:	-
GIRO:	-

Forma de pago
35% ANTICIPO, 35% CONTRA ENTREGA,
30% CRÉDITO A 30 DÍAS

<b>20221208 0</b>
NRC:219705-7
NIT:0612-230812-101-1
Pequeño contribuyente

GRUPO AUTOCONTROL  
10 AÑOS  
2012-2022

Pág. 3 de 5

Cantidad	Código	Descripción General	Tiempo de entrega			P.Unit.	Totales
			Inmediata	Semanas	A confirmar		
1	3/8 GG-S	Conector recto 3/8" NPT hembra - 3/8" NPT hembra		12		\$ 4.68	\$ 4.68
1	3/8 MRO-S	T 3/8" NPT hembra-hembra-macho		12		\$ 14.97	\$ 14.97
2	3/8 x 1/4 PTR-S	Reductor 3/8" NPT macho - 1/4" NPT hembra		12		\$ 3.08	\$ 6.16
4	3/8 HP-S	Tapón 3/8" NPT macho		12		\$ 0.55	\$ 2.20
1	6-1/2 F5OG-S	Adaptador SAE 6 macho - 1/2" NPT hembra		12		\$ 12.59	\$ 12.59
2	6-1/4 F5OG-S	Adaptador SAE 6 macho - 1/4" NPT hembra		12		\$ 2.41	\$ 4.82
2	8-1/4 F5OF-S	Conector recto SAE 8 macho x 1/4" NPT macho		12		\$ 21.64	\$ 43.28
2	4-4 CTX-S	Conector codo 1/4" NPT macho x 1/4" JIC macho		12		\$ 3.41	\$ 6.82
2	4-4 FTX-S	Conector recto 1/4" NPT macho x 1/4" JIC macho		12		\$ 2.61	\$ 5.22
2	4-4 GTX-S	Conector recto 1/4" NPT hembra x 1/4" JIC macho		12		\$ 2.63	\$ 5.26
2	4-6 FTX-S	Conector recto 3/8" NPT macho x 1/4" JIC macho		12		\$ 3.29	\$ 6.58
2	4-8 FTX-S	Conector recto 1/2" NPT macho x 1/4" JIC macho		12		\$ 6.81	\$ 13.62
2	4-8 F5OX-S	Conector recto SAE 8 macho x 1/4" JIC macho		12		\$ 2.32	\$ 4.64
2	6-12 F5OX-S	Conector recto SAE 12 macho x 3/8" JIC macho		12		\$ 7.28	\$ 14.56
1	6-6 CTX-S	Conector codo 3/8" NPT macho x 3/8" JIC macho		12		\$ 6.33	\$ 6.33
1	6-6 FTX-S	Conector recto 3/8" NPT macho x 3/8" JIC macho		12		\$ 3.87	\$ 3.87

*Especialistas en automatización industrial*

Sumas	\$ 14,202.06
IVA	\$ 1,846.27
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>\$ 16,048.33</b>

<b>VENTA TOTAL</b>	<b>\$ 16,048.33</b>
--------------------	---------------------

Automatización Industrial y Proyectos - Componentes y Sistemas Neumáticos, Hidráulicos, Eléctricos, Electrónicos y Mecatrónicos. Modificación y actualización de máquinas industriales. Capacitación y Equipos Didácticos de Entrenamiento Industrial para Colegios, Escuelas, Universidades y Centros de Formación Profesional.

[soluciones@grupoautocontrol.com](mailto:soluciones@grupoautocontrol.com)
PBX. 2207-3377
Calle Gabriela Mistral #201. S.S

[www.grupoautocontrol.com](http://www.grupoautocontrol.com)

# ANEXO C4. AUTOCONTROL



08/12/2022

COTIZACIÓN

Cliente:	Ricardo Martínez	Forma de pago
Atención a:	-	35% ANTICIPO, 35% CONTRA ENTREGA
Dirección:	Reparto Santa Fe, 37 Av. Norte, casa #4. S.S.	30% CRÉDITO A 30 DÍAS
NIT:	-	
NRC:	-	
GIRO:	-	

<b>20221208 0</b>
NRC:219705-7
NIT:0612-230812-101-1
Pequeño contribuyente

GRUPO AUTOCONTROL  
10 AÑOS  
2012-2022

Pág. 4 de 5

Cantidad	Código	Descripción General	Tiempo de entrega			P.Unit.	Totales
			Inmediata	Semanas	A confirmar		
4	4-4 GBU-S	Conector recto 1/4" Tubing, 1/4" NPT hembra		12		\$ 13.79	\$ 55.16
2	4-4 CBU-S	Conector codo 1/4" Tubing, 1/4" NPT macho		12		\$ 8.57	\$ 17.14
2	4-4 FBU-S	Conector recto 1/4" Tubing x 1/4" NPT macho		12		\$ 5.14	\$ 10.28
4	4-6 F5BU-S	Conector recto 1/4" Tubing, SAE 6 macho		12		\$ 19.79	\$ 79.16
1	6-6 CBU-S	Conector codo 3/8" Tubing, 3/8" NPT macho		12		\$ 12.12	\$ 12.12
1	6-6 FBU-S	Conector recto 3/8" Tubing, 3/8" NPT macho		12		\$ 5.33	\$ 5.33
1	-	Manguera de 1/4", 3250 psi, con terminales recto y codo 90° hembra de 1/4" JIC, con una longitud de 840 mm	X			\$ 18.11	\$ 18.11
1	-	Manguera de 1/4", 3250 psi, con terminales recto y codo 90° hembra de 1/4" JIC, con una longitud de 300 mm	X			\$ 14.70	\$ 14.70
1	-	Manguera de 1/4", 3250 psi, con terminales recto hembra de 1/4" JIC, con una longitud de 1800 mm	X			\$ 19.45	\$ 19.45
1	-	Manguera de 1/4", 3250 psi, con terminales recto y codo 90° hembra de 1/4" JIC, con una longitud de 1660 mm	X			\$ 23.22	\$ 23.22
1	-	Manguera de 1/4", 3250 psi, con terminales codo 90° hembra de 1/4" JIC, con una longitud de 1220 mm	X			\$ 23.58	\$ 23.58



Especialistas en automatización industrial

Sumas	\$ 14,202.06
IVA	\$ 1,846.27
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>\$ 16,048.33</b>



<b>VENTA TOTAL</b>	<b>\$ 16,048.33</b>
--------------------	---------------------

Automatización Industrial y Proyectos - Componentes y Sistemas Neumáticos, Hidráulicos, Eléctricos, Electrónicos y Mecatrónicos. Modificación y actualización de máquinas industriales. Capacitación y Equipos Didácticos de Entrenamiento Industrial para Colegios, Escuelas, Universidades y Centros de Formación Profesional.  
[soluciones@grupoautocontrol.com](mailto:soluciones@grupoautocontrol.com) PBX. 2207-3377 Calle Gabriela Mistral #201. S.S  
[www.grupoautocontrol.com](http://www.grupoautocontrol.com)

# ANEXO C5. AUTOCONTROL



08/12/2022

COTIZACIÓN

Cliente:	Ricardo Martínez
Atención a:	-
Dirección:	Reparto Santa Fe, 37 Av. Norte, casa #4, S.S.
NIT:	-
NRC:	-
GIRO:	-

Forma de pago
35% ANTICIPO, 35% CONTRA ENTREGA
30% CRÉDITO A 30 DÍAS

<b>20221208 0</b>
NRC:219705-7
NIT:0612-230812-101-1
Pequeño contribuyente

GRUPO AUTOCONTROL  
10 AÑOS  
2012-2022

Pág. 5 de 5

Cantidad	Código	Descripción General	Tiempo de entrega			P.Unit.	Totales
			Inmediata	Semanas	A confirmar		
1	-	Manguera de 1/4", 3250 psi, con terminales recto y codo 90° hembra de 1/4" JIC, con una longitud de 520 mm	X			\$ 16.40	\$ 16.40
1	-	Manguera de 3/8", 2600 psi, con terminales codo 90° hembra de 3/8" JIC, con una longitud de 1230 mm	X			\$ 31.13	\$ 31.13
1	-	Manguera de 3/8", 2600 psi, con terminales codo 90° hembra de 3/8" JIC, con una longitud de 680 mm	X			\$ 29.11	\$ 29.11
1	936912	Manómetro de saturación para filtro spin on		12		\$ 42.15	\$ 42.15
1	C1BK88	Tubing 3/8", con giro a 180°, 390 mm		12		\$ 16.72	\$ 16.72
1	C1AF27	Tubing 1/4", con giro a 90°, 210 mm		12		\$ 3.63	\$ 3.63
1	C1AF27	Tubing 1/4", con giro a 90°, 320 mm		12		\$ 7.26	\$ 7.26
2	C1AF27	Tubing 1/4", recto, 26 mm		12		\$ 3.63	\$ 7.26
2	C1AF27	Tubing 1/4", con giro a 90°, 110 mm		12		\$ 3.63	\$ 7.26



*Especialistas en automatización industrial*

Sumas	\$ 14,202.06
IVA	\$ 1,846.27
<b>SUB-TOTAL</b>	<b>\$ 16,048.33</b>



<b>VENTA TOTAL</b>	<b>\$ 16,048.33</b>
--------------------	---------------------

Automatización Industrial y Proyectos - Componentes y Sistemas Neumáticos, Hidráulicos, Eléctricos, Electrónicos y Mecatrónicos. Modificación y actualización de máquinas industriales. Capacitación y Equipos Didácticos de Entrenamiento Industrial para Colegios, Escuelas, Universidades y Centros de Formación Profesional.  
[soluciones@grupoautocontrol.com](mailto:soluciones@grupoautocontrol.com) PBX. 2207-3377 Calle Gabriela Mistral #201. S.S.  
[www.grupoautocontrol.com](http://www.grupoautocontrol.com)

## ANEXO C6. VIDRÍ



ALMACENES VIDRI S.ADEC.V.  
 N.R.F.: 2-7 | GIRO: FERRETERÍA| N.I.T: 0210-191171-001-6 CORREO:  
 HERBERT.RAMOS@VIDRI.COM.SV| TELÉFONO: 2271-4033  
 COTIZACION NO. 8209

FECHA: 09/01/2022 CLIENTE: RICARDO MARTINEZ  
 CONDICION DE PAGO: CREDITO DIRECCION: CALLE EL MIRADOR, TORRE FUTURA, 87 AV NTECOL ESCALON, PISO 19, SANSALVADOR  
 VALIDEZ DE OFERTA: 7 DIAS TELEFONO: 22256584  
 SUCURSAL: VENEZUELA

CANTIDAD	CÓDIGO	DESCRIPCIÓN	COSTO	TOTAL
1	5838	Empaque Vitorite 1/16"	\$ 21.50	\$ 21.50
1	10284	Niple galvanizado 3/8" NPT x 6"	\$ 1.60	\$ 1.60
2	4035	Codo galvanizado hembra-hembra 1/2" NPT	\$ 0.70	\$ 1.40
1	10293	Niple galvanizado 1/2" NPT x 2"	\$ 0.45	\$ 0.45
1	10277	Niple galvanizado 3/8" NPT x 2"	\$ 0.80	\$ 0.80
4	38545	Perno allen 5/16" x 4", rosca ordinaria	\$ 0.65	\$ 2.60
16	70715	Perno allen 3/16x1 1/2 pulg inoxidable	\$ 0.20	\$ 3.20
4	70780	Perno hexagonal 3/8x1 pulg rosca ordinaria g5	\$ 0.20	\$ 0.80
18	70783	Perno hexagonal 3/8x2 pulg rosca ordinaria g5	\$ 0.30	\$ 5.40
18	29940	Arandela de presión 3/8" pulg, zincada	\$ 0.04	\$ 0.72
18	29936	Arandela plana 3/8", zincada	\$ 0.09	\$ 1.62
12	70932	Tuerca 3/8", rosca ordinaria	\$ 0.12	\$ 1.44
4	30159	Perno hexagonal 1/2x1 pulg zincado rosca ordinaria	\$ 0.50	\$ 2.00
4	29941	Arandela de presión 1/2" pulg, zincada	\$ 0.08	\$ 0.32
4	29937	Arandela plana 1/2", zincada	\$ 0.19	\$ 0.76
6	30136	Perno hexagonal 5/16x1 pulg zincado rosca ordinaria	\$ 0.20	\$ 1.20
10	30067	Tuerca hexagonal rosca ordinaria zincada 5/16 pulg	\$ 0.07	\$ 0.70
1	7567	Angulo 1 1/2", 3.18 mm, AG	\$ 17.50	\$ 17.50
4	52370	Tubo estructural cuadrado, 4", 3.18 mm	\$ 125.00	\$ 500.00
1	8133	Lámina galvanizada lisa 4x8 pies calibre 16	\$ 79.95	\$ 79.95
1	8133	Lámina negra 3/16 plg (4.70mm) 2x1m	\$ 118.00	\$ 118.00
1	300506	Lámina acrílica transparente 2.5mm, 1.22m x 2.44m	\$ 67.96	\$ 271.84
12	114122	Bisagra alcayate nudo 3x3 pulg (par)	\$ 1.40	\$ 16.80
2	35170	Lámpara LED 2x32w SYLVANIA	\$ 43.95	\$ 87.90
4	85681	Tubo fluorescente 32w luz blanca SYLVANIA	\$ 1.75	\$ 7.00
1	150807	Fuente de alimentación 24 VDC (6EP33326SB000AY0)	\$ 76.95	\$ 76.95
1	107033	LOGO V8.3 (6ED10521FB000BA8)	\$ 180.00	\$ 180.00
1	147917	Contactador 16 A (3RT2018-1AK61)	\$ 51.95	\$ 51.95
1	34643	Guardamotor, 7-10 A (3RV20111JA10)	\$ 77.95	\$ 77.95
1	3055	Automato, 20 A, 3P (Motor) (5SL63257CC)	\$ 24.95	\$ 24.95
1	164023	Automato, 2 A, 2P (Control) (5SL62027CC)	\$ 26.50	\$ 26.50
1	44780	Pulsador verde (3su11000ab401ba0)	\$ 15.50	\$ 15.50
44	22114	Electrodo para hierro dulce 1/8 pulg (lb)	\$ 2.25	\$ 99.00
6	11285	Pegamento epóxico epoxi-mil 150 g LOCTITE	\$ 3.90	\$ 23.40
1	44782	Pulsador rojo (3su11000ab201ca0)	\$ 16.50	\$ 16.50
6	44781	Pulsador negro (3su11000ab101ba0)	\$ 15.00	\$ 90.00
2	44784	Selector switch, 2 posiciones (3su11002bf601ba0)	\$ 22.95	\$ 45.90
1	44783	Paro de emergencia, tipo hongo (3su11001hb201cg0)	\$ 40.95	\$ 40.95
6	150941	Haladera aluminio mate 128 mm	\$ 2.10	\$ 12.60

PRECIOS NO INCLUYEN IVA  
 \*\*PRECIOS SUJETOS A CAMBIOS SIN PREVIOS AVISO

HERBERTHOLGERES

AUTORIZADO

SUB TOTAL :	\$1,919.66
IVA :	\$250.56
<b>TOTAL:</b>	<b>\$2.178.24</b>

# ANEXO C7. FREUND



## Revisión de pedido

### RESUMEN DE COMPRA

Persona que retirará  
**Ricardo Martínez**








Teléfono  
**76275113**

Total a pagar:  
**\$293.15**

Fecha de retiro  
**12/01/2023 09:00 AM**

Retiro en  
**AUTOPISTA**

CALLE MADRIGAL SUR Y BLVD. LA SULTANA #2-A, ANTIGUO CUSCATLAN, LA LIBERTAD, EL SALVADOR  
Tel: (503)22438844 / (503)25074000  
Email: [autoquista@freunds.com](mailto:autoquista@freunds.com)  
LUNES A SABADO: 07:30 AM - 07:30 PM; DOMINGO: 08:00 AM - 06:00 PM

	Descripción	Precio	Cantidad	Subtotal
	<b>BORNERA CONEXIÓN AWG 12-10 PARA RIEL DIN VIKING TM 3</b> Código: 46829830 LEGRAND  Disponibile Despacho a domicilio Disponibile Retiro en tienda	\$ 1.25	40	\$ 50.00
	<b>LAMPARA LED PARA SEÑALIZACION 120-230 V-- VERDE</b> Código: 625449 CHINT  Disponibile Despacho a domicilio Disponibile Retiro en tienda	\$ 3.90	1	\$ 3.90
	<b>RIEL DIN PARA BORNERA Y AUTOMATOS 35 MM SIN AGUJERO</b> Código: 590589 CHINT  Disponibile Despacho a domicilio Disponibile Retiro en tienda	\$ 3.95	2	\$ 7.90
	<b>BORNERA CONEXIÓN AWG 8 PARA TIERRA 6 MM2 VIKING TM 3</b> Código: 46831330 LEGRAND  Disponibile Despacho a domicilio Disponibile Retiro en tienda	\$ 5.25	5	\$ 26.25
	<b>CANALETA 40X40 MM PVC AZUL RANURADA LINA</b> Código: 47400937 LEGRAND  Disponibile Despacho a domicilio Disponibile Retiro en tienda	\$ 15.30	2	\$ 30.60
	<b>INTERRUPTOR POTENCIA ON-OFF 63 AMP 4 POLOS</b> Código: 633816 CHINT  Disponibile Despacho a domicilio Disponibile Retiro en tienda	\$ 43.00	1	\$ 43.00
	<b>GABINETE INDUSTRIAL 80X60X30 CM METAL IP66 CON PLA</b> Código: 619458 ARGOS  Disponibile Despacho a domicilio Disponibile Retiro en tienda	\$ 169.00	1	\$ 169.00

Costo de envío: **\$0.00**  
Total a pagar: **\$330.65**  
Ahorro: **\$0.00**









## ANEXO C8. AEROPOST

aeropost.com

Compra lo que se te ocurra



### TU CARRITO

PRODUCTO	CANTIDAD	TOTAL
 <p><b>RJ45 Coupler Dingsun Female to Female Ethernet Coupler 2 Pack in-Line Coupler for Cat7 Cat6 Cat5e Ethernet Cable Extender Adapter (Black)...</b>                      Requiere revisión                      Color: black</p>	1	\$22.38
 <p><b>COOLLINE Hydraulic Oil Cooler 18 hp Heat Removed 30 gpm Max Flow Rate 1594 in Overall Wd</b>                      Requiere revisión                      Producto ingresado manualmente</p>	1	\$533.56
 <p><b>ECX23005K</b>                      Requiere revisión                      Producto ingresado manualmente</p>	4	\$221.88
 <p><b>1PCS NEW CNTD CZ93C CZ93C SAFETY SWITCH BRAND CNT</b>                      Requiere revisión                      Producto ingresado manualmente</p>	3	\$124.40
 <p><b>6ED10551MM000BA2</b>                      Requiere revisión                      Producto ingresado manualmente</p>	2	\$333.95
 <p><b>SIEMENS 6ED10551MA000BA2 EXPANSION MODULE LOGO AM2 2 IP</b>                      Requiere revisión                      Producto ingresado manualmente</p>	2	\$525.01

#### RESUMEN DE LA ORDEN

Subtotal:	\$ 1355.39
Cargos administrativos:	\$ 12
Impuestos del país:	\$ 228.94
Costo de envío al país de destino*:	\$ 164.85

#### PRECIO TOTAL

**\$1761.18**

Precio incluye envío y cargos relacionados.

\*Aeropost brinda un servicio de compras por Internet. El Precio Total incluye todos los cargos hasta la entrega del pedido. En caso de que el proveedor: (a) no posea el producto, (b) los datos del mismo fueran incorrectos, o (c) existieran cambios o restricciones por parte de la tienda (precio, inventario, u otras condiciones para la venta), Aeropost se reserva el derecho de cancelar la orden. Para obtener más información, ver nuestros Términos y condiciones

\*\*El Precio Todo Incluido es garantizado únicamente por 48 horas.



## ANEXO C9. IDSA



INGENIERÍA Y DISTRIBUCIÓN S.A. DE  
C.V.  
Calle Cerro Verde  
#2923 Colonia Miramonte  
San Salvador 1102  
El Salvador

Somos Automatización a tu  
servicio

FERNANDO URBINA

### Número de cotización S03265

<b>Su referencia:</b>	<b>Fecha de la</b>	<b>Vencimiento:</b>	<b>Correo:</b>	<b>Sac:</b>	<b>Terminos de</b>
Sensores	<b>cotización:</b>	28/12/2022	lsanchez@grupo	Luis Sánchez	<b>pago:</b>
Banner	13/12/2022		-idsa.com		Contado

Descripción	Cantidad	Precio		Importe
		unitario	Desc.%	
Sensor fotoeléctrico multipropósito serie Q4X con campo láser ajustable Alcance: 500 mm; Entrada 12-30 V CC Salida: Analógica: 4-20 mA Conexión: conector integral Euro M12 de 5 pines	2.00 UNIDAD	699.00	15.00	\$ 1,188.30
Base para sensor impresa en plástico en base a modelo SMBQ4XFAM12	2.00 UNIDAD	8.00	0.00	\$ 16.00
<b>Subtotal</b>				\$ 1,204.30
IVA 13% en \$ 1,204.30				\$ 156.56
<b>Total</b>				\$ 1,360.86

**This sale order is approved for the sum of:** Mil Trescientos Sesenta Dolares y Ochenta Y Seis Centavos

Tiempo de entrega: Inmediata en nuestras instalaciones

## ANEXO C10. PINSE-AUTO



San Salvador, 20 de septiembre de 2022

Atención.

**Ing. RICARDO MARTINEZ**

Presente

El motivo de la presente es para someter a consideración la siguiente cotización.

Cant	Descripción	Precio Unitario	Total
1	Fabricación e Instalación de 4 Tacos de Caucho Vulcanizado para Patas de Estructura Metálica tipo Armadura.	\$ 120.00	\$ 120.00
7	Acero 4" de diámetro y ancho/alto (Para bloques de acero y cilindro)	\$ 25.00	\$ 175.00
5	Maquinado de bloques de acero y cilindro de acero	\$ 50.00	\$ 250.00
<b>Nota: Estos precios no incluyen IVA Cotización sujeta a las variaciones del mercado, esta es válida durante los próximos 30 días a partir de la fecha de emisión.</b>		<b>TOTAL</b>	<b>\$ 545.00</b>

Agradeciendo de antemano su atención y en espera de poder servirle me suscribo de usted, quedando como siempre a sus apreciables órdenes.

Atentamente

**Pedro Guerra.**

## ANEXO C11. ACEITE HIDRÁULICO, ACAVISA S.A de C.V



Empresa líder en el mercado automotriz e industrial.

Contamos con centros de servicio altamente calificados para el mantenimiento de los vehículos y motocicletas. Con más de 70 años de trayectoria, innovación, calidad y servicio, generando propuestas de valor a nuestros clientes y consumidores a través de soluciones rápidas y efectivas.

**Visítanos en San Salvador**

📍 25 Av. Sur, N° 763, San Salvador.

✉ acavisa.info@acavisa.com


☎ (503) 2231-4200

**Visítanos en Santa Ana**

📍 Finjal 25 Calle Poniente y Calle Aldea San Antonio, Gasolinera Texaco, Santa Ana

✉ acavisa.info@acavisa.com

☎ (503) 7268-3639

	Producto	Precio	Cantidad	Subtotal
✖	 ACEITE HIDRAULICO ISO 46 (5 GLN)	<b>\$57.74</b>	- 1 +	\$57.74

### Total del carrito

<b>Subtotal</b>	\$57.74
<b>Total</b>	<b>\$57.74</b>

NÚMERO DEL PEDIDO: 3008    FECHA: 11 enero 2023    TOTAL: \$57.74    MÉTODO DE PAGO: Red SERFINSA - Aceptamos pagos con tarjetas de las marcas Visa y Mastercard.

Servicios Financieros S.A de C.V

Usted se encuentra en la página de orden de compra para la pasarela de pagos de SERFINSA, una procesadora Local de la red de bancos Salvadoreños.



Payment Gateway SERFINSA Fecha: 2023/01/12

Order ID: #3008

Fecha Pago: 2023/01/12

Servicios Financieros SA de CV; Red multibanco de procesamiento de transacciones de pago POS y ATMs más grande de El Salvador

Aceptamos todas las tarjetas Visa/Mastercard locales e internacionales además de los programas de lealtad \*Compra con Puntos, \*Compra en Cuotas de los bancos miembros de la Red SERFINSA.



Monto total a Pagar

TOTAL:	\$57.74
--------	---------