

UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE



FACULTAD DE INGENIERÍA EN CIENCIAS APLICADAS
CARRERA DE INGENIERÍA EN MECATRÓNICA
TRABAJO DE GRADO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO
DE INGENIERO EN MECATRÓNICA

TEMA:

**“DISEÑO DE MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA CIERRE Y
APERTURA DE LA MATRIZ EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN
EN COQUILLA; PARA LA EMPRESA SMO SERVICIOS
MECÁNICOS Y METALÚRGICA”**

AUTOR

Johao Fabián Pilicita Vizcaino

DIRECTOR

Ing. Fernando Vinicio Valencia Aguirre, MSc.

**Ibarra – Ecuador
2020**



UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

BIBLIOTECA UNIVERSITARIA

AUTORIZACIÓN DE USO Y PUBLICACIÓN A FAVOR DE LA UNIVERSIDAD TÉCNICA DEL NORTE

1. IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA

En cumplimiento del Art. 144 de la Ley de Educación Superior, hago la entrega del presente trabajo a la Universidad Técnica del Norte para que sea publicado en el Repositorio Digital Institucional, para lo cual pongo a disposición la siguiente información:

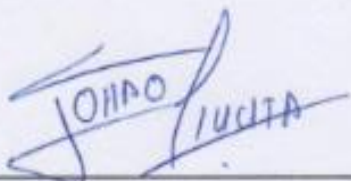
DATOS DE CONTACTO			
CÉDULA DE IDENTIDAD:	1004400154		
APELLIDOS Y NOMBRES:	PILICITA VIZCAÍNO JOHAO FABIAN		
DIRECCIÓN:	CAYAMBE		
EMAIL:	jfpilicitav@utn.edu.ec		
TELÉFONO FIJO:	02 348 0028	TELÉFONO MÓVIL:	0998172089

DATOS DE LA OBRA	
TÍTULO:	DISEÑO DE MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA CIERRE Y APERTURA DE LA MATRIZ EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN EN COQUILLA; PARA LA EMPRESA SMO SERVICIOS MECÁNICOS Y METALÚRGICA
AUTOR (ES):	JOHAO FABIAN PILICITA VIZCAÍNO
FECHA: DD/MM/AAAA	1 DE DICIEMBRE DEL 2020
SOLO PARA TRABAJOS DE GRADO	
PROGRAMA:	PREGRADO
TITULO POR EL QUE OPTA:	INGENIERO EN MECATRÓNICA
ASESOR /DIRECTOR:	Ing. FERNANDO VALENCIA, MSc.

CONSTANCIAS

El autor manifiesta que la obra objeto de la presente autorización es original y se desarrolló, sin violar derechos de autor de terceros, por lo tanto, la obra es original y que es el titular de los derechos patrimoniales, por lo que se asume la responsabilidad sobre el contenido de la misma y saldrá en defensa de la Universidad en caso de reclamos por parte de terceros.

Ibarra, al 1 día del mes de diciembre del 2020.



Firma

Nombre: Johao Fabian Pilicita Vizcaino

Cédula: 1004400154

CERTIFICACIÓN

En calidad de tutor del trabajo de grado titulado: “DISEÑO DE MÁQUINA SEMIAUTOMÁTICA PARA CIERRE Y APERTURA DE LA MATRIZ EN EL PROCESO DE FUNDICIÓN EN COQUILLA; PARA LA EMPRESA SMO SERVICIOS MECÁNICOS Y METALÚRGICA”, certifico, que el presente trabajo fue desarrollado por el egresado Johao Fabián Pilicita Vizcaíno, bajo mi supervisión.



Ing. Fernando Valencia, MSc.

DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTO

Agradezco a la Universidad Técnica del Norte por brindarme la oportunidad de formarme como profesional.

A mis padres, por su apoyo incondicional, por todo su amor y guía en mi vida, por todos sus consejos y sabiduría siempre les estaré agradecido.

De manera especial extiendo un amplio agradecimiento a mi director de tesis Ing. Fernando Valencia, MSc por su tiempo y conocimientos. A mis asesores Ing. Iván iglesias, MSc y PhD. David Ojeda por su apoyo en el presente proyecto.

Agradezco a la empresa SMO “Sistemas mecánicos y metalúrgica” por su contribución económica y cooperación con sus equipos de trabajo.

DEDICATORIA

Dedico este proyecto de tesis con todo afecto a mis padres, ellos fueron el pilar fundamental para cumplir esta meta ya que siempre me brindaron su apoyo. Ellos fueron la base principal para la construcción de mi vida profesional, de igual manera a mis hermanas quienes me alientan con deseos de superación.

Johao Fabian Pilicita Vizcaíno

RESUMEN

El presente proyecto presenta la investigación de una máquina tipo prensa que ayude en la fundición en coquilla por gravedad, en la empresa SMO “Sistemas mecánicos y metalúrgica”. Al momento la industria metalúrgica al norte del país trabaja de manera artesanal, con este proyecto se busca una mejor utilización de los recursos tanto humanos como materiales.

El objetivo principal de este proyecto es construir una máquina semiautomática para el cierre en el proceso de fundición. En dicho proceso una de las desventajas es la manipulación de la coquilla por su peso y tamaño, ya que se usa un mecanismo manual. Además, al trabajar con metal fundido el operario se encuentra a menudo en situaciones de riesgo los cuales se busca evitar.

En el capítulo 2 se investiga todo el sustento teórico que sirve para la construcción de la máquina. Encontramos los principios de funcionamiento hidráulico, se propone un modelo estructural con su respectivo proceso de elaboración. Se investiga los conceptos de fundición que se relacionan con la fuerza que debe ejercer la máquina. Terminando por definir el esquema eléctrico y el software que brindaran cierto automatismo al dispositivo

En el capítulo 3 se realiza la casa de la calidad con el fin de ubicar la propuesta en el mercado actual. Se genera una matriz morfológica, con la propuesta que más se adecua a la voz del cliente en este caso la empresa SMO. Se elige los actuadores mostrando sus principales características. Se determina las fuerzas generadas en el proceso las cuales la máquina contrarresta en su ejecución, así como las presiones de trabajo que se detallan al final del capítulo. Se realiza un análisis estático de puntos críticos corroborando con las simulaciones en SolidWorks. Se realiza el diagrama eléctrico de la máquina y elección de elementos del panel de control. Terminado con el programa ingresado en el PLC realizado en Ladder.

Para finalizar se define un análisis de resultados, este proceso se realiza en el proceso de fundición de la pieza con la máquina en funcionamiento. Se realiza una comparativa del proceso, un antes y después de la máquina. Con el cumplimiento del objetivo se redacta las conclusiones y recomendaciones del proyecto.



ABSTRACT

This project presents the research of a press type machine that helps in gravity die casting, in the SMO "Sistemas Mecánicos y Metalúrgica" company. At the moment the metallurgical industry in the north of the country works in a handmade way, this project aims for better use of human and material resources.

The main objective of this project is to build a semi-automatic machine for the closing in the casting process. In this process, one of the disadvantages is the manipulation of the die for its weight and size, since a manual mechanism is used. Besides, when working with molten metal the operator often finds himself in risky situations that he seeks to avoid.

In chapter 2 all the theoretical support for the construction of the machine is studied. With the principles of hydraulic operation, a structural model is proposed with its respective process of elaboration. By researching the concepts of casting that are related to the force that the machine must exert. Defining the electrical diagram and the software that will provide certain automatism to the device.

In chapter 3 the quality house is made to place the proposal in the current market, generating a morphological matrix. Applying the proposal that best suits the voice of the customer in this case the company SMO. The actuators are chosen to show their main characteristics. It determines the forces generated in the process which the machine counteracts in its execution, as well as its working pressures. Static analysis of critical points is performed and corroborated with SolidWorks simulations. The electrical diagram of the machine and the choice of control panel elements are made. Finished with the program entered into the PLC made in Ladder.

Finally, an analysis of the results is defined. This procedure is carried out in the casting process of the part with the machine in operation. With a comparison before and after its use. With the fulfilment of the objective, the conclusions and recommendations of the project are summarised.



VICTOR RAÚL RODRÍGUEZ

Reviewed by Victor Raúl Rodríguez Viteri

CONTENIDO

IDENTIFICACIÓN DE LA OBRA	ii
CONSTANCIAS	iii
CERTIFICACIÓN	iv
AGRADECIMIENTO	v
DEDICATORIA	vi
RESUMEN	vii
ABSTRACT	viii
ÍNDICE DE FIGURAS	xi
ÍNDICE DE TABLAS	xiii
INTRODUCCIÓN	1
GENERALIDADES	1
1.1 Introducción.....	1
1.2. Planteamiento del problema	1
1.3. Objetivo General.....	3
1.4. Objetivos Específicos	4
1.5. Justificación	4
1.6. Alcance	5
CAPÍTULO 1	6
MARCO TEÓRICO	6
2.1. Generalidades	6
2.2. Parámetros hidráulicos	6
2.2.1. Sistema abierto	6
2.2.2. Sistema cerrado.....	6
2.2.3. Conceptos y principios fundamentales	7
2.2.4. Elementos	8
2.2.5. Aceite.....	9
2.2.6. Estructuración en bloques.....	10
2.2.7. Automatización hidráulica.....	11
2.3. Información de fundición	12
2.3.1. Temperatura.....	13

2.3.2. Coquilla	13
2.3.3. Tiempo de solidificación	14
2.3.4. Parámetros técnicos del molde permanente	14
2.4. Elementos mecánicos	16
2.4.1. Partes del mecanismo	16
2.4.2. Dimensionamiento.....	21
2.4.3. Selección del material.....	21
2.4.4. Puntos críticos	22
2.4.5. Tipos de Sujeción	22
2.4.6. Construcción.....	23
2.5. Panel de control	31
2.5.1. Componentes de automatismo.....	31
2.5.2. Elementos de control	31
2.5.3. Contactor	31
2.5.4. Pirómetro	32
2.5.5. Breaker.....	32
2.5.6. Termocupla.....	32
2.5.7. Final de Carrera	32
2.5.8. Elementos de mando.....	32
2.5.9. Indicadores	33
2.5.10. Tablero eléctrico	33
2.5.11. Elementos auxiliares para instalación.....	33
2.5.12. Controlador lógico programable (PLC).....	33
2.6. Software.....	34
2.6.1. Programas de aplicación.....	34
2.6.2. Lenguaje de programación en PLC's	34
CAPÍTULO 2	1
3.1. MODELO DE INVESTIGACIÓN.....	1
3.1.1. Casa de la calidad	1
3.1.2. Diagrama funcional	1
3.1.3. Descomposición funcional	1
3.1.4. Análisis funcional.....	2
3.1.5. Matriz morfológica.....	2
3.1.6. Elección de variantes.....	5
3.1.7. Análisis estructural de la máquina.....	5
3.1.8. Datos del proceso de fundición	8
3.1.9. Resistencia eléctrica	10

3.1.10. Selección de actuadores.....	12
3.1.11. Presiones de trabajo	13
3.1.12. Esquema eléctrico.....	15
3.1.13. Diseño panel de control	15
3.1.14. Programa.....	15
3.1.15. Elección de materiales	16
3.1.16. Simulación de puntos críticos en SolidWorks	19
CAPÍTULO 3	58
RESULTADOS Y ANÁLISIS	58
4.1. RESULTADOS	58
4.1.1. Estructura y mecanismos	58
4.1.2. Análisis de la simulación en SolidWorks	59
4.1.3. Verificación sistema de control	59
4.1.4. Máquina en el proceso de fundición.....	60
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	63
CONCLUSIONES.....	63
RECOMENDACIONES	65
REFERENCIAS	66

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1. Parámetros para diseñar la máquina.....	6
Figura 2. Central hidráulica [11].	10
Figura 3. Etapas del fundido con moldes permanentes: 1) se precalienta y recubre el molde, 2) se inserta los núcleos (si lo hay) y se cierra el molde, 3) se vierte metal derretido en el molde y 4) se abre el molde. La pieza terminada se presenta en 5) [13]......	12
Figura 4. Diseños de sujeción: a) un diseño posible de sujeción de palanca: 1) abierta y 2) cerrada y b) sujeción hidráulica: 1) abierta y 2) cerrada [15].	17
Figura 5. Columnas a compresión y deflexión [17].	17
Figura 6. Pandeo de una columna [17].	18

Figura 7. Formas de restricción de una columna; valores de k para obtener la longitud efectiva: a) restricción articulada, b) articulación empotrada, c) empotrada libre y d) empotrada articulada [17].	19
Figura 8. Comportamiento de la carga crítica [17].	20
Figura 9. Dimensionamiento de la máquina	21
Figura 10. Plancha para matriz	24
Figura 11. Soporte guía	25
Figura 12. Soporte móvil	26
Figura 13. Base guía	27
Figura 14. Soporte parte fija	28
Figura 15. Soporte gato hidráulico	29
Figura 16. Soporte parte móvil	30
Figura 17. Plato bocín	30
Figura 18. Componentes de un automatismo [19].	31
Figura 19. Diagrama funcional.	1
Figura 20. Descomposición funcional.	2
Figura 21. Descomposición funcional nivel 2.	2
Figura 22. Alternativas para sujetar la matriz.	3
Figura 23. Alternativas para el mecanismo de desplazamiento.	3
Figura 24. Alternativas de la fuente de energía de la máquina.	4
Figura 25. Alternativas tipo de control.	4
Figura 26. Alternativas para efectuar el desplazamiento lineal.	5
Figura 27. Selección de variantes (ver anexo 2).	5
Figura 28. Válvula direccional 4/3 retorno hidráulico/esfuerzo muscular.	13
Figura 29: Tablero de control.	15

Figura 30. Graficet del programa: 1) Graficet descriptivo del proceso, 2) Graficet asignado variables donde "Xn" es la etapa del proceso, "SAMÁS y SAMENOS" representan el estado de avance y retroceso del cilindro respectivamente.	16
Figura 31. Programación del dispositivo en "LOGO V8".....	16
Figura 32. Instalación tablero de control.	17
Figura 34. Factor de seguridad base del gato.	19
Figura 35. Tensión máxima soportada por la base del gato.	20
Figura 36. Factor de seguridad del mecanismo de cierre.	20
Figura 37. Tensión máxima soportada por el mecanismo de cierre	21
Figura 38. Amplitud de pandeo y factor de seguridad.	21
Figura 39. Estructura mecánica terminada.	59
Figura 40. Tablero de control terminado.	60
Figura 41. Prueba de funcionalidad de la máquina.	60
Figura 42. Preparación de la máquina para fundir.....	61
Figura 43. Pieza fundida en máquina semiautomática	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1: Especificaciones SAE para pernos de acero [18].	23
Tabla 2: Equivalencias norma SAE y ASTM [17].	23
Tabla 3: Máquinas y herramientas utilizadas.	24
Tabla 4: Elementos de la estructura.	24
Tabla 5: Proceso de construcción – plancha para matriz.....	25
Tabla 6: Proceso de construcción: soporte guía.	26
Tabla 7. Proceso de construcción: soporte móvil.	26
Tabla 8. Proceso de construcción: bases estructura.....	27
Tabla 9: Proceso de construcción: guía.	27
Tabla 10: Proceso de construcción: base guía.	27
Tabla 11: Proceso de construcción: soporte parte fija.	28

Tabla 12: Proceso de construcción: platinas.....	29
Tabla 13: Proceso de construcción – soporte gato hidráulico.	29
Tabla 14: Proceso de construcción: tubo cuadrado.	30
Tabla 15: Proceso de construcción: soporte parte móvil.....	30
Tabla 16: Proceso de construcción: plato bocín.	31
Tabla 17. Tipos de termocuplas y sus características [20].	32
Tabla 18: Elementos auxiliares para la instalación.	33
Tabla 19: Variables y parámetros en el diseño.....	6
Tabla 20: Requisitos de la máquina.....	7
Tabla 21: Características del cilindro hidráulico.....	12
Tabla 22: Características de la electroválvula.	13
Tabla 23: Características del acero A36 laminado en caliente.....	19
Tabla 24: Tiempos de operación de la máquina para realizar una pieza.	62

INTRODUCCIÓN

GENERALIDADES

1.1 Introducción

La industria metalúrgica utiliza moldes permanentes para la fabricación de piezas metálicas, el proceso implica un riesgo alto para el operador, además, un dispendio de recursos. El proceso de fundición en la zona norte del país se realiza manualmente (artesanal); la manipulación del molde permanente (matriz), el calentamiento de la matriz se realiza con soplete a gas, la sujeción de esta se aplica a una mesa para el colado, la medición de temperatura es alterna (sensada en tiempos necesarios), el dibujo de piezas se realiza mediante software CAD.

Es importante la creación de una máquina que ayude en el proceso de fundición, que permita agilizar la producción de piezas fundidas en moldes permanentes, fomentar la seguridad en el proceso y así estandarizar tiempos de producción. Aportando en el desarrollo en la zona norte del país, ya que esta tecnología no existe en el sector.

Los sistemas de sujeción son sencillos y en ellos es factible la adecuación y mejoramiento del proceso. Implementar una estructura metálica para aplicar movilidad al sistema de sujeción y accionar a través de un panel de control. En ella controlar la temperatura del molde e indicar el valor de esta para una constante supervisión del operario. Es fundamental la precisión con que se realice el cierre de la matriz y la temperatura de la coquilla, para obtener una pieza fundida de buena calidad.

Para ello es necesario de sustento teórico, tanto en la parte de fundición como tendencias para elevar el nivel tecnológico en este proceso. En empresas occidentales se realizan los procesos de fundición en forma automática, reduciendo riesgos para el personal. Se presenta el diseño mecánico de la máquina, sus diagramas eléctricos y de control para el cierre y apertura del molde, características y funcionamiento de los componentes utilizados. El proceso se valida con la obtención de las piezas fundida a través del uso de la máquina.

1.2. Planteamiento del problema

En el proceso de fundición en coquilla por gravedad una de las desventajas es la manipulación de la matriz por su tamaño, debido al mecanismo que se necesita para abrir y cerrar las mitades de la coquilla [1].

SMO Servicios Mecánicos y Metalúrgica (Otavalo), es una empresa que se encarga de realizar trabajos de fundición de piezas metálicas de fabricación en serie, con una producción que oscilan entre 60 a 400 piezas por día. El número de piezas varía en función del tamaño de la pieza fundida, siendo el volumen promedio de la coquilla de (0,26x0,24x0.05) m. Las piezas metálicas pueden ser: juntas, accesorios de tubería, bridas, herrajes eléctricos.

SMO es pionero en fundición de colado en coquilla en la zona norte del país, la empresa desea mejorar la calidad de sus piezas fundidas. El proceso de fundición realizado en la empresa consume varios recursos como: aceite, crisol, y gas licuado de petróleo. El proceso dura aproximadamente 2 horas, en las cuales el trabajador desempeña una labor de mucha exigencia física y está expuesto a temperaturas elevadas.

Al manipular la coquilla se produce una mala postura de trabajo, así el operario está propenso a lesiones físicas, ya que el peso de cada mitad del molde puede pesar 40 kg, y esta es utilizada con un cierre manual (cierre y apertura) en el instante de colar. En efecto del cierre manual, se ubica la coquilla en la mesa de trabajo, siguiendo sus guías se acopla, se sujeta con mordazas y se aplica un precalentamiento antes de verter el material fundido. Este proceso genera impacto ambiental al quemar el aceite el cual está en función de tiempo de operación del proceso, se busca una alternativa que disminuya el impacto ambiental.

Al colar en la matriz esta genera una presión metalostática la cual actúa en las paredes de la coquilla. Una de las características principales de esta fundición es que la máquina a la cual cierra las dos partes de la matriz debe proporcionar un cierre preciso [1].

Las propiedades mecánicas y físicas de la pieza fundida se encuentran afectada por la temperatura a la hora de verter el material líquido en la coquilla, ya que las temperaturas de trabajo afectan a la estructura cristalina de la pieza.

La máquina de cierre se implementa de forma que se adapta al proceso de fundición por gravedad que se realiza en la empresa. Capaz de soportar temperaturas de hasta 500°C. También de abrir y cerrar las dos mitades de la coquilla en forma rectilínea, contrarrestando la presión metalostática(3kPa) que se produce en la misma. Con la capacidad de sensar la temperatura y mostrar la variable en el momento de fundición, parámetro principal en el proceso. El movimiento es ejecutado mediante un controlador lógico programable, que permite cumplir la función de desplazamiento. Por lo que este

trabajo potencia el proceso de producción en empresas metalúrgicas de la zona norte del país.

La empresa requiere mejorar su capacidad de producción para satisfacer la demanda en tiempo y forma. Consecuentemente pueda satisfacer la creciente demanda de sus clientes, mejorar su rentabilidad y conseguir un ambiente de trabajo con mejores condiciones. Así también reducir el costo de producción puesto que está en función al tiempo de operación.

A nivel nacional otra empresa que realiza la fundición en coquilla es Ecuapolea, quienes utilizan un mecanismo manual para el proceso de cierre en fundición y su producción se basa en poleas de aluminio, partes y piezas para la industria, partes para amasadoras, quemadores, parrillas. La empresa “Ecuapolea” con su capacidad instalada produce 5.000 poleas de 8, 10, 12 y 14 pulgadas mensuales con 9 trabajadores en el área operativa es decir 10.000 poleas bimestrales [2].

Esta empresa realiza el proceso de cierre en fundición por gravedad con una máquina manual la cual produce una alta demanda física de los operarios, consumiendo varios recursos los cuales se pueden mejorar su productividad en el proceso de fabricación.

Empresas de otros países como son el caso de “BENTON FOUNDRY INC” Y “COASTALFOUNDRY COMPANY” en Estados Unidos, emplean; sistema mecánico con poleas para el colado y sujeción. En el cierre y moldeo, utilizan sistemas hidráulicos y maquinaria vibrante respectivamente. En Taiwán la empresa Yingjie Foundry Industry Co., Ltd. cuenta con brazos mecánicos (hidráulicos) para la movilidad de bloques de arena y matrices, ya que estos bloques de arena tienen un volumen de (1x 3 x1,5) m.

Estas empresas cuentan con una producción masiva, ya que son exportadores de piezas manufacturadas a varios países. Por ello sus métodos de producción cuentan con tecnología mucho más avanzada y sistemas de fundición de alto costo de implementación.

Este trabajo de grado busca la implementación de una máquina de cierre para el proceso de fundición en coquilla, que se adapte a los requerimientos de la empresa, como materiales, dimensiones, temperaturas y presiones de trabajo.

1.3. Objetivo General

Construir una máquina semiautomática para el cierre en el proceso de fundición.

1.4. Objetivos Específicos

- Determinar los principales parámetros de diseño de la máquina.
- Construir la estructura y los mecanismos de la máquina semiautomática.
- Diseñar el sistema de control de la máquina en base a los parámetros de fundición.
- Validar la máquina incorporándola al proceso de fundición.

1.5. Justificación

SMO es una empresa que está impulsando sus productos y servicios en las áreas de metalúrgica y fundición, por lo que la adquisición de nuevos equipos para mejorar su rendimiento es de gran importancia. Una máquina que promueva el aumento de la producción de piezas metálicas, que es de 300 piezas diarias, es necesaria, ya que actualmente los métodos empleados no son suficientes para el aumento de producción.

En los centros de trabajo expuestos a altas y bajas temperaturas se procurará evitar las variaciones bruscas [3].

Reducir los riesgos laborales es sumamente importante para los trabajadores y la empresa. El proceso de cierre manual (cierre y apertura) que se aplica puede propiciar accidentes laborales, y cuenta con un riesgo alto en dicho proceso. Con la finalidad de incrementar la seguridad del operario se observa la necesidad de una máquina que ayude en la operación de cierre.

“Seguridad Industrial: Es uno de los cuatro subprogramas definidos al interior de un Programa de Seguridad y Salud Trabajo que se encarga de vigilar aquellos factores de riesgo que pueden ocasionar accidentes de trabajo. Vigila todas aquellas condiciones y/o actos inseguros a nivel del medio o del trabajador con potencialidad de generar accidentes de trabajo” [4].

La empresa desea el mejoramiento continuo de sus procesos laborales, siendo las temperaturas de trabajo muy importantes en el área de fundición, se determina que es necesario un indicador de la temperatura para el manejo de la coquilla en el proceso de fundición. El cual promueve un mejoramiento en la calidad del producto final.

El cierre es uno de los procesos en la fundición que no tiene tiempos estandarizados de producción. Se requiere un método que establezca estos tiempos ya que el costo está directamente relacionado con el tiempo de producción. La máquina se realiza según las

necesidades de la empresa. SMO cuenta con herramientas y materiales de los cuales se dispone para la implementación de la máquina. La empresa trabaja con producción en serie, el dispositivo fomenta una producción rápida, constante y reducción en el costo final de piezas. Debido a esto se decide realizar una máquina semiautomática que beneficie el proceso de fundición en coquilla por gravedad.

1.6. Alcance

El presente trabajo de grado propone la implementación de una máquina semiautomática para el cierre y apertura en el proceso de fundición.

Se busca realizar una máquina que pueda soportar temperaturas de hasta 400°C, puesto que el molde permanente debe alcanzar esta temperatura para reducir el impacto por enfriamiento al momento de fundir. Además, cuente con un método de sujeción de la coquilla, preciso en su acoplamiento mecánico. Para ello se determinan los principales parámetros del diseño para el mecanismo de cierre.

Determinado el proceso de cierre, se efectúa el control de movimiento el cual debe contar con el desplazamiento rectilíneo de la coquilla, de manera que realiza el cierre, y también contrarreste la presión metalostática para efectuar la apertura de la coquilla. Medir la temperatura en el proceso, por medio de un sensor, agregando información primordial para el proceso de fundición. Esto será operado por una persona que maneja la máquina desde un tablero de control situado en la misma estructura del equipo.

Las propiedades mecánicas de una aleación de aluminio fundida dependen fuertemente de su comportamiento y evolución microestructural durante la solidificación. La temperatura es un factor importante en el área de la fundición, el proceso, origina una estructura cristalina en las piezas fundidas, modificando las propiedades del material como: soporte a la tracción, compresión, plegado, dureza, fluencia e impacto [5].

Al tener los diseños y diagramas de control se procede a la construcción de la máquina. La cual será integrada en el proceso de fundición. Con esto se valida el proceso realizado.

CAPÍTULO 1

MARCO TEÓRICO

2.1. Generalidades

Esta sección presenta la investigación de fuentes de referencia para el desarrollo del proyecto, parámetros base para el diseño de la máquina. Dividido en cinco partes, que son: parámetros hidráulicos, información de fundición, elementos mecánicos, panel de control, software. Ver figura 1.

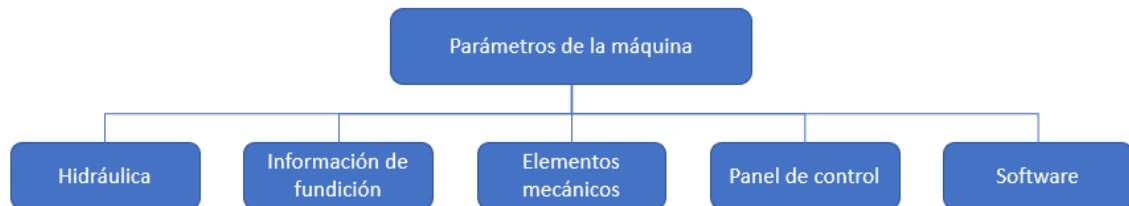


Figura 1. Parámetros para diseñar la máquina.

2.2. Parámetros hidráulicos

La hidráulica utiliza básicamente los fluidos hidráulicos como medios de presión para mover los pistones de los cilindros. Un sistema hidráulico está formado por una bomba, un depósito y un conjunto de tuberías que llevan el fluido a presión hasta los puntos de utilización [6].

La aplicación de la hidráulica en dispositivos fijos implica la fabricación y montaje de un sin número de máquinas, aparatos de elevación y transporte, máquinas de inyección y moldeo, prensas, montacarga. Su característica principal es transmitir una gran potencia con pocos componentes, además; movimientos lineales precisos, arranque con cargas pesadas, buen control y regulación con disipación de calor favorable.

2.2.1. Sistema abierto

En el sistema hidráulico abierto, la función de la bomba es la de producir un caudal constante, sin importar si el circuito hidráulico permanece inactivo. En este caso en específico, el caudal producido por la bomba circula por la válvula de control y regresa al depósito de líquido hidráulico.

2.2.2. Sistema cerrado

En el sistema hidráulico cerrado, la bomba únicamente trabaja si el circuito hidráulico se mantiene activo, ósea únicamente cuando el sistema necesite enviar energía al circuito. En este caso la bomba produce el caudal suficiente que necesita el cilindro en ese

momento. Mientras el circuito hidráulico se encuentra inactivo, no existe caudal en el sistema [7].

2.2.3. Conceptos y principios fundamentales

Para dominar y hacer un buen uso de las instalaciones hidráulicas es preciso conocer las ecuaciones que definen el comportamiento del sistema en función de las variables de estado y de proceso, de las condiciones de frontera y de las propiedades del fluido [8].

2.2.3.1. Presión de un fluido

La presión de un fluido se transmite con igual intensidad en todas las direcciones y actúa normalmente a cualquier superficie plana. En el mismo plano horizontal, el valor de la presión en un líquido es igual en cualquier punto.

La presión viene expresada por una fuerza dividida por una superficie. En general:

$$P = \frac{F}{A} \quad (\text{Ec. 2.1})$$

La presión viene medida comúnmente en kp/m^2 , kp/cm^2 o Pa (N/m^2) dependiendo de las unidades utilizadas para medir la fuerza y las superficies [8].

2.2.3.2. Caudal:

El caudal (Q) para flujo uniforme y permanente, aplicando la fórmula de Manning, es:

$$Q = AV = A \left(\frac{1}{n} \right) R^{\frac{2}{3}} S^{\frac{1}{2}} \quad (\text{Ec. 2.2})$$

donde Q viene en $\frac{\text{m}^3}{\text{s}}$, si A viene dada en m^2 y R en m [8].

2.2.3.3. Viscosidad

Se define como la medida de la resistencia que opone un líquido al fluir. Influye en esta característica la temperatura, siendo más fluidos (menos viscosos) conforme la temperatura aumenta [9].

2.2.3.4. Fluido

Se llama fluidos aquellos cuerpos cuyas moléculas gozan de una gran movilidad las unas con respecto a las otras, de tal manera que estos cuerpos toman espontáneamente la forma de los recipientes que lo contienen.

Los fluidos se dividen en dos categorías: los gases y los líquidos. Los primeros son compresibles; los segundos al contrario son poco compresibles y para los cálculos prácticos se admiten incompresibles [10].

2.2.4. Elementos

2.2.4.1. Bomba hidráulica

Son elementos esenciales en las instalaciones hidráulicas, son las impulsadoras del caudal hidráulica, capaces de convertir la fuerza mecánica en fuerza hidráulica. Se dividen en dos tipos: bombas de caudal fijo y bombas de caudal variable [9].

2.2.4.2. Bombas de caudal fijo

Estas bombas siempre conceden el mismo caudal; es decir, el mismo volumen de aceite por unidad de tiempo. Solamente varía el caudal cuando se varíe la velocidad de giro. Generalmente su uso está destinado para bajas presiones o para sistemas auxiliares [9].

2.2.4.3. Válvulas

Son elementos que gobiernan los sistemas hidráulicos, con estos se regula la presión, se obstruye el paso del aceite y se gobiernan los elementos de trabajo. Las válvulas distribuidoras distribuyen el paso del fluido y hacen posible el mando de los órganos de trabajo.

2.2.4.4. Electroválvulas

Las electroválvulas o válvulas electromagnéticas son elementos mixtos que mediante la señal eléctrica exterior efectúen las funciones propias de las válvulas distribuidoras. La parte fundamental de la electroválvula es el electroimán, capaz de mover directamente el distribuidor, si el caudal es pequeño o por medio del mando indirecto [9].

2.2.4.5. Cilindros

Los elementos de trabajo sirven para convertir la energía de presión en un movimiento directamente aprovechable para la realización de un trabajo. Puede ser cilindros o motores. Los cilindros hidráulicos transforman la energía de presión del fluido en un movimiento rectilíneo. Cuando el impulso activo del fluido se produce sólo en un sentido, el cilindro se llama de simple efecto. La recuperación se efectúa por el muelle o debido a una acción externa.

La velocidad de desplazamiento del vástago v depende del caudal Q y de la sección de aplicación A del émbolo.

$$v = \frac{Q}{A} \quad (\text{Ec. 2.3})$$

La fuerza del cilindro F depende de la presión aplicada P_e y de su sección útil A . A ella se opone la fuerza del resorte (si lo tiene) F_m y el rozamiento del émbolo y el vástago F_R . O sea:

$$F = A * P_e - F_m - F_r \quad (\text{Ec. 2.4})$$

Estos cilindros se emplean para levantar, sujetar, introducir, expulsar, y, en general, cuando se precisa realizar un trabajo de compresión. Cuando el cilindro realiza trabajos de compresión (avance) y a tracción (retroceso) se llama de doble efecto.

Cuando el fluido penetra en la cámara posterior, mientras el contenido en la cámara del vástago o anterior se evacua, el émbolo sale y efectúa su carrera positiva. Al invertir la entrada de aceite a presión el émbolo retrocede (carrera negativa o retorno).

$$F_a = P_e * A - F_r \quad (\text{Ec. 2.5})$$

La fuerza de avance F_a se calcula como en el caso anterior, aunque se prescinde de la influencia del muelle, ahora inexistente; es decir:

La fuerza de retroceso F_r es algo menor debido a la disminución de la sección de aplicación producida por la presencia del vástago. Llamado $A - A_0$ a la nueva sección útil (valor de la corona circular), se tiene:

$$F_r = P_e * (A - A_0) - F_R \quad (\text{Ec. 2.6})$$

Algunos cilindros llevan amortiguadores para reducir la velocidad de desplazamiento del vástago cuando éste a sus límites de carrera. Así se evitan posibles averías por impactos [9].

2.2.5. Aceite

En toda instalación hidráulica se reúnen una serie de elementos que, trabajando conveniente y ordenadamente, consiguen la transformación de una energía hidráulica en energía mecánica. Todas ellas tienen un común denominador, que es el líquido a presión [9].

El líquido a presión tiene que satisfacer diversas tareas:

- Transmitir la energía hidráulica generada por la bomba hidráulica y que se transforma en los motores y cilindros hidráulicos.
- Lubricar todas las piezas de una instalación.
- Evitar la corrosión en las partes móviles inferiores.

-Evacuar suciedades, abrasión.

-Disipar el calor

-Por ello el aceite, debe satisfacer unas exigencias mínimas, ya establecidas de antemano en cada caso.

2.2.6. Estructuración en bloques

Por lo general, todas las instalaciones hidráulicas funcionan según la siguiente estructura de bloques: La bomba hidráulica es el elemento de generación del fluido a presión. Con ella trabajan elementos auxiliares indispensables. Entre ellos se pueden citar: el depósito de aceite, el filtro, el manómetro, la válvula de cierre, la válvula limitadora presión. En la distribución del aceite intervienen las tuberías y racores [9].

2.2.6.1. Depósito de aceite

El depósito de aceite es el recipiente metálico que contiene el fluido destinado a alimentar una instalación hidráulica. Normalmente aparece como un bloque cerrado, llamado central oleohidráulica, que contiene también la bomba, el motor eléctrico, el filtro, y las válvulas. Ver figura 2.

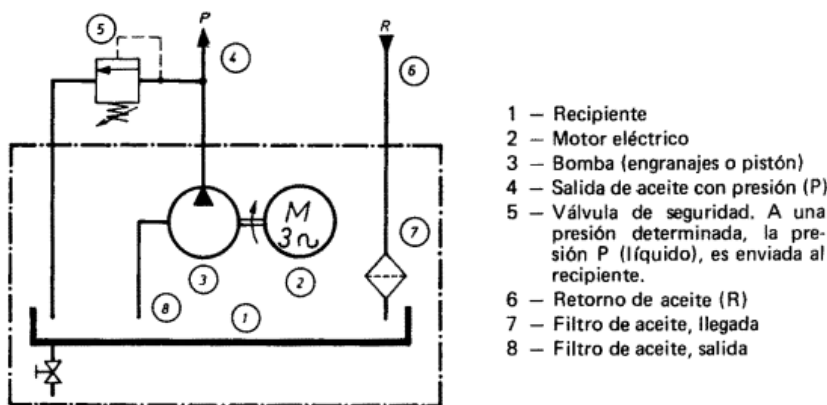


Figura 2. Central hidráulica [11].

2.2.6.2. Filtro

El filtrado del líquido a presión en las instalaciones tiene gran importancia para conservar las funciones y la duración de los equipos hidráulicos. La abrasión metálica, la abrasión de los elementos de estanqueidad, el polvo y la suciedad del aire se entremezclan con el líquido a presión, especialmente durante el rodaje. Estas partículas, más o menos grandes, deben ser filtradas continuamente, pues de lo contrario obstruirán poco a poco los conductos y las aberturas importantes de la instalación [9].

2.2.6.3. Manómetro

Instrumento que se utiliza para medir la presión de fluidos en sistemas hidráulicos. Consta de un tubo en U con uno o varios fluidos como: mercurio, agua, alcohol aceite. Indicador de la presión en diferentes puntos del sistema.

2.2.6.4. Válvulas reguladoras de presión

Las válvulas de regulación de la presión son elementos de gobierno hidráulicos que acondicionan la presión de la instalación a una presión constante de trabajo. La regulación es posible cuando la presión de trabajo es menor que la de la instalación.

Hay dos clases de válvulas reguladoras de presión:

2.2.6.4.1. Válvulas reguladoras de presión:

Las válvulas reguladoras de presión tienen por objeto reducir una presión de salida ajustable con respecto a una presión superior de entrada.

2.2.6.4.2. Válvulas limitadoras de presión

La utilización de estas válvulas tiene por objeto limitar la presión de trabajo a un valor máximo admisible. Se trata pues de un dispositivo de protección de los circuitos hidráulicos contra las sobrecargas.

2.2.6.5. Tuberías y conducciones

Accesorios de una instalación hidráulica de gran importancia en el sistema. La elección de la tubería depende: del caudal de servicio, presión y temperatura. Existen tubos flexibles y rígidos, siendo más utilizados los primeros contando con una gran flexibilidad a la hora de instalar. La elección de la tubería es una tarea compleja porque debe valorar una serie de variantes características que influyen directamente en la elección. Depende del caudal de servicio, de la presión y la temperatura [9].

2.2.7. Automatización hidráulica

La técnica hidráulica admite infinidad de aplicaciones en el campo de la máquina herramienta, especialmente en los trabajos de fijación de piezas, alimentación de máquinas y movimiento lineal que no requieran velocidades de actuación rigurosamente constantes. El mando hidráulico es más lento que el neumático, capaz de desarrollar más trabajo. Este tipo de mando se encuentra en prensas, diversas máquinas herramientas y en el automóvil [9].

2.3. Información de fundición

El proceso de fabricación mediante fundición consiste básicamente en el llenado de un molde que contiene la geometría deseada (modelo) con metal líquido (colada), que luego de solidificarse se abre el molde y se obtiene el producto deseado, es un proceso antiguo y de los más usados a nivel mundial (ver figura 3). Macroscópicamente en la fundición se combinan el proceso de solidificación y transferencia de calor que están estrechamente relacionados con el flujo de metal que llena las cavidades del molde [12].

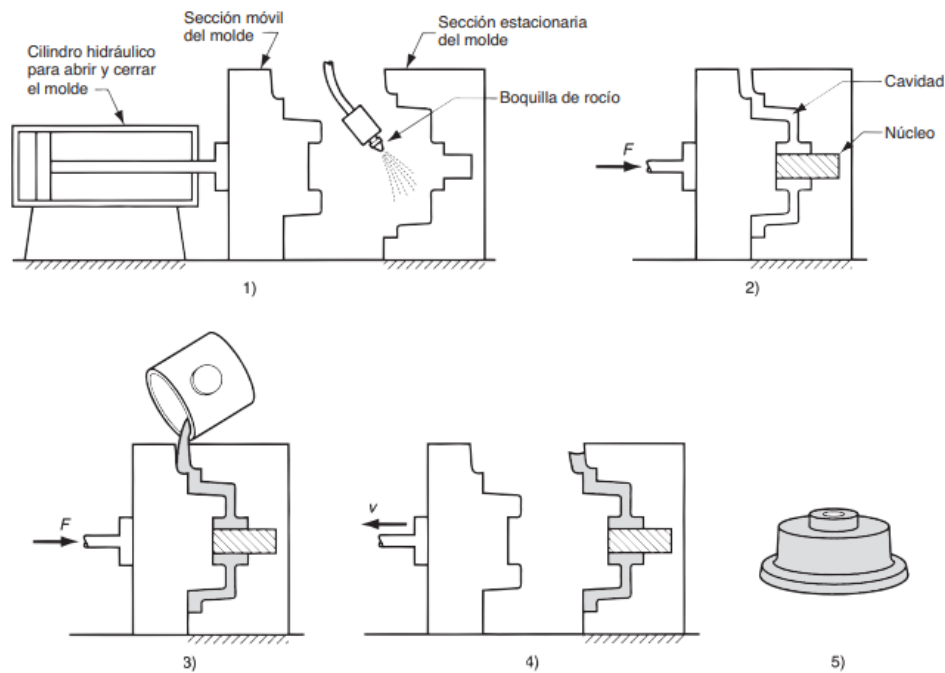


Figura 3. Etapas del fundido con moldes permanentes: 1) se precalienta y recubre el molde, 2) se inserta los núcleos (si lo hay) y se cierra el molde, 3) se vierte metal derretido en el molde y 4) se abre el molde. La pieza terminada se presenta en 5) [13].

La fundición mediante la técnica de moldes permanentes se utiliza para producir un volumen alto de piezas, debido a que el costo es elevado, generalmente la coquilla es de acero, fundido, latón, grafito, aleaciones refractarias y mecanizados por CNC (control numérico computacional). El producto que se obtiene de este proceso hierro se lo fábrica generalmente de aluminio y sus aleaciones, o de algún otro metal con punto de fusión relativamente bajo. A la fundición en molde permanente se los puede clasificar según la forma como es llenado, es decir se puede introducir la colada a presión atmosférica (por gravedad), a baja presión y a alta presión [13].

Una vez diseñado el modelo a ser fundido se procede con el diseño del molde en el cual se debe tener las consideraciones necesarias para definir el tamaño, el vertedero,

salidas de aire, entradas, líneas divisoras, núcleos, la cantidad de piezas a fundirse y otros aspectos como la línea de partición, ángulo de desmolde [13].

2.3.1. Temperatura

Los datos utilizados con respecto a la temperatura son especificaciones de la empresa para fundición de aluminio por gravedad en coquilla. La temperatura alcanzada por la coquilla (molde permanente) llega hasta un máximo de 500°C mientras que el material fundido alcanza una temperatura de 720° C. El punto de fusión del aluminio es de 660,3°C, mayor a esta temperatura se encuentra el metal en estado líquido, por ello el molde permanente debe estar a una temperatura elevada (420°C) para evitar un choque térmico, y también afectar de manera positiva en el enfriamiento y solidificación de la pieza colada. La variación de temperatura afecta en gran medida en las características de la pieza fundida, una variación incorrecta de las temperaturas provoca diferentes fallas en la pieza como: porosidades, rechupes, deformaciones.

2.3.2. Coquilla

Coquilla es un molde permanente metálico diseñado en dos secciones, para su funcionamiento se requiere de un mecanismo que permita abrir y cerrar con facilidad los moldes acoplándose entre sí, con precisión. La fundición en coquilla permite obtener piezas de buen acabado superficial y dimensionalmente se obtienen tolerancias cerradas, obteniendo piezas con medidas exactas [14].

Los moldes pueden ser de hierro o acero, para este proyecto se utiliza un molde de acero A36, estos son diseñados para realizar fundición en serie. La fundición en molde permanente es uno de los procesos ideales que ha perdurado a través del tiempo. Las condiciones del molde dependen de la manera en que se maniobra el mismo, su cierre y apertura, y la extracción de la pieza final.

Las dimensiones promedio de la coquilla son: (0,25x0,25x0,05) m, estas pueden variar centímetros dependiendo la dimensión de la pieza fundida. Este debe ser sujeto y desplazado para la apertura y cierre de las mitades que conforma el molde, esto es considerado para el diseño de un mecanismo el cual permita desplazar con facilidad el molde móvil por el operario que va a ejecutar el proceso.

2.3.3. Tiempo de solidificación

Sea que el fundido consista en un metal puro o en una aleación, la solidificación toma tiempo. El tiempo total de solidificación es el que se requiere para que el fundido se solidifique después del vertido. Este tiempo depende del tamaño y forma del fundido, en una relación empírica conocida como regla de Chvorinov, que establece lo siguiente [15]:

$$T_{TS} = C_m \left(\frac{V}{A} \right)^n \quad (\text{Ec. 2.7})$$

Donde:

TTS = tiempo de solidificación total (min)

V = Volumen de la colada (m^3)

A = Superficie de la colada en contacto con el molde (m^2)

n = cte = 2

C_m depende de las propiedades del molde y material de la colada, así como de las temperaturas a las cuales se van a realizar el proceso de colada, y puede calcularse mediante la siguiente fórmula [12].

$$C_m = \left[\frac{PmL}{Tm - To} \right]^2 \left[\frac{\pi}{4kpc} \right] \left[1 + \left(\frac{Ce(Tv - Tm)}{L} \right)^2 \right] \quad (\text{Ec. 2.8})$$

Donde:

T_m = Temperatura fusión de colada (K)

T_o = Temperatura inicial del molde (K)

ΔT_s = Sobrecalentamiento (K)

T_v = Temperatura de vertido (K)

L = Calor latente de fusión ($\frac{J}{kg}$)

k = Conductividad térmica del molde ($\frac{W}{m.k}$)

P = Densidad del molde ($\frac{kg}{m^3}$)

c = Calor específico del molde ($\frac{J}{kg.K}$)

P_m = Densidad del metal ($\frac{kg}{m^3}$)

C_e = Calor específico del metal ($\frac{J}{kg.K}$)

2.3.4. Parámetros técnicos del molde permanente

Los parámetros técnicos que se deben considerar en el diseño son:

-Transferencia de calor

-Presión metalostática del metal

-Contracción del metal

2.3.4.1. Transferencia de calor en la coquilla

Para ello se necesita un material el cual cumpla con características como: facilidad de obtención, resistencia al desgaste, resistencia a la abrasión, y buena resistencia a la compresión.

Cálculo del calor contenido en el metal fundido.

$$Q = m * L + mCp * (Tv - Tm) \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Donde:

Q = Calor que se debe disipar para la coquilla (W.s)

m = masa del metal fundido (kg)

L = Calor de solidificación $\left(\frac{J}{kg.K}\right)$

Cp = Calor específico en estado líquido $\left(\frac{W.s}{kg}\right)$

Tv = Temperatura vertido del aluminio (°C)

Tm = Temperatura de desmoldeo (°C)

$$Q = m * L + mCp * (Tv - Tm)$$

2.3.4.2. Presión metalostática

Para determinar la presión generada dentro de la coquilla cuando el material fundido empieza a solidificarse, utilizamos el principio de pascal. Esta presión se efectúa en todas las direcciones con una misma magnitud. Para el ejemplo se tomará las especificaciones de un molde permanente de una polea fabricada en la empresa [16].

$$\rho = \frac{m*g*h}{v} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

Donde:

P = Presión metalostática (N/m²)

m = masa de metal fundido (kg)

g = aceleración de la gravedad (9.8m/s²)

h = altura del paralelepípedo (0.22m)

v = volumen del paralelepípedo (1.092670*10⁻²m³)

2.3.4.3. Contracción del aluminio

La contracción es la disminución de volumen que experimenta la pieza fundida al solidificarse. Al verter el metal fundido en el molde ocupa el volumen del modelo que se utiliza para preparar. Al enfriarse el metal experimenta una contracción, disminuyendo el volumen final de la pieza fundida. Por lo tanto, el modelo se debe elaborar con un sobredimensionamiento, con el fin que compense la disminución debido a la contracción [1].

Cuando el metal fundido se vierte dentro del molde este experimenta una contracción, esta es limitada por la coquilla que actúa como una restricción para el metal fundido, generando un esfuerzo, este esfuerzo es igual a la dilatación térmica del material fundido, pero de signo contrario [16].

$$\sigma = a * E * (T_v - T_m) \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Donde:

σ = esfuerzo de compresión generado por la contracción (N/m^2)

a = coeficiente de dilatación térmica del aluminio ($23,9 * 10^{-6} \frac{1}{^\circ\text{C}}$)

E = módulo de elasticidad del aluminio ($70 * 10^9 \text{N/m}^2$)

T_v = temperatura de vertido del aluminio ($^\circ\text{C}$)

T_m = temperatura de desmoldeo ($^\circ\text{C}$)

2.4. Elementos mecánicos

El movimiento de la máquina se asemeja al de una prensa, siendo característico su desplazamiento lineal y su precisión. Está compuesta por diferentes elementos mecánicos como: guías, chumaceras, planchas, vigas.

Su propósito es sujetar, y desplazar la matriz usada en el proceso de fundición en coquilla.

Para el diseño mecánico se toma consideraciones teóricas, con el fin de ser cautelosos con procedimientos o detalles de la construcción del mecanismo.

2.4.1. Partes del mecanismo

La máquina cuenta con una estructura mecánica que le permite el desplazamiento y sujeción de la coquilla y la base para el panel de control. En la figura 4 podemos observar mecanismos que realizan esta tarea. Ver figura 4

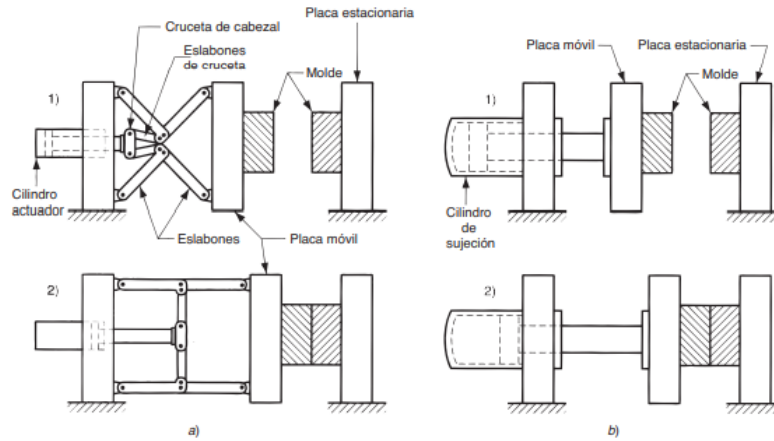


Figura 4. Diseños de sujeción: a) un diseño posible de sujeción de palanca: 1) abierta y 2) cerrada y b) sujeción hidráulica: 1) abierta y 2) cerrada [15].

2.4.1.1. Estructura mecánica

Esta estructura brinda estabilidad a los componentes, se diseña con elementos estructurales con una alta resistencia mecánica, elementos como: vigas, planchas de acero, platinas, elementos de unión. La estructura cuenta con soporte para el panel de control que se ubica de manera prudente para el accionamiento.

2.4.1.2. Columnas

Es un miembro estructural de la máquina que soporta cargas axiales de compresión, propenso a presentar fallas por inestabilidad elástica o pandeo. Suponiendo una carga concéntrica de gran intensidad estas fallarían por aplastamiento general del material, con la hipótesis de que son estables.

Al presentarse una carga de compresión gradualmente creciente, fallaría por deflexión lateral mejor conocida como pandeo. Producida por la inestabilidad de la varilla cuando alcanza una carga crítica. En la figura 5 podemos ver una carga (P) localizada en un componente a compresión, esta depende de la longitud (L) del elemento.

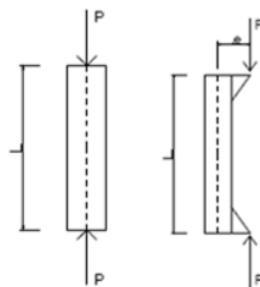


Figura 5. Columnas a compresión y deflexión [17].

Cuando se incrementa la longitud de una columna, disminuye su capacidad de soportar carga. Cuando la excentricidad es pequeña y la columna es corta, la flexión lateral es despreciable, comparada con el efecto de la compresión; por el contrario, al aumentar la longitud, una pequeña excentricidad puede producir un gran esfuerzo de flexión [17].

2.4.1.2.1. Radio de giro

Una columna tiende a pandearse con respecto al eje cuyo radio de giro y el momento de inercia son mínimos. El radio de giro se calcula con la siguiente fórmula:

$$r = \sqrt{\frac{I}{A}} \quad (\text{Ec. 2.12})$$

Donde:

R = El valor mínimo del radio de giro de la sección transversal (N/m^2)

I = El momento de inercia de la sección transversal, con respecto al eje para el que “ I ” es mínimo (mm^2)

A = El área de la sección transversal (mm^2)

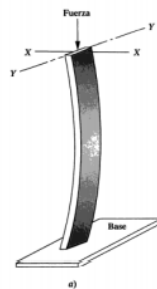


Figura 6. Pandeo de una columna [17].

2.4.1.2.2. Fijación de un extremo y longitud efectiva

Es la forma como se soportan los extremos de la columna, podemos encontrar tres formas de restricción:

-Articulada: Tener un extremo articulado significa que no existe desplazamiento en ninguna dirección, pero si puede rotar con referencia a uno de los extremos.

-Empotrada: Un extremo empotrado es sujetado contra la rotación en el soporte.

-Libre: El extremo superior se encuentra libre no tiene restricción y no está guiado.

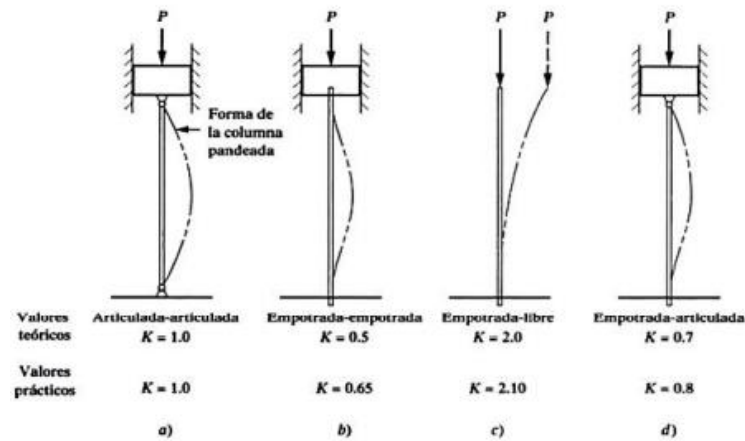


Figura 7. Formas de restricción de una columna; valores de k para obtener la longitud efectiva: a) restricción articulada, b) articulación empotrada, c) empotrada libre y d) empotrada articulada [17].

La forma de soportar ambos extremos de la columna afecta la longitud efectiva de la columna que se define con la siguiente ecuación:

$$L_e = K * L \quad (\text{Ec. 2.13})$$

Donde:

L = Longitud real de la columna. (m)

K = Constante que se muestra en la figura.

2.4.1.2.3. Relación de esbeltez

La relación de esbeltez es el cociente de la longitud efectiva de la columna entre su radio de giro mínimo.

$$\frac{L_e}{r_{min}} = \frac{K*L}{r_{min}} \quad (\text{Ec. 2.14})$$

2.4.1.2.4. Relación de esbeltez de transición

Depende del valor de la relación de esbeltez real de la columna que se analiza, comparado con la relación de esbeltez de transición o constante de columna C_c , que se define con la siguiente ecuación:

$$C_c = \frac{2\pi^2 E}{S_y} \quad (\text{Ec. 2.15})$$

Donde:

E = Modulo de elasticidad del material de la columna.

S_y = Resistencia de la fluencia del material

2.4.1.2.5. Carga crítica

La carga máxima que una columna puede soportar cuando está a punto de pandearse se llama carga crítica, P_{cr} . Cualquier carga adicional provocará que la columna se pandee y presente una deflexión lateralmente. Ver figura 8



Figura 8. Comportamiento de la carga crítica [17].

Para analizar columnas hay varios métodos, se tomó dos métodos para sus respectivos cálculos.

La forma de Euler para columnas largas y esbeltas.

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EA}{\frac{KL^2}{r}} \quad (\text{Ec. 2.16})$$

La fórmula de J.B. Johnson para columnas cortas.

Si $R_e < C_c$ columna es corta, emplearla fórmula de J.B. Johnson

$$P_{cr} = ASy \left[1 - \frac{Sy \left(\frac{KL}{r}\right)^2}{4\pi^2 E} \right] \quad (\text{Ec. 2.17})$$

2.4.1.2.6. Factor de diseño y carga admisible

Al ocurrir una falla con una carga límite y no con un esfuerzo, el concepto de diseño es un factor importante al momento de aplicar a la carga crítica. Es garantizar que el diseño de la columna al momento de aplicar una carga sea seguro, y que sea bastante menor que la carga crítica de pandeo [17].

Factor de diseño es:

Columnas de máquinas $N = 3$

Columnas estacionarias $N = 2$

Por lo tanto, la ecuación de la carga admisible es:

$$P_{Admisible} = \frac{P_{cr}}{N} \quad (\text{Ec. 2.18})$$

Donde:

P_{cr} = carga crítica de pandeo. (N)

$P_{Admisible}$ = Carga admisible. (N)

P = carga real aplicada. (N)

N = Factor de diseño.

2.4.2. Dimensionamiento

El dimensionamiento se basa en el tamaño y peso de la matriz, también en la distancia de seguridad del operario para reducir riesgos en la fundición. El valor de la carga a soportar será determinado por método analítico de puntos críticos. Se considera también las dimensiones de los elementos hidráulicos que se usan.

La geometría de la máquina se comienza a definir por el mecanismo de sujeción del molde, al ser una producción en serie la empresa maneja dimensiones de matriz de: (0,25*0,25*0,25) m hasta (0,44*0,44*0,50) m. Así se propone una platina de sujeción que tenga dimensiones de (0,60 * 0,50) m de ancho y de alto respectivamente para utilizar varias dimensiones de matrices.

La dimensión mencionada limita concretamente el ancho de la máquina. Para delimitar el largo se toma en cuenta el espesor de la matriz, la dimensión del cilindro hidráulico y su recorrido. Cada uno de los antes mencionados cuentan con una base la cual se propone en la parte de construcción, por ello se propone un largo de 1,6m como se observa en la figura 9. Definiendo las dimensiones de la máquina en: (1,6 * 0,55 * 0,61) m

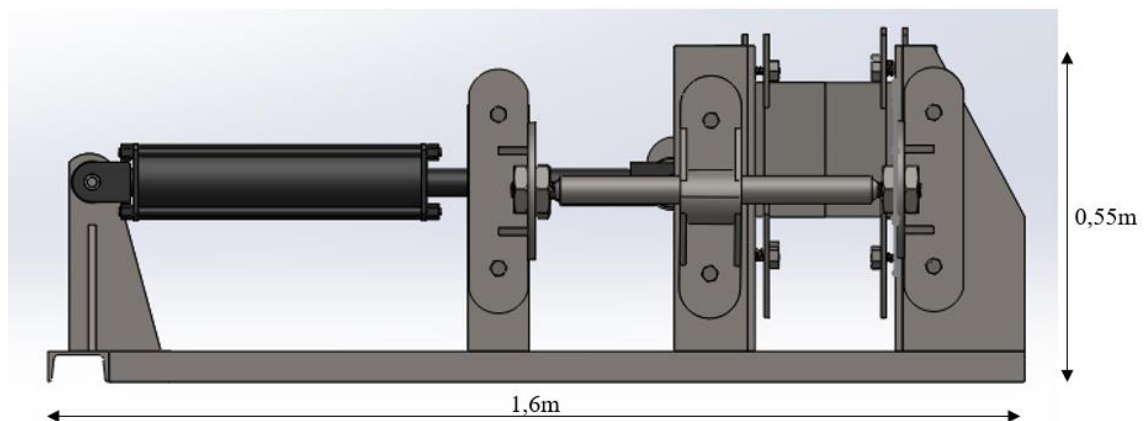


Figura 9. Dimensionamiento de la máquina

2.4.3. Selección del material

El material es determinado con el diseño y con la disposición en el mercado, ya que existe material estructural utilizado por la empresa que puede ser útil para la construcción

de la máquina. Esta va de la mano con el dimensionamiento y diseño, para que los valores de esfuerzos y deformaciones no culmine en un fallo del material.

2.4.4. Puntos críticos

Se determina la fuerza que está interactuando directamente con la pieza a diseñar. Se pueden definir varios casos con diferentes cargas. En la estructura propuesta se encuentra 3 puntos críticos, siendo dos de ellos, los extremos del cilindro hidráulico. El último punto que se considera crítico es el soporte de las guías de la máquina, se considera diseño de columnas para este punto.

2.4.5. Tipos de Sujeción

Los elementos de sujeción son de mucha importancia en la construcción de máquinas o dispositivos.

2.4.5.1. Soldadura

Soldar es unir dos piezas por lo general metálicas de forma permanente, esto se produce aplicando calor a un material de aportación que llega a su punto de fusión, y este material fundido se une molecularmente a las partes.

2.4.5.2. Sujeción por pernos

La sujeción por pernos permite uniones desmontables, una mayor velocidad en la construcción, y el beneficio al ser desmontable, es su facilidad en funciones de mantenimiento. Los tornillos pueden ser de tres clases: los ordinarios o tornillos negros, los calibrados o ajustados y los de alta resistencia.

Al soportar cargas elevadas generadas por el gato hidráulico, la estructura contará con pernos de alta resistencia, estos son apretados fuertemente con el fin de crear una gran reacción de rozamiento entre las superficies en contacto y aprovechar esta reacción de rozamiento para la transmisión de los esfuerzos.

2.4.5.2.1. Resistencia del perno

El valor llamado carga de prueba es el que se utiliza para el diseño. La carga de prueba es la carga máxima (fuerza) que un perno puede soportar sin sufrir una deformación permanente. Las especificaciones SAE se muestran en la siguiente tabla. Los grados de los pernos se numeran de acuerdo con las resistencias a la tensión.









Grado SAE num.	Intervalo de tamaños, inclusive, pulg	Resistencia de prueba mínima, * kpsi	Resistencia mínima a la tensión, * kpsi	Resistencia mínima a la fluencia, * kpsi	Material	Marca en la cabeza
1	$\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2}$	33	60	36	Acero de bajo o medio carbono	
2	$\frac{1}{2} - \frac{3}{4}$	55	74	57	Acero de bajo o medio carbono	
	$\frac{7}{8} - 1\frac{1}{2}$	33	60	36		
4	$\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2}$	65	115	100	Acero de medio carbono, estirado en frío	
5	$\frac{1}{4} - 1$	85	120	92	Acero de medio carbono, T y R	
	$1\frac{1}{8} - 1\frac{1}{2}$	74	105	81		
5,2	$\frac{1}{4} - 1$	85	120	92	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	
7	$\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2}$	105	133	115	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8	$\frac{1}{4} - 1\frac{1}{2}$	120	150	130	Acero de aleación de medio carbono, T y R	
8,2	$\frac{1}{4} - 1$	120	150	130	Acero martensítico de bajo carbono, T y R	

Tabla 1: Especificaciones SAE para pernos de acero [18].

La siguiente tabla indica las equivalencias aproximadas entre los grados SAE, ASTM y métricos de aceros para tornillos.

Grado SAE	Grado ASTM	Grado métrico
J429 Grado 1	A307 Grado A	Grado 4,6
J429 Grado 2	-	Grado 5,8
J429 Grado 5	A449	Grado 8,8
J429 Grado 8	A354 Grado BD	Grado 10,9

Tabla 2: Equivalencias norma SAE y ASTM [17].

2.4.6. Construcción

Definidas las cargas que soporta la máquina, se adquiere los elementos que cumplan factores de seguridad. Se revisa los planos correspondientes, que deben mostrar: dimensiones, tolerancias geométricas, forma, taladros. Utilizando un plano de conjunto y los respectivos planos de taller se determina los procesos de cada elemento, detallados en una tabla de cada elemento que muestra su respectivo proceso.

En la construcción de la máquina, se realizan varias operaciones: trazar, cortar, limar, taladrar, pintar, doblar, soldar, roscar, para obtener la forma final de los elementos.

Se utilizan varias herramientas en el proceso, estas son:

Máquinas	Herramientas
Suelda eléctrica (SMAW)	Limas
Prensa	Entenalla
Torno	Machos
Taladro de columna	Brocas
Compresor	Flexómetro
Cortadora plasma	Reglas
	Tiza
	Pistola de pintura
	Cuchillas

Tabla 3: Máquinas y herramientas utilizadas.

Los elementos de la estructura y su cantidad se especifican en la tabla 4:

Elementos	Cantidad
Plancha para matriz	2
Soporte guía	2
Soporte parte móvil	1
Perfil C	4
Guía	2
Base guía	2
Soporte parte fija	2
Platinas	2
Soporte gato	1
Tubo cuadrado	2

Tabla 4: Elementos de la estructura.

2.4.6.1. Plancha para matriz

Esta plancha permite la sujeción de las dos mitades de la coquilla, un parte fija y la otra móvil. Cuenta con canales para la adaptación a diferentes dimensiones de las matrices.

Figura 10. Plancha para matriz (ver anexo 1).

Plan de fabricación - plancha para matriz				
N°	Proceso	Máquina	Herramienta	Parámetros
1	Trazado		Escuadra, reglas, rayador, tiza	
2	Corte	Cortadora de plasma		

3	Limado	Entenalla	Limas de desbaste, limas de acabado	
4	Taladrado	Taladradora de columna		
5	Pintado		Pistola	Pintura anticorrosiva Color gris

Tabla 5: Proceso de construcción – plancha para matriz.

2.4.6.2. Soporte guía

El soporte de la guía está ubicado en la base tipo columna y restringe todos los grados de libertad de la guía.

Figura 11. Soporte guía (ver anexo 1).

Plan de fabricación - soporte guía				
N°	Proceso	Máquina	Herramienta	Parámetros
1	Trazado		Escuadra, reglas, rayador, tiza	
2	Taladrado	Taladradora de columna		
3	Roscado	Torno	Macho M20	Velocidad = 120 RPM Avance = manual
4	Soldado	Suelda eléctrica SMAW	Electrodo 6011	150 A, CD

5	Limado	Entenalla	Limas de desbaste, limas de acabado	
6	Pintado		Pistola	Pintura anticorrosiva Color gris

Tabla 6: Proceso de construcción: soporte guía.

2.4.6.3. Soporte móvil

El soporte móvil transmite la fuerza del cilindro a través de un pasador y un cojinete de deslizamiento, esta a su vez está unida a la “plancha para matriz”.

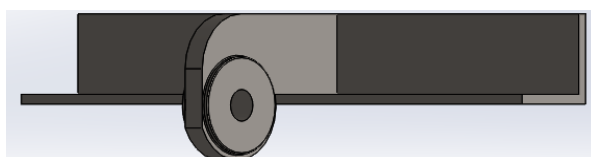


Figura 12. Soporte móvil (ver anexo 1).

Plan de fabricación - soporte móvil				
N°	Proceso	Máquina	Herramienta	Parámetros
1	Trazado		Escuadra, reglas, rayador, tiza	
2	Corte	Cortadora de plasma		150 A, CD
3	Doblado	Prensa	Matriz	$\leq 90^\circ$
4	Soldado	Suelda eléctrica SMAW	Electrodo 6011	150 A, CD
5	Limado	Entenalla	Limas de desbaste, limas de acabado	
6	Pintado		Pistola	Pintura anticorrosiva Color gris

Tabla 7. Proceso de construcción: soporte móvil.

2.4.6.4. Perfil en C

Plan de fabricación - bases estructura				
N°	Proceso	Máquina	Herramienta	Parámetros
1	Corte	Cortadora plasma	Escuadra, reglas, tiza	
2	Limado	Entenalla	Limas de desbaste, limas de acabado	
3	Pintado		Pistola	Pintura anticorrosiva Color gris

Tabla 8. Proceso de construcción: bases estructura.

2.4.6.5. Guía

Plan de fabricación – guía				
N°	Proceso	Máquina	Herramienta	Parámetros
4	Limado	Entenalla	Limas de desbaste, limas de acabado	
5	Pintado		Pistola	Pintura anticorrosiva Color gris

Tabla 9: Proceso de construcción: guía.

2.4.6.6. Base guía

Existe dos bases guía, formada por una placa doblada a 90° y orificios alargados para la calibración de la guía.

Figura 13. Base guía (ver anexo 1).

Plan de fabricación - base guía				
N°	Proceso	Máquina	Herramienta	Parámetros
1	Trazado		Escuadra, reglas, rayador, tiza	
2	Corte	Cortadora de plasma		150 A, CD
3	Doblado	Prensa	Matriz	$\leq 90^\circ$
4	Limado	Entenalla	Limas de desbaste, limas de acabado	
5	Pintado		Pistola	Pintura anticorrosiva Color gris

Tabla 10: Proceso de construcción: base guía.

2.4.6.7. Soporte parte fija

El “soporte parte fija” de igual manera que la base guía vista anteriormente cuenta con las mismas características, su forma cambia para la adaptación a la parte fija de la máquina.

Figura 14. Soporte parte fija (ver anexo 1).

Plan de fabricación - soportes parte fija				
N°	Proceso	Máquina	Herramienta	Parámetros
1	Trazado		Escuadra, reglas, rayador, tiza	
2	Corte	Cortadora de plasma		150 A, CD
3	Limado	Entenalla	Limas de desbaste, limas de acabado	
4	Pintado		Pistola	Pintura anticorrosiva Color gris

Tabla 11: Proceso de construcción: soporte parte fija.

2.4.6.8. Platinas

Plan de fabricación – platinas				
N°	Proceso	Máquina	Herramienta	Parámetros
1	Trazado		Escuadra, reglas, rayador, tiza	

2	Corte	Cortadora de plasma		
3	Doblado	Prensa	Matriz	
4	Soldado	Suelda eléctrica SMAW	Electrodo 6011	150 A, CD
5	Pintado		Pistola	Pintura anticorrosiva Color gris

Tabla 12: Proceso de construcción: platinas.

2.4.6.9. Soporte gato hidráulico

El soporte situado al extremo de la base consta de un orificio en el que se realiza el vínculo con el gato hidráulico. Su forma triangular es empotrada a la base de la estructura por medio de soldadura.

Figura 15. Soporte gato hidráulico (ver anexo 1).

Plan de fabricación - soporte gato hidráulico				
N°	Proceso	Máquina	Herramienta	Parámetros
1	Trazado		Escuadra, reglas, rayador, tiza	
2	Corte	Cortadora de plasma		150 A, CD
3	Soldado	Suelda eléctrica SMAW	Electrodo 6011	150 A, CD
4	Limado	Entenalla	Limas de desbaste, limas de acabado	
5	Pintado		Pistola	Pintura anticorrosiva Color gris

Tabla 13: Proceso de construcción – soporte gato hidráulico.

2.4.6.10. Tubo cuadrado

Plan de fabricación - tubo cuadrado				
N°	Proceso	Máquina	Herramienta	Parámetros
1	Trazado		Escuadra, flexómetro, tiza	
2	Corte	Cortadora de plasma		150 A, CD

5	Limado	Entenalla	Limas de desbaste, limas de acabado	
6	Pintado		Pistola	Pintura anticorrosiva Color gris

Tabla 14: Proceso de construcción: tubo cuadrado.

2.4.6.11. Soporte parte móvil

Figura 16. Soporte parte móvil (ver anexo 1).

Plan de fabricación - soportes parte móvil				
N°	Proceso	Máquina	Herramienta	Parámetros
1	Trazado		Escuadra, reglas, rayador, tiza	
2	Corte	Cortadora de plasma		150 A, CD
3	Limado	Entenalla	Limas de desbaste, limas de acabado	
4	Pintado		Pistola	Pintura anticorrosiva Color gris

Tabla 15: Proceso de construcción: soporte parte móvil.

2.4.6.12. Plato bocín

Este es el soporte central de la guía, en este se limita el desplazamiento rectilíneo. Su resistencia por rozamiento con la guía debe ser mínimo.

Figura 17. Plato bocín (ver anexo 1).

Plan de fabricación - plato bocín				
N°	Proceso	Máquina	Herramienta	Parámetros
1	Trazado		Escuadra, reglas, rayador, tiza	
2	Taladrado	Taladradora de columna		

3	Roscado	Torno	Macho M20	Velocidad = 120 RPM Avance = manual
4	Soldado	Suelda eléctrica SMAW	Electrodo 6011	150 A, CD
5	Limado	Entenalla	Limas de desbaste, limas de acabado	
6	Pintado		Pistola	Pintura anticorrosiva Color gris

Tabla 16: Proceso de construcción: plato bocín.

2.5. Panel de control

En automatización de un proceso es el tablero en donde se encuentran montados varios elementos eléctricos que son necesarios para: conectar, maniobrar, proteger, señalar y medir una tarea específica en el sistema eléctrico. También cumple la función de proteger a los elementos contra: humedad, corrosión y ruido. Se construye debido a la necesidad de darle las instrucciones de movimiento al cilindro y recibir señales de mandos locales, mediante un PLC que permite la automatización [17].

2.5.1. Componentes de automatismo

Los automatismos están compuestos por tres partes fundamentales, como son la obtención de señales mediante sensores, el procesamiento de dichas señales por lógicas de control y la ejecución de las respuestas mediante los actuadores. Ver figura 18

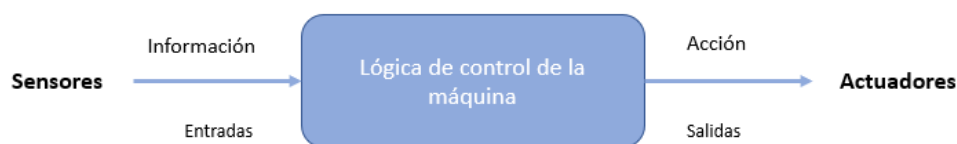


Figura 18. Componentes de un automatismo [19].

2.5.2. Elementos de control

Los elementos de la parte de control están formados por sensores, reguladores e indicadores. Estos proveen de información del sistema que determina el comportamiento del actuador. Además, brinda de información relevante al operario para tomar decisiones en el proceso. Estos elementos son:

2.5.3. Contactador

Aparato de conexión con una sola posición de reposo (habitualmente con contactos principales normalmente abiertos). Accionado a distancia y capaz de establecer, soportar

e interrumpir corrientes en condiciones normales del circuito, incluidas las sobrecargas en servicio [20].

2.5.4. Pirómetro

Instrumento para medir temperaturas elevadas, relaciona la energía calórica emitida por un cuerpo con su temperatura emitiendo una señal eléctrica mostrada en un panel digital. Es robusto y de fácil instalación.

2.5.5. Breaker

El breaker es el encargado de la protección del PLC en caso de sobre corrientes o sobre cargas. Permite la desenergización del sistema, para realizar el mantenimiento.

2.5.6. Termocupla

Es un sensor de temperatura comúnmente usado en la industria, existen varios tipos por la temperatura que puede medir y su material (ver tabla 17). Cuenta con dos alambres de distinto material unidos en un extremo (soldado), al aplicar temperatura en la unión de los metales se genera un voltaje (efecto Seebeck) del orden de los milivoltios el cual aumenta a medida aumenta la temperatura [20].

Tc	Cable + Aleación	Cable - Aleación	°C	Rango (Mín, Máx)mV
J	Hierro	cobre/nickel	(-180, 750)	42,2
K	nickel/aluminio	nickel/aluminio	(-180, 1372)	54,8
T	Cobre	cobre/nickel	(-250, 400)	20,8
R	87% Platino 13% Rhodio	100% platino	(0, 1767)	21,09
S	90% Platino 10% Rhodio	100% platino	(0, 1767)	18,68
B	70% Platino 30% Rhodio	94% Platino 6% Rhodio	(0, 1820)	13,814

Tabla 17. Tipos de termocuplas y sus características [20].

2.5.7. Final de Carrera

Es un sensor que detecta la posición, se acciona como un interruptor. Detecta la posición de un elemento móvil mediante el accionamiento mecánico. La señal emitida es binaria, es decir, detecta si el objeto está en la posición determinada o no.

2.5.8. Elementos de mando

Acciona una etapa del sistema, estos son ejecutados por el operario. Se encuentran de manera visibles para manipularlos. Cuenta con una correcta distribución en el panel para

una fácil interpretación. Estos son: pulsador de encendido, pulsador de paro, pulsador de paro de emergencia. Cada uno consta de características diferente y debe estar correctamente etiquetado para su identificación.

2.5.9. Indicadores

Los indicadores son luces piloto, estas indican de manera visual el encendido de una etapa del proceso. Mientras el equipo esté accionado la luz piloto está encendida demostrando que hay una ejecución en proceso.

2.5.10. Tablero eléctrico

El tablero eléctrico es utilizado para la distribución de los elementos eléctricos, construido en lámina de acero, para resistir esfuerzos mecánicos, eléctricos y térmicos. Atenúa los efectos de la humedad y corrosión.

2.5.11. Elementos auxiliares para instalación

Son diferentes tipos de conductores eléctricos para el transporte de la energía, y una operación sencilla en el montaje del panel, los detallamos en la siguiente tabla:

Elemento	Especificaciones
Cables	hiperflex, flex
Enchufe	Tres polos
Toma clavija empotrable	Tres polos
Bornera	
Espadines	
Terminales	En U, punteras
Canaleta ranurada	
Espiral de protección	

Tabla 18: Elementos auxiliares para la instalación.

2.5.12. Controlador lógico programable (PLC)

La definición según “Nema” (National Electrical Manufacturers Association) un controlador programable es: "Un aparato electrónico operado digitalmente, que usa una memoria programable para el almacenamiento interno de instrucciones para implementar funciones específicas, tales como lógica, secuenciación, registro y control de tiempos, conteo y operaciones aritméticas para controlar, a través de módulos de entrada/salida digitales (ON/OFF) o analógicos (1-5 VDC, 4-20 mA.), varios tipos de máquinas o procesos.

2.6. Software

Se asocian dos tipos de software en un autómata; el firmware o sistema operativo ejecuta las órdenes del programa de usuario y vigila el correcto funcionamiento del equipo. El otro es el software de edición y depuración de programas, aquí se introduce y modifica el código a través desde una PC o una consola de programación. Entonces en la unidad de programación se escribe el programa en un determinado lenguaje y se transfiere al PLC, este a través del firmware interpreta el código y ejecuta el programa [21].

2.6.1. Programas de aplicación

Los programas de aplicación que crean los usuarios están orientados a ejecutar, a través del controlador, tareas de automatización y control. Para ello, el usuario escribe el programa en el lenguaje de programación que mejor se adapte a su trabajo y con el que sienta poseer un mejor dominio. El conjunto de programas que realizan funciones operativas internas del controlador, incluyendo los traductores de lenguaje, reciben la denominación de programas del sistema o software del sistema [20].

2.6.2. Lenguaje de programación en PLC's

En la actualidad existe un sin número de softwares de programación, ya que cada fabricante diseña su software. Sin embargo, existe lenguajes con mayor difusión a nivel mundial, estos son:

- Lenguaje de contactos o Ladder
- Lenguaje Booleano
- Diagrama de funciones

CAPÍTULO 2

METODOLOGÍA 3.1. MODELO DE INVESTIGACIÓN

Este capítulo describe el desarrollo utilizado para implementar los elementos de la máquina, así como sus respectivos diseños. Empieza por el desarrollo de la casa de la calidad, en la que se atiende las necesidades de la empresa para lograr un diseño acertado. Seguido de cálculos analíticos para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina, el diseño y elección del material. A su vez esto es verificado por simulaciones de puntos críticos mediante Solidworks.

3.1.1. Casa de la calidad

El despliegue de la función de calidad (o QFD, por las siglas inglesas de Quality Function Deployment) es un método de diseño de productos y servicios que recoge la voz del cliente y la traduce, en pasos sucesivos, a características de diseño y operación que satisfacen las demandas y expectativas del mercado. En el origen del QFD está la denominada matriz de la calidad, que es en esencia una tabla que relaciona la voz del cliente con los requerimientos que la satisfacen. La matriz de la calidad suele desplegarse para dar lugar a otras matrices que permiten hacer operativa a la voz del cliente [22] (ver anexo 2).

3.1.2. Diagrama funcional

Se determina las funciones principales que la máquina realiza para satisfacer las necesidades del consumidor. Ordenadas de izquierda a derecha en el orden cronológico que se realiza la operación. Ver figura 19

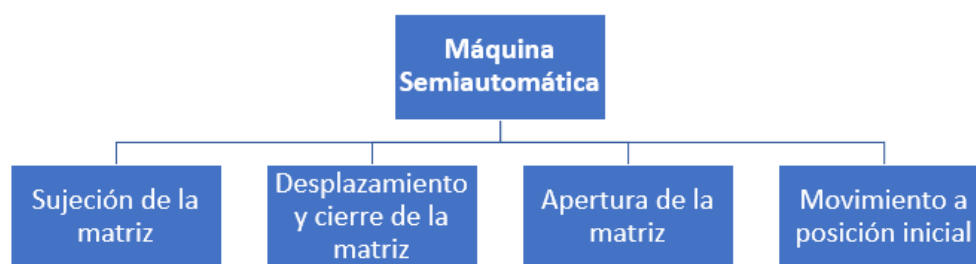


Figura 19. Diagrama funcional.

3.1.3. Descomposición funcional

La descomposición funcional muestra las principales: características, requerimientos, o subproceso que tienen las funciones principales. En la figura 20 se observa las especificaciones que tendrá cada proceso principal.



Figura 20. Descomposición funcional.

3.1.4. Análisis funcional

Es un esquema gráfico que indica las etapas que debe realizar la máquina, cada etapa cuenta con entradas y salidas. Las entradas son los requisitos o condiciones que debe cumplirse para la ejecución, y las salidas son los resultados después de ser ejecutada. En este proceso la salida de una etapa junto con otras señales son la entrada de la siguiente. El análisis funcional permite dividir las funciones principales en apartados más pequeños brindando más información del proceso. Ver figura 21

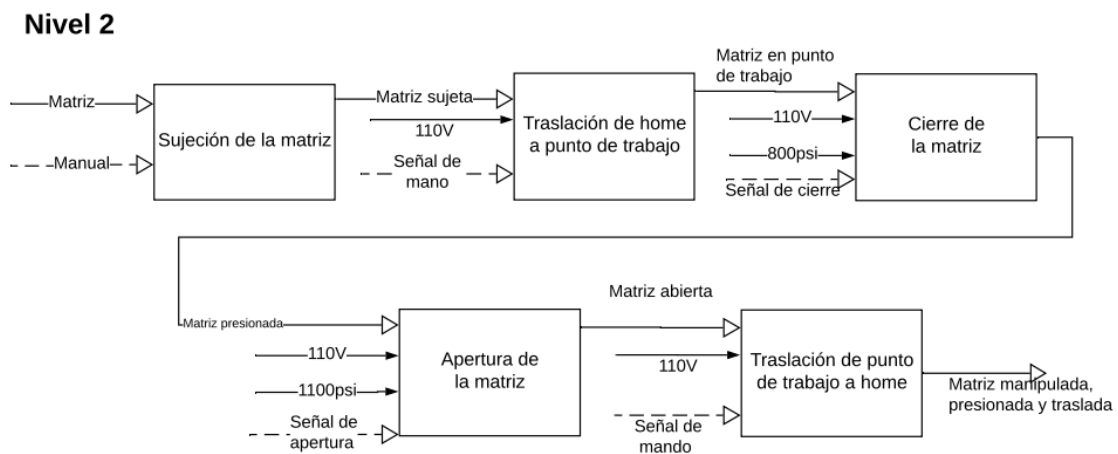


Figura 21. Descomposición funcional nivel 2.

3.1.5. Matriz morfológica

Determinados los parámetros que debe cumplir la máquina, se identifica las funciones más relevantes para proponer alternativas que lo cumplan. En la matriz morfológica se muestran alternativas que cumplan con los parámetros o requisitos antes vistos. Presenta dos o más alternativas para cada función que se desea cumplir. Se analiza las variantes y se determina la solución más óptima.

3.1.5.1. Sujetar la matriz

El propósito del mecanismo es afirmar la matriz a una estructura, que transmita el desplazamiento de la coquilla y aguante su peso. Otra condición importante es el tolerar temperaturas de hasta 420°C ya que esta estructura está en contacto directo con la matriz.

Ver figura 22

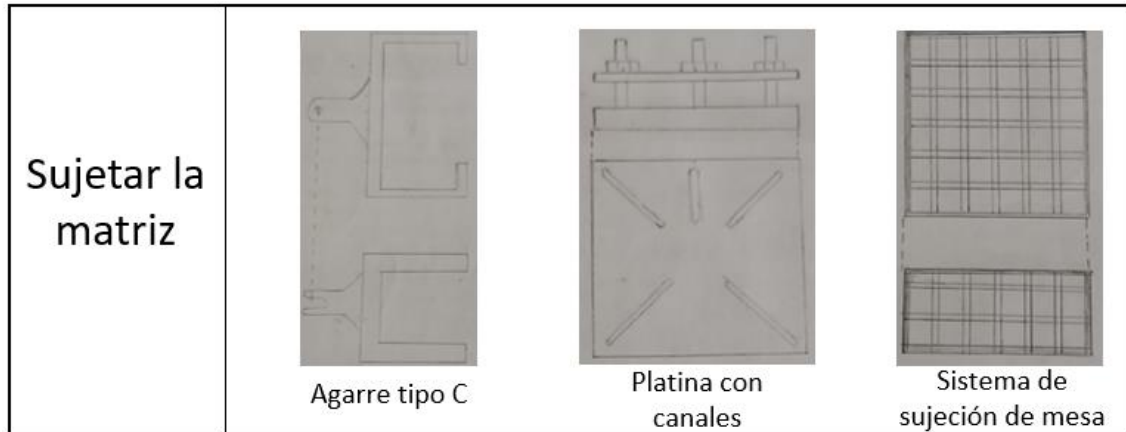


Figura 22. Alternativas para sujetar la matriz.

3.1.5.2. Mecanismo de desplazamiento

El mecanismo de desplazamiento debe generar un movimiento rectilíneo, requiere ser preciso y contrarrestar la fuerza de presión metalostática generada en la fundición. Este se fija a la estructura principal de la máquina. Ver figura 23

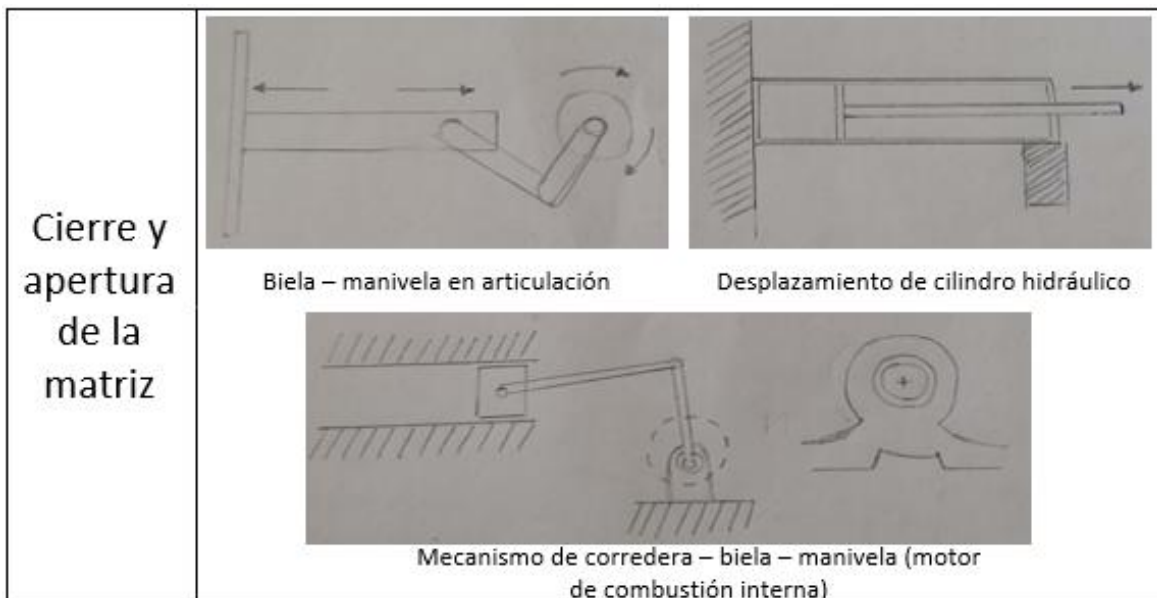


Figura 23. Alternativas para el mecanismo de desplazamiento.

3.1.5.3. Fuente de energía de potencia

La elección de la fuente de energía depende de las fuentes disponibles en la empresa, y esta es resultante de una elección conjunta de anteriores parámetros. Ver figura 24



Figura 24. Alternativas de la fuente de energía de la máquina

3.1.5.4. Tipo de control

Para elegir el tipo de control implementado se considera el proceso básico que genera la máquina (entradas, ejecución, salidas). Así se determina si es necesario una retroalimentación para la ejecución de movimiento. Como entrada se considera al molde permanente sujeto a la máquina, la ejecución es el desplazamiento del molde y la activación de las resistencias, y la salida es la pieza terminada.

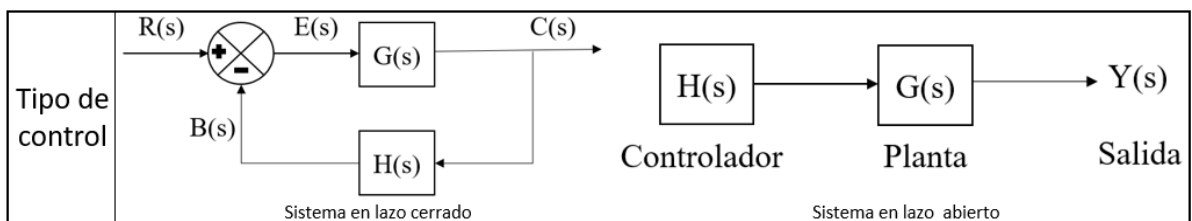


Figura 25. Alternativas tipo de control.

3.1.5.5. Desplazamiento lineal

Se busca un mecanismo que permita limitar el movimiento, y asegure el correcto funcionamiento de la máquina. Ver figura 26

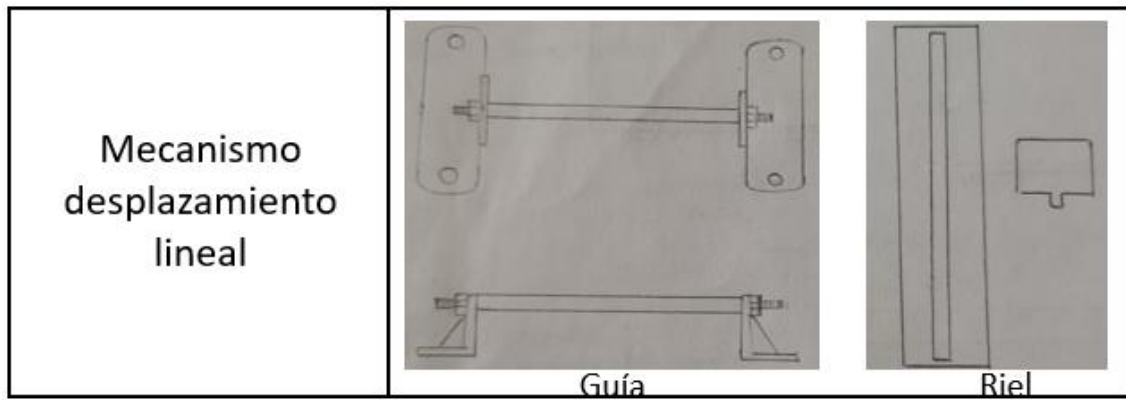


Figura 26. Alternativas para efectuar el desplazamiento lineal.

3.1.6. Elección de variantes

En anteriores apartados se presentaron varias opciones para definir la construcción de la máquina. Esto concluye en la elección de un sujetador con canales para ajustarse a diferentes tamaños de la matriz, la una unidad de potencia hidráulica para la ejecución del actuador que a su vez está limitado su trayectoria lineal por guías. El sistema de control elegido es en lazo abierto este dirigido desde un panel de control. Ver figura 27

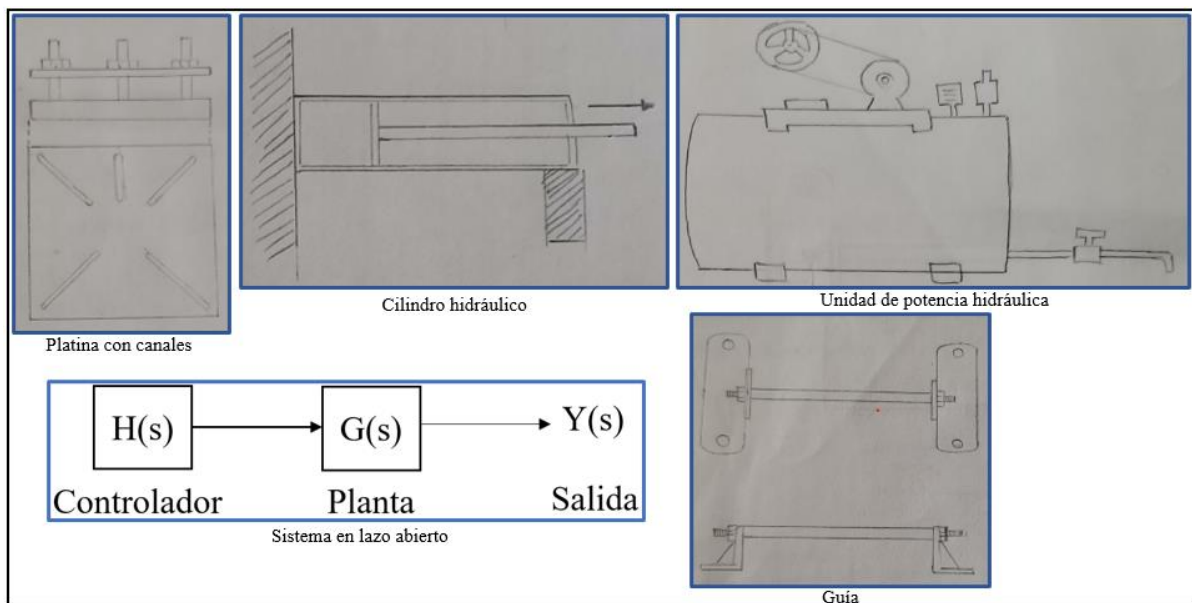


Figura 27. Selección de variantes (ver anexo 2).

3.1.7. Análisis estructural de la máquina

Las variables y los parámetros que se toman en cuenta para la construcción de la máquina son:

Variables y parámetros en el diseño	
Estructura:	Es el cuerpo principal de la máquina que consta del cilindro hidráulico y el mecanismo de sujeción en donde se realiza el trabajo
Tipo de prensa hidráulica:	Se elige una prensa hidráulica automática tipo H-2 columnas, genera mayores presiones con una estructura más pequeña a comparación con las prensas tipo C.
Puntos de suspensión:	Indica la cantidad de cilindros que se disponen para el trabajo.
El tonelaje(presión):	Se determina por el trabajo a realizar, es decir por los parámetros de fundición.
Cilindro hidráulico:	Determinado por el diámetro, fuerza, recorrido y facilidad de uso.
Presión máxima del sistema:	Depende de la fuerza máxima que maneje el sistema.
Motor eléctrico:	Se elige uno basado en los caballos de fuerza que necesita para realizar el trabajo.

Tabla 19: Variables y parámetros en el diseño.

Según la empresa “Sistemas mecánicos y metalúrgica (SMO)” para el diseño de la máquina se define que esta debe cumplir con las siguientes características generales: El objetivo de la empresa es fabricar una máquina tipo prensa, por lo que se va a diseñar con materiales de fácil acceso, teniendo en cuenta que los costos de estos deben ser los más bajos posibles. Debido a que el cierre debe ser preciso, el mecanismo de desplazamiento debe tener tolerancias mínimas, para asegurar un producto homogéneo.

Al determinar el tamaño de la prensa hidráulica, se considerarán medidas ergonómicas. Esto influye en la operación de la máquina, que permite al trabajador cumplir su labor en condiciones óptimas que precautelen su bienestar. Así las piezas son diseñadas con la cualidad de ser armadas y desarmadas por el operario, así los operadores pueden realizar el mantenimiento de las piezas de forma fácil y segura. En el “tabla 20” se indica los parámetros proporcionados por la empresa, los cuales se tiene en cuenta al calcular cada parte de este diseño.

Característica	Descripción del requisito
Función de la máquina	Sujetar y cerrar un molde permanente de manera sencilla, soportando la temperatura de la matriz al colar aluminio.
Material	El molde permanente está echo de acero ASTM A36 que soporta la temperatura del aluminio líquido hasta su solidificación.
Geometría	La máquina va a manipular matrices con dimensiones de: (0,25*0,25*0,25)m hasta (0,44*0,44*0,50)m
Fuerza	Se determina la fuerza la cual debe ejercer para contrarrestar la presión metalostática generada en la fundición.

Energía	Una fuente trifásica para alimentar dos bombas que generan una salida de 1000 psi.
Ergonomía	Para la disminución de carga física en el operario, el cierre y apertura de la matriz se acciona con un panel de control.
Costo	Se fabrica con componentes de bajo costo sin descuidar la calidad y haciendo uso de material reciclado de la empresa.
Mantenimiento	Se tiene en cuenta el fácil acceso a las partes mecánicas por el operario, generando así un fácil mantenimiento

Tabla 20: Requisitos de la máquina.

3.1.7.1. Puntos críticos de la estructura

Se reduce el cálculo de toda la parte estructural a cuatro puntos específicos, ya que en estos se originaría en primera instancia una falla mecánica.

3.1.7.1.1. Pasador bocín

Las superficies del pasador y el orificio están sometidos a un esfuerzo de contacto directo, se presenta siempre que dos superficies se presionan entre sí. Este esfuerzo tiende a aplastar el orificio o el pasador en vez de cortarlo. El esfuerzo de contacto es normal, compresivo y se calcula [23]:

$$\sigma_x = \frac{P}{A}$$

Considerando la fuerza máxima ejercida por el cilindro (32 MPa) y el área asignada para el pasador (300*1924) mm, se usa el acero de aleación de medio carbono. Dando como resultado un factor de seguridad de:

$$N = \frac{917}{300} = 28,7$$

3.1.7.1.2. Columna diseñada por pandeo

Se encuentra la razón de esbeltez, el factor que determina si una columna es corta o larga.

$$S_r = \frac{l_{ef}}{k} \quad (\text{Ec. 2.19})$$

El valor de k está dado por la geometría de la pieza y es 2,31 entonces la razón de esbeltez es igual a:

$$S_r = \frac{388 * 2,4}{2,31} = 403,12$$

Con este factor se determina que la pieza se comporta como una columna larga, la fijación de la columna es “empotrado-libre” ya que soporta una fuerza y un momento en su base mientras que en el otro extremo no controla el movimiento ni en “x”, ni en “y”. La ecuación para este tipo de columnas es:

$$\frac{P_{cr}}{A} = \frac{\pi^2 * E}{4 S_r^2}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 200GPa}{4 * (403,12)^2} * 800mm^2 = 2,43 GPa$$

Para el diseño se determina un factor de seguridad N=3 que es lo recomendable para estructuras mecánicas. De esta forma se obtiene la carga permisible:

$$P_{admissible} = \frac{P_{cr}}{N} = 810 MPa$$

3.1.7.1.3. Tornillos

En el punto crítico se analiza por cortante directo, este tipo de carga ocurre principalmente en conexiones con pernos, atornilladas o remachadas. El cortante directo ocurre en situaciones donde no está presente la flexión. Las juntas atornilladas y remachadas son de cortante simple cuando se unen únicamente dos piezas planas [23].

Se calcula:

$$\tau_{xy} = \frac{P}{A_{corte}} \quad (\text{Ec. 2.20})$$

$$\tau_{xy} = \frac{1142,18N}{\pi*(16mm)^2} = 1,42 MPa$$

Se determina que los tornillos de acero no fallan por cortante directo.

3.1.8. Datos del proceso de fundición

3.1.8.1. Presión metalostática

La presión metalostática indica la fuerza que debe contrarrestar el mecanismo para que el cierre del molde no sea interrumpido. Esta carga depende de las propiedades del metal fundido(aluminio) y la matriz. También depende de la altura al verter el material fundido, la cual es una variante en fundición por gravedad que para estos cálculos tiene el valor de 0.22m.

$$\rho = \frac{m*g*h}{v} \quad (\text{Ec. 2.10})$$

$$\rho = \frac{1.287kg * 9.81 \frac{m}{s^2} * 0.22m}{1.092670 * 10^{-2}m^3}$$

$$\rho = 254.2033 \frac{N}{m^2}$$

Esta presión corresponde a la presión de cierre de la máquina, un parámetro fundamental para la selección del actuador

3.1.8.2. Contracción del aluminio

La contracción que representa la pieza es igual al esfuerzo a la dilatación térmica, pero en sentido contrario (hacia el centro de la pieza). Se determina:

$$\sigma = a * E * (Tv - Tm) \quad (\text{Ec. 2.11})$$

Donde:

σ = esfuerzo de compresión generado por la contracción (N/m^2)

a = coeficiente de dilatación térmica del aluminio ($23,9 * 10^{-6} \frac{1}{^\circ C}$)

E = módulo de elasticidad del aluminio ($70 * 10^9 N/m^2$)

Tv = temperatura de vertido del aluminio ($720^\circ C$)

Tm = temperatura de desmoldeo ($420^\circ C$)

$$\sigma = 502 \text{ MPa}$$

Este valor actúa a favor del movimiento del mecanismo.

3.1.8.3. Tiempo solidificación

El tiempo de solidificación es determinado por: el volumen de la pieza fundida (polea de aluminio), el área en contacto con la matriz y C_m que depende de las propiedades del molde y material fundido.

$$T_{TS} = C_m \left(\frac{V}{A} \right)^n$$

El valor de C_m se calcula con datos de trabajo de la empresa, con propiedades del molde y del metal fundido.

$$C_m = \left[\frac{PmL}{Tm - To} \right]^2 \left[\frac{\pi}{4kpc} \right] \left[1 + \left(\frac{Ce(Tv - Tm)}{L} \right)^2 \right]$$

$$C_m = 0.000398110 \left(\frac{min}{m^2} \right)$$

Así para la pieza “polea” con sus datos, se obtiene que el tiempo de solidificación es:

$$tst = 1'26''$$

En el proceso de fundición en coquilla de la empresa la pieza es retirada antes de su completa solidificación con el fin de manipular la pieza fundida con mayor facilidad.

3.1.9. Resistencia eléctrica

La resistencia eléctrica puede cumplir un parámetro de mucha importancia analizado en la casa de la calidad, mantener a la coquilla a una temperatura entre 300°C – 420°C. El valor de esta se determina por el calor contenido en el metal fundido.

$$Q = m * L + mCp * (Tv - Tm) \quad (\text{Ec. 2.9})$$

Donde:

Q = Calor que se debe disipar para la coquilla (W.s)

m = masa del metal fundido (1,2917 kg)

L = Calor de solidificación $\left(397822 \frac{J}{kg.K}\right)$

Cp = Calor específico en estado líquido $\left(1088,78 \frac{W.s}{kg}\right)$

Tv = Temperatura vertido del aluminio (690°C)

Tm = Temperatura de desmoldeo (420°C)

$$Q = m * L + mCp * (Tv - Tm)$$

$$Q = 893\,588,50 \text{ W.s}$$

3.1.9.1. Dimensionamiento resistencia

Para el diseño se toma como inicio las dimensiones del molde, con ello se puede determinar un diámetro para la resistencia. Para el cálculo de la potencia requerida se aplica el efecto Joule de un material metálico y el valor de la masa(m) del material que se desea calentar.

$$Q_T = Q_1 + Q_2 \quad (\text{Ec. 2.21})$$

Donde:

Q_T = Calor total necesario para alcanzar temperatura de colado [J]

Q_1 = Pérdidas de calor por conducción en el aire y en las paredes del componente [J]

Q_2 = Pérdidas de calor por radiación

En términos de potencia, el calor necesario expresado en J/s, PT, se determina mediante la ecuación

$$PT = \frac{QT}{t} \text{ (Ec. 2.22)}$$

t = es el tiempo establecido por la empresa para que se lleve a cabo la operación (40 min)

El calor específico requerido se calcula:

$$Q_1 = m * ce * \Delta T$$

Donde:

Q_1 = calor específico requerido (cal)

m = masa del cuerpo a calentar (29 910g)

ce = calor específico $\left(0,114 \frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$

ΔT = Variación de temperatura ($^\circ\text{C}$)

$$Q_1 = 29\,910 * 0,114 * (420 - 13)$$

$$Q_1 = 1\,387\,764,18 \text{ cal} = 5,81 \times 10^6 \text{ J}$$

El calor latente es:

$$Q_2 = m * L$$

Donde:

Q_2 = calor latente requerido (cal)

m = masa del cuerpo a calentar (29 910 g)

L = calor latente $\left(\frac{\text{cal}}{\text{g} \cdot ^\circ\text{C}}\right)$

$$Q_2 = 29\,910 * 104$$

$$Q_2 = 3\,110\,640 \text{ cal} = 13,01 \times 10^6 \text{ J}$$

De esta manera la energía total requerida para calentar la matriz a 420°C

$$Q_T = 5,81 \times 10^6 \text{ J} + 13,01 \times 10^6 \text{ J}$$

$$Q_T = 8\,920\,640 \text{ J}$$

La potencia que requiere la resistencia es:

$$W = \frac{J}{s}$$

$$W = \frac{8\,920\,640 \text{ J}}{2\,400 \text{ s}} = 3,72 \text{ KV}$$

Potencia de cada resistencia:

$$W = 1,86 \text{ KV}$$

Se usa una resistencia blindada en cobre niquelado de 10 mm de diámetro y 540mm de largo. Tensión normalizada a 220V, con racores de latón soldados al tubo con aleación de plata.

3.1.10. Selección de actuadores

Al seleccionar el cilindro hidráulico, se consideran valores generales que son importantes para la ejecución del proceso. Se elige un cilindro doble efecto, este tipo de cilindro tiene dos orificios uno de entrada y otro de salida del aceite. Se elige valores que permitan la operación de cierre del mecanismo contrarrestando el valor de la presión metalostática antes calculada. También cumpliendo un recorrido mínimo de 35mm justificado por su cobertura de movimiento. En cuanto la presión en línea principal, se usa una unidad de potencia hidráulica con salida de 1000psi. Así los parámetros generales para la elección del cilindro se detallan en la tabla 21. El catálogo con las especificaciones del actuador se encuentra en el Anexo #5.

Cilindro hidráulico	
Parámetros generales	Magnitud
Presión (P)	1000 PSI
Longitud de recorrido (s)	16 in
Diámetro máximo del cilindro (D)	$2\frac{1}{2} \text{ in}$

Tabla 21: Características del cilindro hidráulico.

Al seleccionar los actuadores para la máquina determinamos sus respectivas dimensiones. Las dimensiones del actuador principal(cilindro) en longitud extendida son: (1,07 * 0,125 * 0,125)m y en longitud retraída; (0,61 * 0,125 * 0,125)m. Como actuador secundario determinamos el sistema de control hidráulico que cuenta con: electroválvula, entrada y salida de presión con acoples rápidos, manómetro, válvula de alivio, sensor de presión, racores, neplos y mangueras. Todo este sistema será ubicado a un lado del cilindro “al borde de la máquina” y ocupara un espacio de: (0,60 * 0,24 * 0,50)m. El panel de control se dimensiona con las especificaciones de los componentes eléctricos vistos en los siguientes apartados.

El recorrido que realiza el cilindro hidráulico debe ser capaz de abrir la matriz de manera que sea fácil retirar la pieza terminada. También es importante generar una distancia de seguridad donde la máquina no genere riesgos al personal, ya que un

recorrido mínimo de apertura no es conveniente para actuadores hidráulicos. Por ello el desplazamiento mínimo para cerrar es de 0,1m, sin embargo, a esto se añade 0,25m como distancia de seguridad, dando un recorrido mínimo para el actuador de 0,35m. Este es un requisito al momento de seleccionar el cilindro.

3.1.10.2. Selección de la electroválvula

Se utiliza una válvula direccional 4/3 (electroválvula) para controlar la dirección del caudal. Para la selección de esta válvula solenoide se considera el flujo máximo que acciona el dispositivo, presión máxima, voltaje. El retorno de esta válvula se realiza de manera hidráulica o de forma manual. Ver figura 28

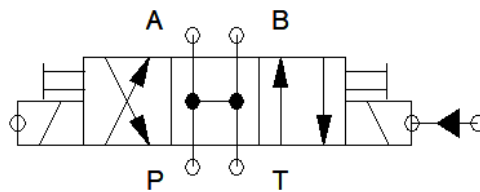


Figura 28. Válvula direccional 4/3 retorno hidráulico/esfuerzo muscular.

En el siguiente cuadro podemos observar las características de la electroválvula

Características electroválvula(RH 06 00 1 -28F C2)	
Parámetro	Magnitud
Presión máx: A-B-P	4640 PSI / 32 Mpa
Presión máx: T	3045 PSI / 21 Mpa
Flujo máximo	5 gpm (20 lpm)
Temperatura de operación	20 a 80°C
Consumo General	110V RAC - 0,5A
	220V RAC - 0,25A

Tabla 22: Características de la electroválvula.

3.1.11. Presiones de trabajo

Área del pistón

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

Donde:

A= área de la sección (m^2)

D= diámetro del pistón (m)

$$A = 6,22m^2 = 6220 mm^2$$

Determinación del rendimiento del cilindro

$$F_1 = P * A$$

Donde:

F_1 = fuerza del cilindro (lb)

P = presión del sistema (PSI) 1000 PSI

A = área del pistón (in^2) $9,64in^2$

$$F_1 = 9640 \text{ lb}$$

Considerando coeficiente de rozamiento entre diámetro interior y sello se tiene.

$$F_1 = P * A * \mu$$

Donde:

F = fuerza del cilindro (lb)

P = presión del sistema (PSI) 1000 PSI

A = área del pistón (in^2) $9,64in^2$

μ = coeficiente de rozamiento entre diámetro interior de tubería y sellos = 0,9

$$F_2 = 8676 \text{ lb}$$

$$\eta_{\text{cilindro}} = \frac{F_2}{F_1}$$

Donde:

η_{cilindro} = rendimiento del cilindro %

F_1 = fuerza 1 generada por el cilindro (lb)

F_2 = fuerza 2 generada por el cilindro (lb)

$$\eta_{\text{cilindro}} = 91\%$$

Fuerza de avance (cierre del mecanismo)

$$F_{\text{avance}} = P * A * \eta_{\text{cilindro}}$$

Donde:

F_{avance} = fuerza de avance del cilindro

P = presión del sistema

A = área del pistón (in^2) $9,64in^2$

η_{cilindro} = rendimiento del cilindro

$$F_{avance} = 8772,4 \text{ lb} = 4,39 \text{ Ton}$$

Fuerza de retroceso (abrir el mecanismo)

$$F_{retroceso} = P * (A - a) * \eta_{cilindro}$$

Donde:

a = área del émbolo (in^2) $2,40in^2$

$$F_{retroceso} = 6588,4 \text{ lb} = 3,29 \text{ Ton}$$

3.1.12. Esquema eléctrico

La parte eléctrica está alimentada por dos fases de 110V para el accionamiento de las resistencias eléctricas y las electroválvulas con sus respectivos contactores. El resto de los elementos (PLC, breaker, botones, indicadores, termocuplas, sensores) funcionarán con 110V y neutro. El PLC gobierna todas las entradas y mediante la programación ejecuta: encendido general, desplazamiento del cilindro, encendido termocuplas, paro general, paro de emergencia (ver anexo 3).

3.1.13. Diseño panel de control

El panel de control se realiza de forma simplificada para el uso de cualquier operario. Este cuenta con una guía de puesta en marcha para un pre-accionamiento antes del trabajo en serie. En el panel se controla el desplazamiento del mecanismo y el encendido de las termocuplas. Cuenta con indicadores de: alimentación, encendido de la máquina, resistencias encendidas, indicador de avance y retroceso como se muestra en la figura 29.



Figura 29: Tablero de control.

3.1.14. Programa

Se realiza un diagrama de control con etapas y transiciones (Grafcet) explicativo para la compresión del proceder de la máquina. Al estar detallado el proceso asignamos

nombres de variables a: “acción realizada, entrada del PLC, salida del PLC, condición por etapa”. Con el esquema simplificado a variables se convierte a lógica booleana a través del programa LOGO Soft Comfort (ver anexo 4). En este programa se realiza una simulación de la activación de las señales y así se verifica el correcto funcionamiento del programa. Ver figura 30

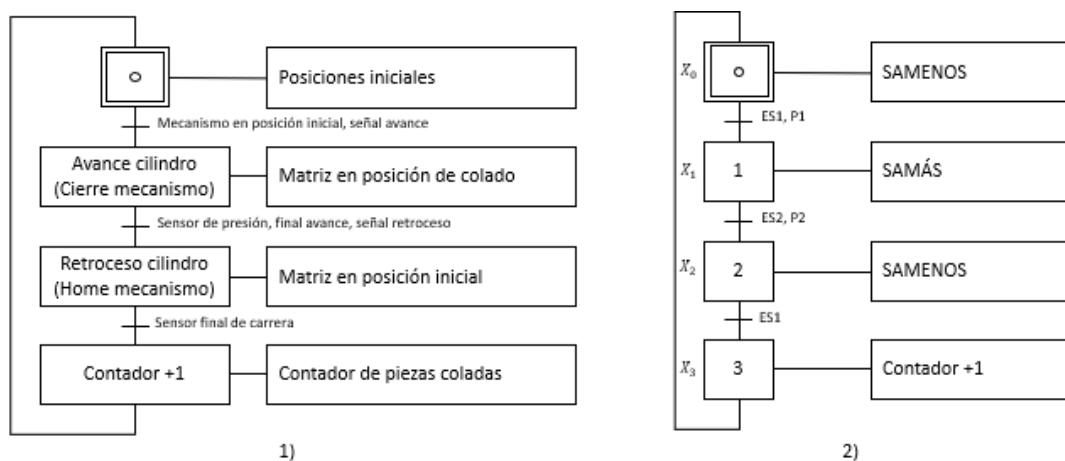


Figura 30. Graficet del programa: 1) Graficet descriptivo del proceso, 2) Graficet asignado variables donde "X_n" es la etapa del proceso, "SAMÁS y SAMENOS" representan el estado de avance y retroceso del cilindro respectivamente.

Con el diagrama realizado se elabora el programa en el software "LOGO V8", se comprueba con la simulación del programa. Ver figura 31

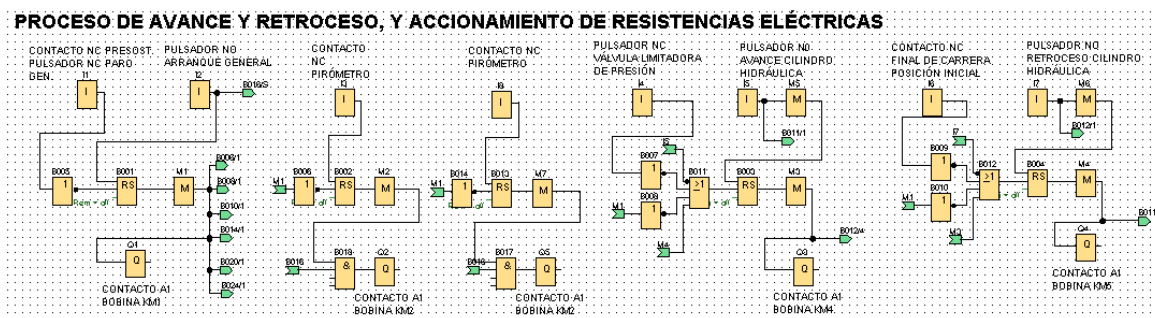


Figura 31. Programación del dispositivo en "LOGO V8"

3.1.15. Elección de materiales

3.1.15.1. Componentes oleo hidráulicos

Se determina el uso de un gato hidráulico con la capacidad de 254 Pa o más y con una carrera entre (0,30 a 0,80 m). La empresa concedió el uso de un gato hidráulico que

disponía en bodega que cumple la carrera y en sobremedida la presión requerida. Para la ejecución por comando se utiliza una electroválvula que trabaja a 110V o 220V. El sensor de presión es regulable y esta varía dependiendo de la pieza fundida.

3.1.15.2. Componentes de control

El PLC seleccionado es el Logo, este cuenta con las entradas necesarias para el control de proceso. Además, cuenta con módulos acoplables para una mayor cantidad de entradas y salidas. Las entradas utilizadas son 8 de 8: sensor final de carrera, sensor de presión (presostato), mando de inicio, mando resistencias, mando de avance, mando de retroceso, paro de emergencia. Las salidas usadas son 4 de 4: Termocuplas, señales de la electroválvula, esto se puede observar a mayor detalle en el esquema eléctrico mencionado anteriormente (ver anexo 3).

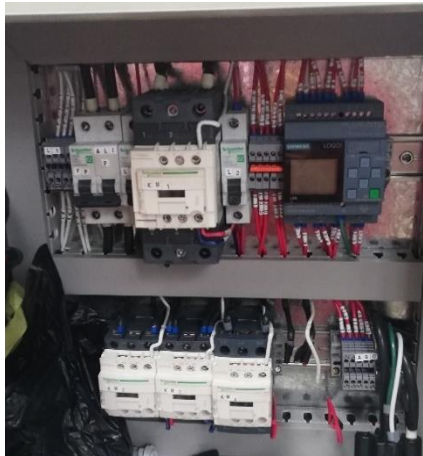


Figura 32. Instalación tablero de control.

Para el dimensionamiento de la protección se considera el cortocircuito más desfavorable, un cortocircuito a la salida del transformador de baja tensión. Se utiliza el método gráfico el cual representa las variaciones de la intensidad de cortocircuito en función de la potencia del transformador y de la resistencia de la línea. Entonces se utiliza la siguiente fórmula para determinar la resistencia del conductor [24].

$$R = \rho \frac{l}{S}$$

$$R = 0.000167 * \frac{30}{200} = 0.0002505 \Omega$$

Donde:

R = resistencia del conductor (Ω)

ρ = propiedad resistiva del cobre ($0.000167 \Omega \cdot m$)

l = longitud (m)

s = sección transversal del conductor (mm)

Cuando el cortocircuito sea entre dos fases se multiplica por $\sqrt{3}$

$$R_f = R * \sqrt{3} = 0.0004339$$

Donde:

R_f = resistencia final

R = resistencia del conductor

Con este dato podemos determinar que se recomienda usar una protección de 15A con un factor de seguridad de 3 el valor mínimo de la protección es 45A. Así el circuito cuenta con una protección general de 50A, también se instala un par de contactores de 10A para la conexión de la electroválvula. Esto implementado en un gabinete metálico de (0,40, 0,40, 0,25) m de doble fondo. Ver figura 33

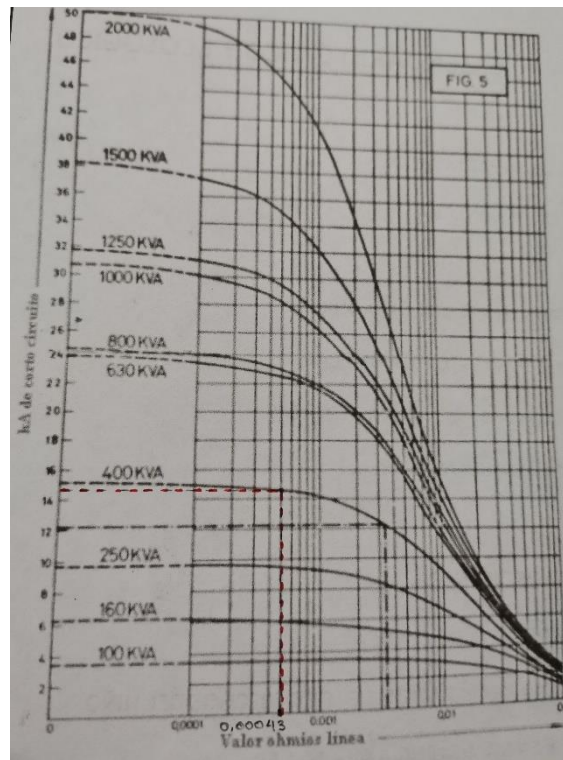


Figura 33. Elección de protección método gráfico

3.1.15.3. Material de la estructura

El material usado es acero ASTM A36 por sus propiedades mecánicas, módulo de elasticidad, resistencia a altas temperaturas y su acoplamiento eficaz con la matriz a sujetar. Es un material de mucha utilidad en la empresa y por ello se puede aprovechar residuos de otros trabajos para reutilizarlos. Ver tabla 23

Características del acero A36 laminado en caliente	
Equivalencia AISI	1018
Resistencia a la tensión	400 Mpa
Resistencia a la fluencia	220 Mpa
Elongación en 2 pulg. %	25
Reducción en área, %	50
Dureza Brinell	116
Módulo de elasticidad, Gpa	200 Gpa
Densidad	7,85 g/cm ³

Tabla 23: Características del acero A36 laminado en caliente.

3.1.16. Simulación de puntos críticos en SolidWorks

Se realiza la simulación de la junta que une el cilindro hidráulico con la estructura, considerando una presión de 400 PSI se determina que la pieza no falla y cuenta con un factor de seguridad de 3,95. Ver figura 34

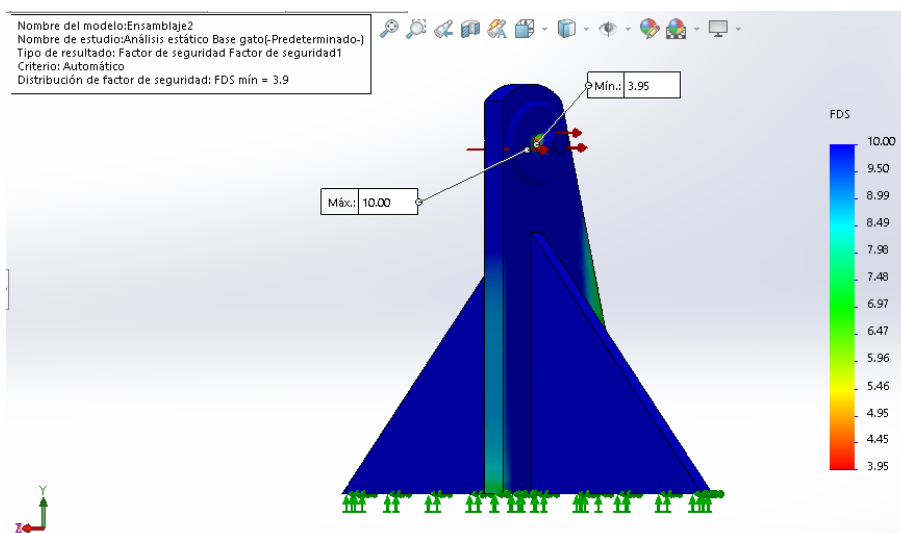


Figura 34. Factor de seguridad base del gato.

La misma junta usada para el análisis estático según el criterio de Von Mises se obtiene que la tensión máxima soportada es de 63,36MPa como se muestra en la figura. Ya que el límite elástico es de 250 MPa se determina que la pieza no falla por fluencia. Ver figura 35

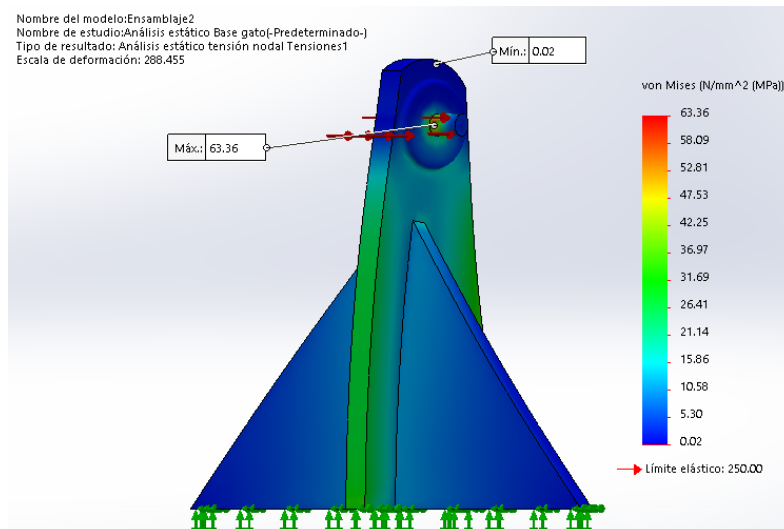


Figura 35. Tensión máxima soportada por la base del gato.

La presión utilizada es la misma que se calculó en el apartado de presiones de trabajo, así se define que la estructura soporta la carga máxima de trabajo.

También se realiza la simulación del otro extremo del cilindro unido a la estructura, considerando un valor de 400 PSI ya que cuando cierra el mecanismo soporta la presión de entrada, se determina que la pieza no falla y cuenta con un factor de seguridad de 3,66.

Ver figura 36

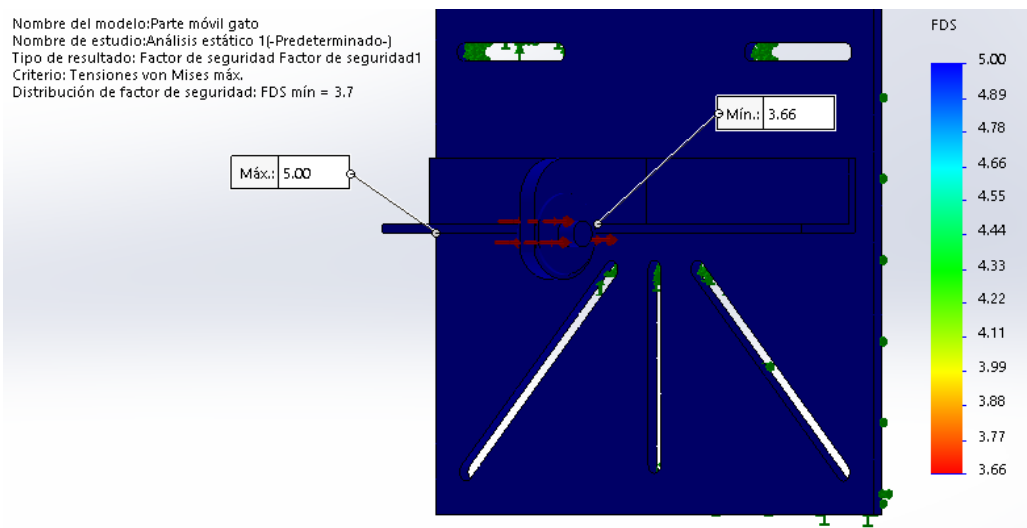


Figura 36. Factor de seguridad del mecanismo de cierre.

Realizando la simulación para el análisis estático según el criterio de Von Mises se define que la tensión máxima soportada es de 169,62Mpa. Teniendo un límite elástico de 250MPa se determina que la pieza no falla por fluencia. Ver figura 37

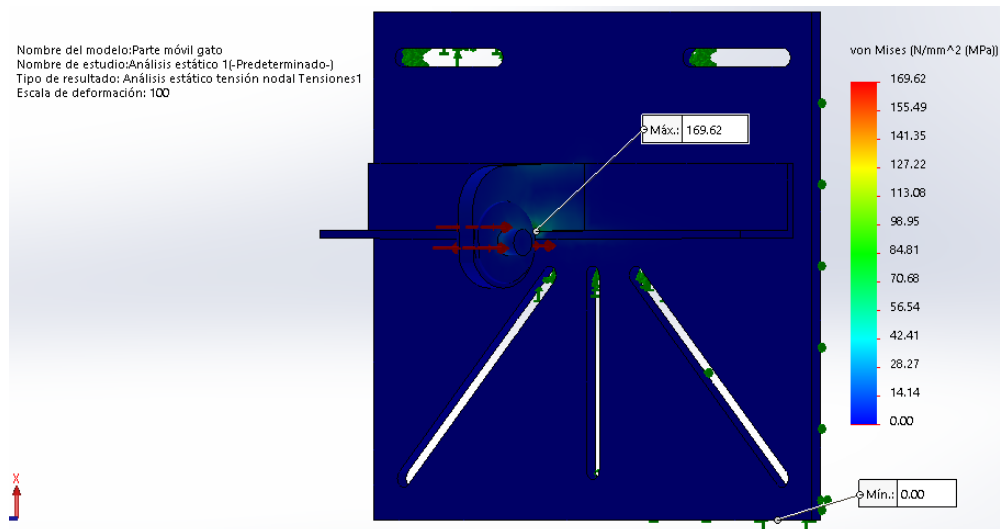


Figura 37. Tensión máxima soportada por el mecanismo de cierre

3.1.7.1.2. Simulación de columna por pandeo

Se realiza la simulación de pandeo de la estructura, ya que existen cuatro elementos que están sometidos a esta carga directamente. La carga que soportan estos es el peso de los demás elementos y se calcula en a partir del volumen de los elementos y su densidad.

Con una carga de 285N se determina que la columna cuenta con un factor de seguridad mayor a 100, igual al calculado con el método analítico. Ver figura 38

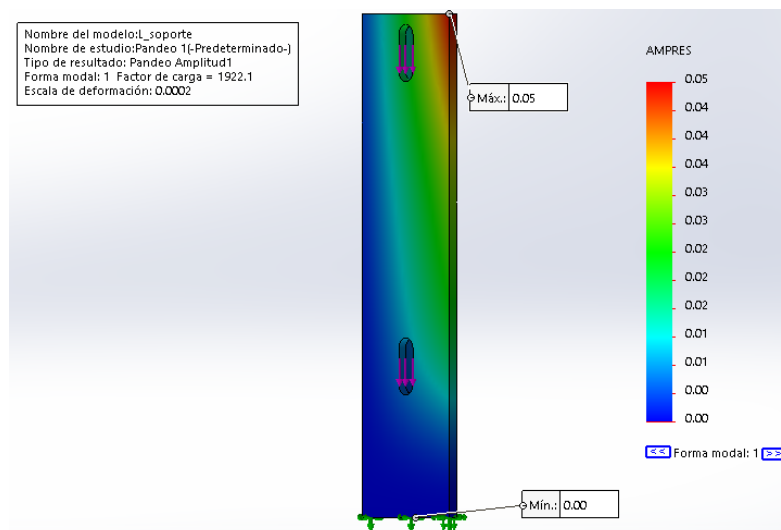


Figura 38. Amplitud de pandeo y factor de seguridad.

CAPÍTULO 3

RESULTADOS Y ANÁLISIS

4.1. RESULTADOS

Se construye una máquina semiautomática para el desplazamiento de la matriz para mejorar el proceso de fundición por gravedad. Esta máquina está diseñada para un proceso en serie de obtención de piezas de aluminio. Cuenta con un panel de control para accionar un cilindro hidráulico que cierra y abre la matriz de manera sencilla. Además, tiene un par de termocuplas para medir la temperatura de las dos mitades de la coquilla.

En la casa de la calidad realizada en el capítulo 3 se percata que el control de temperatura es necesario, por ello se añade un par de resistencias eléctricas para mantener la temperatura de la matriz ya que esto beneficia en disminuir el tiempo encendido del horno y mejora las piezas elaboradas. Se determina que: la presión metalostática, puntos críticos en la estructura, elección de elementos del panel de control son los principales parámetros para diseñar la máquina.

4.1.1. Estructura y mecanismos

Se construye una estructura con bases echas de perfil UPN, en su mayoría la estructura está conformada por platinas de 12mm de espesor, unas actúan como columnas que soportan la matriz y el mecanismo de sujeción. Las bases del cilindro cumplen con las especificaciones de este y soportan cargas hasta de 3.01 ton/cm^2 . La base en la cual se asienta la matriz cuenta con canales para la adaptación de diferentes tamaños de la matriz que puede variar entre los $(0,20*0,20*0,20)\text{m}$ y los $(0,44*0,44*0,50)\text{m}$.

Se diseña con factor de seguridad mayor a 5 para columnas se determina el uso del acero ASTM A36. A esto hace excepción la junta atornillada entre el gato hidráulico y el mecanismo de desplazamiento ya que este tornillo de máquina es de acero de aleación de medio carbono y tiene un factor de seguridad de $N=3,6$. Las juntas de soldadura son MIG con electrodo E 6011. Ver figura 39



Figura 39. Estructura mecánica terminada.

4.1.2. Análisis de la simulación en SolidWorks

Se realizan la simulación por análisis estático según el criterio de Von Mises para las piezas donde se encuentran los puntos críticos. La junta que une al cilindro con la estructura tiene un factor de seguridad de 3,95 soportando una carga máxima de 63,36MPa. También se realiza una simulación para el otro extremo del actuador la cual soporta una carga máxima de 169,62MPa. De esta forma se determina que la estructura no falla por fluencia. La simulación por pandeo determino que la carga que soportan las columnas no es considerable para un fallo por pandeo, ya que tiene un factor de seguridad mayor a 100.

4.1.3. Verificación sistema de control

Se utiliza al PLC logo V8 para automatizar la activación del cilindro hidráulico a través de un a electroválvula. Cuenta con un par de resistencias eléctricas que mantienen la temperatura de la coquilla a 420°C, estas accionadas por pirómetros que conectan termocuplas a cada mitad de la coquilla. El control de la presión es brindado por una válvula reguladora en la entrada del circuito y por una limitadora de presión en el cierre del mecanismo. Los pirómetros que controlan la temperatura de las resistencias son indicadores en el panel de mando y controla independientemente el accionamiento de las resistencias.

La alimentación eléctrica es de 220V para todos los elementos eléctricos a excepción del PLC Logo V8. Cuenta con un breaker principal de 50A, dos contactores de 32A para las resistencias y un par de contactores de 12A para el accionamiento de la electroválvula. Se utiliza ocho de ocho entradas disponibles en el PLC y sus cuatro salidas. Las entradas utilizadas son de las botoneras en el panel, sensor de presión, y sensor de distancia. Las

salidas activan: contactor principal, encendido de pirómetros, avance y retroceso del cilindro. Ver figura 40



Figura 40. Tablero de control terminado.

4.1.4. Máquina en el proceso de fundición

Se realiza una prueba de funcionalidad de la máquina, en la cual se verifica el desplazamiento y accionar de los mandos. Esta prueba se realiza sin la calibración del sensor de presión, sin embargo, cuenta con la válvula limitadora de presión que actúa independientemente de los componentes eléctricos. Los accionadores e indicadores cumplen correctamente su función, además se agrega una torreta tipo licuadora para alertar cuando el mecanismo está en funcionamiento. Esta prueba se realiza con el personal de la empresa. Ver figura 41



Figura 41. Prueba de funcionalidad de la máquina.

Se prepara la máquina para la fundición, se sujeta la matriz y se calienta junto con el noyo. Se regula la temperatura de las termocupas para asistir al calentamiento con soplete, así mantiene la temperatura de 420°C. El aislante térmico situado entre la matriz y el soporte con canales mantiene al cilindro a una temperatura por debajo de los 50°C. Este proceso se realiza mientras el horno funde el aluminio que será utilizado para realizar la pieza. Ver figura 42



Figura 42. Preparación de la máquina para fundir.

Se realiza pruebas en las cuales se determina que la máquina cumple con las funciones requeridas. La pieza obtenida cumple con los estándares de la empresa y se analiza un aumento considerable en la producción. Se determina que tanto como los botones, indicadores, sensores y actuadores funciona de manera correcta. La máquina se comporta de la manera prevista y se obtiene una pieza de calidad utilizando la máquina. Ver figura 43



Figura 43. Pieza fundida en máquina semiautomática

En la fundición con la máquina semiautomática se toma los datos de operación, como los tiempos de: colado, cierre, apertura y solidificación, presiones de cierre y apertura, y la temperatura de colado, temperatura máxima, y temperatura de la coquilla.

Se obtienen datos importantes para la producción, como los tiempos de operación, y la temperatura de la coquilla al fundir cada pieza. Es decir, estos parámetros ahora pueden ser utilizados para un mejoramiento en la elaboración de la pieza final. Se realiza una evaluación del tiempo de operación de la máquina. Ver tabla 24

Fundición por gravedad en coquilla - máquina semiautomática				
Pieza:	Filtro Venturi (Aluminio)			
Muestra	<i>Número 1</i>	<i>Número 2</i>	<i>Número 3</i>	<i>Número 4</i>
Tiempo de cierre (s)	6	6	6	6
Colado (s)	7	5	4	4
Solidificación (s)	45	50	40	30
Tiempo de apertura (s)	6	7	6	7
Tiempo extracción	1'43''	1'30''	1'36''	1'39''
Colocación del noyo(s)	18	15	16	14
Total	3'05''	2'53''	2'48''	2'53''

Tabla 24: Tiempos de operación de la máquina para realizar una pieza.

El tiempo que toma realizar una pieza completa con el dispositivo es de 2'55'', esto resulta en el siguiente análisis. Como antecedentes se sabe que, una jornada laboral de 10 horas, con 2 horas de precalentamiento del horno se realizaban 80 piezas. Con la máquina trabajando una jornada de 8 horas se aumenta la producción en un 250%, es decir se realiza 160 piezas. Estos datos fueron tomados directamente en la fundición de la pieza "Filtro Venturi" en la empresa SMO. La pieza final obtenida no presenta anomalías y en consideración de la empresa es óptima para su venta y distribución.

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

CONCLUSIONES

Se determina como principales parámetros de diseño: la presión metalostática, análisis de puntos críticos en la estructura, diagrama de control del dispositivo. La presión metalostática es $254,203 \frac{N}{m^2}$, magnitud que contrarresta el dispositivo al ejecutarse el cierre. El análisis de puntos críticos se realiza

en: tornillos a corte directo, falla del material en las juntas con el actuador, y pandeo en elementos tipo columna. Se obtiene como resultado que el dispositivo cuenta con un factor de seguridad de 3,6. Para el diseño eléctrico se determina como parámetro principal al diagrama de control del dispositivo, obteniendo un panel de control funcional y sencillo de interactuar.

Se propone una estructura tipo prensa, además se detalla la hoja de procesos para los elementos que conforman la misma. Se realiza una estructura con bases de perfil UPN, los demás elementos son realizados con platinas de 12mm de espesor. El material usado es el acero ASTM A36, exceptuando las juntas atornilladas. Se fabrica una base para la matriz con canales para la adaptación a diferentes tamaños de matriz que varían entre (0,20*0,20*0,20)m y (0,44*0,44*0,50)m.

Las columnas tienen una carga admisible de 810MPa, resultando en un factor de seguridad mayor a 5. Las juntas atornilladas son de acero de aleación de medio carbono, obtenido un factor de seguridad de 3,6. En los mecanismos unidos al actuador se determina un factor de seguridad de 3,9 según el criterio de Von Mises.

Se determina que el controlador a usar es el “PLC Logo V8”. Este gobernará el accionamiento del cilindro hidráulico de 1000PSI a través de una electroválvula RH 06 00 1 – 28F C2. También acciona el encendido de las termocuplas incorporadas e indica el valor de la temperatura en la coquilla. Además, cuenta con un breaker principal de 50A, dos contactores de 30A para las resistencias y un par de contactores de 12A para el accionamiento de la electroválvula. El diagrama de control y la programación cuentan con la función que desempeña cada elemento para habilitar a la máquina (ver anexo 3 y 4).

Se validó la máquina en el proceso de fundición de una pieza de aluminio llamada “Filtro Venturi”. La matriz de esta pieza se ajustó correctamente a la base de la estructura

generando juego para su ajuste y alineamiento. La ejecución del movimiento fue preciso con un cierre perfecto de las dos mitades de la coquilla. Se analiza que el uso de la máquina aumenta la producción en un 250%. La pieza obtenida no presenta anomalías y en consideración de la empresa es óptima para su venta y distribución.

RECOMENDACIONES

El proceso de fundición aún tiene variables que pueden ser controladas: ángulo de vertido, posicionamiento del noyo en la matriz, tiempo de colado, temperatura de vertido. Es decir, se puede considerar este proyecto como un módulo con futura expansión para una automatización del proceso. Existen modelos de die casting en fundición por gravedad en China que pueden ser implementados en nuestro país, con talento humano local y una reducción considerable en el costo.

La activación de las resistencias eléctricas funciona de manera menos efectiva al estar desvinculado de la matriz de manera directa. Se propone equipar la matriz con resistencias tipo cartucho para reducir pérdidas, éstas se pueden accionar desde la máquina. Así se reduce el consumo de energía eléctrica y se optimiza el control de temperatura.

La máquina tiene la característica de ser móvil, sin embargo, se sugiere ubicarla en un lugar determinado ya que se debe limitar la zona de seguridad. Esto para reducir riesgos por altas temperaturas y aplastamiento.

Utilizar correctamente el manual de operación y mantenimiento, para asegurar el correcto funcionamiento de la máquina. Enfatice la inspección de la resistencia eléctrica porque se ve fácilmente afectada por anomalías en los cables afectando las lecturas del termopar.

REFERENCIAS

- [1] W. Arias, Diseño y construcción de un equipo para colado en molde permanente, Quito, Ecuador, 2007.
- [2] J. Vásquez, Plan de negocios para la exportación de poleas de aluminio de la empresa Ecuapolea Lima Perú, Quito, Ecuador, 2017.
- [3] Reglamento de seguridad y salud de los trabajadores y mejoramiento del medio ambiente de trabajo, Decreto ejecutivo 2393, Ecuador.
- [4] Proyecto de ley orgánica de seguridad y salud, Ecuador, Artículo 3.61, 2017-2021.
- [5] Sergio, S. Medina, J. Cano, E. Franco, C. Isaza y E. Mendoza, «Comportamiento microestructural de una fundición de aluminio A356 a,» de *VIII CONGRESO INTERNACIONAL DE MATERIALES*, Paipa- Colombia, 2015.
- [6] A. Solé, Neumática e hidráulica, España: Marcombo, 2007.
- [7] S. Heras, Fluidos, bombas e instalaciones hidráulicas, Barcelona, 2011.
- [8] R. Giles, Mecánica de los fluidos e hidráulica, España, 2003.
- [9] J. Cembranos, Automatismos eléctricos, Neumáticos e hidráulicos.
- [10] C. Macías, Cálculo y diseño del sistema oleohidráulico para una prensa de vulcanizado por compresión accionada eléctricamente, Santiago de Cali, 1997.
- [11] J. Roldan, Neumática, hidráulica u electricidad aplicada, España: Paraninfo, 1998.
- [12] T. Moliner, Predicción de defectos en piezas fundidas mediante el uso de la simulación, Cuba, 2010.
- [13] P. Mikell, Fundamentos de manufactura moderna (Materiales, procesos y sistemas), México, 2007.

- [14] P. Basante, Diseño de un molde permanente de fundición por gravedad para la fabricación de pesas adhesivas de plomo utilizadas en balanceo de neumáticos, Ecuador, 2019.
- [15] R. Contreras, Fabricación de molde para rin de aluminio 38,1 cm, por fundición a baja presión, México, 2008.
- [16] J. Jacho, Diseño y construcción de una coquilla de 250mm x 250mm, para fundir aluminio en el laboratorio de fundición de la carrera de ingeniería mecánica, universidad politécnica salesiana, Quito, Ecuador, 2018.
- [17] A. Santiana, Diseño y construcción de una prensa hidráulica semi-automática para la compresión de espirales en un taller automotriz, (trabajo de pregrado), Quito, 2014.
- [18] E. Shigley, Diseño en ingeniería mecánica. Octava edición, México, 1985.
- [19] P. Daneri, PLC Automatización y control industrial, Buenos Aires: HASA, 2008.
- [20] A. C. & Instruments, «¿Qué son y cómo funcionan las termocuplas?, Nota técnica 2,» de Recuperado de <http://www.arian.cl/downloads/nt-002.pdf>, Chile, 2020.
- [21] C. Acosta, Controladores lógicos programables (PLC'S), 2020.
- [22] E. Yacuzzi, Martín F., QFD: conceptos, aplicaciones y nuevos desarrollos, 2003, Buenos Aires.
- [23] R. Norton, Diseño de máquinas, un enfoque integrado, México, 2011.
- [24] Docencia, Protección de las instalaciones de baja tensión, España, 2008.