



"En la Universidad de Guanajuato, todos y todas, nos comprometemos a garantizar el derecho de las mujeres a vivir libres de violencia"

Asunto: Notificación de Dictamen de Modalidad de Titulación.

C. SOLORIO ALVARADO ANGEL ISAAC
ESTUDIANTE DE LA LICENCIATURA EN INGENIERÍA EN MECATRÓNICA
PRESENTE.

Una vez concluido el análisis y discusión sobre la propuesta del proyecto titulado: **"RECONVERSIÓN DE MÁQUINA PONEORA A MODELO HIDRÁULICO E INTERFAZ DE CONTROL HOMBRE-MÁQUINA"**, bajo la revisión del Asesor(es): ZALETA AGUILAR Alejandro, Dr., el Comité de Obtención de Grado de Licenciatura del H. Consejo Divisional, acordó la siguiente resolución:

Con fundamento en las fracciones primera a cuarta del Artículo 67, el Artículo 68 del Estatuto Académico 2008 y el artículo Noveno Transitorio del Reglamento Académico 2019, el comité acordó **POR UNANIMIDAD DE VOTOS AUTORIZAR SU MODALIDAD DE TITULACIÓN POR TRABAJO DE TESIS** designando el siguiente jurado:

Presidente: RIESCO AVILA José Manuel, Dr.

Secretario: ZALETA AGUILAR Alejandro, Dr.

Vocal: COLIN VENEGAS José, Dr.

Se extiende la presente notificación de la resolución el día 18 de mayo del 2020.

A T E N T A M E N T E
"LA VERDAD OS HARÁ LIBRES"

Rocío Lizárraga

DRA. ROCÍO ALFONSINA LIZÁRRAGA MORALES
DIRECTORA SUPLENTE



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO
Campus Irapuato - Salamanca
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS

c.c.p. DR. CARLOS HUGO GARCÍA CAPULÍN – Secretario Académico de la División de Ingenierías
ZALETA AGUILAR Alejandro, Dr. – Asesor(es)
Archivo

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS – CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA

Domicilio conocido, Comunidad de Palo Blanco, Carretera Salamanca-Valle de Santiago km. 3.5 + 1.8. Salamanca, Gto., C.P. 36885. Tel (464) 647 99 40 Ext. 2300


Salamanca, Gto., a 09 de febrero del 2021.

**M.I. HERIBERTO GUTIÉRREZ MARTÍN
COORDINADOR DE ASUNTOS ESCOLARES
PRESENTE.-**


Por medio de la presente, se otorga autorización para proceder a los trámites de impresión, empastado de tesis y titulación al alumno(a) Angel Isaac Solorio Alvarado del Programa de Licenciatura en Ingeniería en Mecatrónica y cuyo número de *NUA* es: 145830 del cual soy director. El título de la tesis es: Reconversión de Máquina Ponedora a Modelo Hidráulico e Interfaz de Control Hombre-Máquina.

Hago constar que he revisado dicho trabajo y he tenido comunicación con los sinodales asignados para la revisión de la tesis, por lo que no hay impedimento alguno para fijar la fecha de examen de titulación.

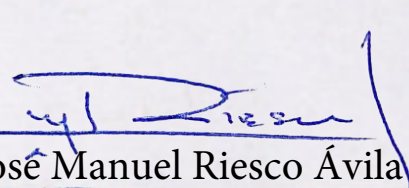
ATENTAMENTE


Dr. Alejandro Zaleta Aguilar


**NOMBRE Y FIRMA
DIRECTOR DE TESIS
SECRETARIO**


Dr. Alejandro Zaleta Aguilar

**NOMBRE Y FIRMA
DIRECTOR DE TESIS
SECRETARIO**


Dr. José Manuel Riesco Ávila

**NOMBRE Y FIRMA
PRESIDENTE**


**NOMBRE Y FIRMA
VOCAL**



UNIVERSIDAD DE GUANAJUATO

DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
CAMPUS IRAPUATO-SALAMANCA

RECONVERSIÓN DE MÁQUINA PONEDORA A MODELO
HIDRÁULICO E INTERFAZ DE CONTROL
HOMBRE-MÁQUINA

TESIS

Que para obtener el título de:

Ingeniero Mecatrónico

PRESENTA:

Angel Isaac Solorio Alvarado

Director:

Dr. Alejandro Zaleta Aguilar

Agradecimientos

Existe una parte del ser humano que engloba un conjunto de sentimientos que conllevan al acto más noble y puro que pueda existir, el agradecimiento.

- A Dios, primeramente, por darme la oportunidad de vivir y concluir esta etapa de mi vida, por darme las fuerzas cuando ya no tenía más y por ayudarme a encontrar mi camino cuando creí que estaba perdido.

- A mis padres, Ángela y Rogelio, mis primeros maestros de escuela y de vida, por su apoyo incondicional, por su guía y por las incontadas ocasiones que me levantaron cuando estaba abatido. Todo lo bueno que he llegado a tener se los debo a ellos.

- A mis hermanos, César, Ixchel y Kenia por sus consejos, su ayuda y las palabras que me fueron de inspiración para seguir adelante.

- Agradezco profundamente a la Universidad de Guanajuato, mi máxima casa de estudios, por brindarme la oportunidad de concluir mi carrera y formarme como profesional. A todos mis maestros con quienes tuve la dicha de recibir sus conocimientos.

- Agradecer a mi asesor de tesis, el Dr. Alejandro Zaleta Aguilar por su mentoría, sus clases y las enseñanzas que me dio, no sólo en el ámbito académico y profesional, sino también en lo personal.

- A Vanessa L. Cortés López por su apoyo incondicional en esta etapa.

- Un agradecimiento especial al M.I. Eduardo Avilés por sus enseñanzas impartidas.

- Ya que una persona sin amigos es como vivir en el desierto, quiero agradecer por último, pero no menos importante, a mis amigos que tuve la fortuna de hacer dentro de esta institución que me demostraron con quién sí y con quién no. Agradecer especialmente a Alondra Monserrat Gómez, Eduardo Solorio Q., Ámbar M. Medina, Karla María E. Roa, Luis R. Cordero, Jared A. Luna, Samuel J. Guzmán, Ramón Alvares B., Iván D. Hernández, Alan M. Ruíz, Roberto E. Mercado, José A. D. Medina, Jonathan U. Posada, Harold A. Barrón, Gerardo S. Alba, Genaro A. García, C. Dario Zacarías, Manuel Soria F., Alexis Sánchez, Andrés O. Contreras, Ignacio Zúñiga, Mariana Y. Hernández, Víctor Moncho, Carolina Carrera, Julio G. Z. y Denisse Lara.

Dedicatoria

- Primeramente, este trabajo de tesis va dedicado a Dios que, como hombre de ciencia y tecnología que soy, tengo la firme creencia de que el hecho de que exista un ente superior no es una fantasía, sino una realidad.
- Con gran amor y cariño, este trabajo va dedicado al motor de mi vida, mi familia. ellos fueron y son la inspiración para la culminación de este proyecto Y seguirán siendo mi motivación para mis futuros trabajos.
- A mis hermanos, César, Ixchel y Kenia por sus consejos, su ayuda y las palabras que me fueron de nspiración para seguir adelante.
- A Vanessa L. Cortés López por su apoyo incondicional en esta etapa.
- Por último, este proyecto de tesis va dedicado a ese gran amor que algún día todos tuvimos y que por diversas cuestiones no puede estar presente; no obstante, existe el arte de la presencia incluso en la ausencia.

Índice de figuras	VI
Índice de tablas	VII
1. INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES PARA LA CONSTRUCCIÓN	1
1.1. Antecedentes en la fabricación del bloque para la construcción	1
1.2. Tipos de maquinaria	4
1.2.1. Máquinas manuales	4
1.2.2. Máquinas Semiautomáticas/Automáticas	6
1.3. Justificación	8
1.4. Objetivo	8
1.5. Contenido y desarrollo del proyecto de tesis	9
2. CASO DE ESTUDIO	10
2.1. Vibro-compactación y tipo de máquina	10
2.2. Descripción de la máquina bajo estudio	13
2.3. Pasos de la operación y método de fabricación manual de tabiques . . .	25
2.3.1. Manual de Fabricación	26
3. DESARROLLO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO	31
3.1. Diagrama conceptual del sistema hidráulico	31
3.1.1. Sistema de compresión	33
3.1.2. Sistema de desmoldeo	33
3.2. Modelado de actuadores hidráulicos	34
3.3. Cálculo de fuerzas de compresión y desmoldeo	37
3.3.1. Fuerza de compresión	37
3.3.2. Fuerza de desmoldeo	38
3.4. Elección de cilindros hidráulicos	42
3.5. Instrumentación y control del sistema hidráulico	46
4. AUTOMATIZACIÓN E INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA	48
4.1. Controlador Lógico Programable	48

4.2. Hardware de un PLC	49
4.3. Interfaz Hombre-Máquina	51
5. RESULTADOS Y TRABAJO FUTURO	61
5.1. Resultados obtenidos del diseño	61
5.2. Resultados obtenidos del HMI	61
5.3. Trabajo futuro	66
A. MANUAL Y TABLA	67
B. PLANOS DE MÁQUINA BLOQUERA	68
C. CÓDIGO DEL PLC	84
Bibliografía	87

ÍNDICE DE FIGURAS

1.1. El bloque a lo largo de la historia.	3
1.2. Primera máquina bloquera. [8]	4
1.3. Máquina con mecanismo de estirado [14].	5
1.4. Ensamblaje propuesto para aumentar la producción de bloques [16].	6
1.5. Categorías de máquinas ponedoras.	7
2.1. Proceso de vibro-compactación [28]	12
2.2. Base cúbica con doblez modelada de reforzamiento.	14
2.3. Plano de base cúbica con doblez.	15
2.4. Base cúbica con reforzamiento y sección de adaptación al sistema de vibración.	16
2.5. Motor trifásico de 3 HP.	16
2.6. Ensamblaje flechas y el tacones de hule.	17
2.7. Mesa vibratoria.	18
2.8. Sistema de vibración.	18
2.9. Mecanismo de desmolde.	19
2.10. Tarima de madera.	19
2.11. Máquina ponedora con sistema de vibración y mecanismo de desmoldeo.	20
2.12. Molde de dos piezas de producción de bloques.	21
2.13. Elementos del cabezal móvil.	22
2.14. Ensamble del cabezal móvil, porta pisón y pisón.	23
2.15. Principales vistas frontal y posterior.	24
2.16. Principales vistas lateral izquierda y lateral derecha.	25
2.17. Herramientas a utilizar [31].	27
2.18. Dosificación de material [31].	27
2.19. Mezcla sin máquina [31].	28
2.20. Utilización de máquina mezcladora [31].	29
2.21. Instrucción de cómo levantar el producto terminado [31].	30
3.1. Sistemas hidráulicos para recategorización de máquina manual a semi-atómica.	32
3.2. Sistema a modelar.	34
3.3. Representación del sistema físico.	36

3.4. Esquema del muro de contención con respaldo de arena [34].	39
4.1. PLC con montaje tipo rack y módulos de expansión y comunicación. . .	51
4.2. Conexión del PLC y HMI.	53
4.3. Confirmación de la conexión entre el PLC y HMI.	53
4.4. Menú o pantalla principal del HMI.	54
4.5. PASO 1. Instrucciones para la preparación de la mezcla.	55
4.6. PASO 2. Pantalla de la sección de motores.	56
4.7. PASO 3. Sección de la bomba hidráulica.	57
4.8. PASO 4. Pantalla con la sección de pistones o actuadores hidráulicos. .	58
4.9. PASO 5. Pantalla con indicaciones de continuar con el procesos o cul- minación del mismo.	58
4.10. A.T. Pantalla con instrucciones de apagado total de los sistemas.	59
5.1. Resultado 1 del sistema activo del HMI. Comparación entre la pantalla principal inactiva y activa.	62
5.2. Comparación entre el estado original de los motores al iniciar el programa y la activación de los mismos al presionar los botonos de inicio.	63
5.3. Inicialización de la bomba hidráulica.	64
5.4. Activación de los actuadores hidráulicos de doble efecto.	65
A.1. Tabla del coeficiente activo del hormigón para un β dado.	67
B.1. Plano de Tacón de hule.	68
B.2. Plano de Base cúbica reforzada.	69
B.3. Plano de Flecha.	70
B.4. Plano de Mesa vibradora.	71
B.5. Plano de masas excéntricas.	72
B.6. Plano de Eje del sistema de vibración.	73
B.7. Plano de Chumacera.	74
B.8. Plano de Buje porta molde.	75
B.9. Plano de Brazo elevador derecho.	76
B.10. Plano de Brazo izquierdo.	77
B.11. Plano de Barra para elevación.	78
B.12. Plano de Tarima de madera.	79
B.13. Plano de Carro del caída de pisón.	80
B.14. Plano de Buje superior.	81
B.15. Plano de gatillo trabador.	82
B.16. Plano de barra roscada.	83
C.1. Tabla con las variables del PLC.	84
C.2. Código para activación del motor de vibro-compactación.	85
C.3. Código para activación del motor del sistema hidráulico.	85
C.4. Código para activación de la bomba hidráulica.	86
C.5. Código para el control de los actuadores hidráulicos.	86

ÍNDICE DE TABLAS

3.1. Parámetros importantes.	42
3.2. Fuerzas inmersas en los procesos de compactación y desmoldeo.	42
3.3. Cilindro hidráulico para compresión serie CH2H.	45
3.4. Cilindro hidráulico para desmoldeo serie CH2G.	45
3.5. Tabla comparativa de requerimientos y respuesta de cilindros seleccionados.	46
4.1. Características de los dispositivos utilizados.	52

INTRODUCCIÓN Y ANTECEDENTES EN LA FABRICACIÓN DE BLOQUES PARA LA CONSTRUCCIÓN

Los resultados arrojados en el 2009 por el Instituto Nacional de Estadística y Geografía (INEGI) muestran que el sector de la construcción operó en el 2008 con 18,637 unidades económicas. Debido a la aportación al Producto Interno Bruto (PIB), este sector es considerado como uno de los principales sectores económicos del país. De acuerdo a los estudios elaborados por el Centro de Estudios Económicos del Sector de la Construcción (CEESCO), la industria de la construcción registró un crecimiento del 0.6 % en el 2018, por subsectores, la Edificación (Obra Privada) registró un aumento de (+) 1.3 % en este período y el subsector Trabajos Especializados de la Construcción alcanzó un importante crecimiento de (+) 5.5 % [1].

1.1. Antecedentes en la fabricación del bloque para la construcción

La historia del bloques, el cual se ha usado para construir diversos edificios, esculturas y demás piezas arquitectónicas, tiene su origen en el año 200 a.C. en la antigua Roma. Los romanos, en el reinado del emperador Calígula que abarca del año 37 d.C. a 41 d.C., comenzaron a utilizar el mortero para unir piezas de piedra en la fabricación de sus construcciones y su arquitectura [2]. Después, en la historia del ladrillo, casi al mismo tiempo que los romanos, hace 9000 años, las culturas de la antigua Mesopotamia y Palestina fabricaban ladrillo, que fue el principal producto que contribuyó a su construcción de estas dos grandes civilizaciones [3].

Pasando por los sumerios y los babilonios, quienes construyeron sus palacios y templos con ladrillos que se secaban al sol, llegando a la edad media en el que el imperio bizantino ubicado al norte de Italia así como en Alemania y países bajos, los constructores valoraban al ladrillo por todas sus cualidades que otorgaba al momento de utilizarlo además de su valor agregado como decoración [3].

En el momento en el que el ladrillo llegó a América, los indígenas prehispánicos ya tenían conocimiento de dicho material del cual hicieron uso para la construcción de casas, de las pirámides mayas y olmecas, además de que los pueblos fueron construidos

a base de este ladrillo [3].

Cabe hacer la aclaración que al atribuir el nombre de “ladrillos” en esas civilizaciones, se está hablando del bloque que contemporáneamente se utiliza. Usaban el nombre de ladrillo pero la fabricación y el material que utilizaban era casi idéntico al del bloques.

Es así como pasando miles de años, se llega a la elaboración del primer bloques de concreto sólido el cual la historia cuenta que fue construido en 1883 por diseñadores ingleses y dos décadas después se creó el bloque hueco [4]. De acuerdo a la historia, el primer bloque de concreto hueco fue diseñado por Harmon Sylvanus Palmer en 1890 en los EEUU. Tras 10 años de experimentación, Harmon logró patentar su diseño en el año de 1900 [2]. También, cabe la posibilidad de mencionar que junto al bloque de concreto, el bloque de hormigón tuvo un auge importante. Estos bloques de hormigón fueron inventados alrededor del año de 1905 en su forma primaria. Posteriormente, a partir de 1911, se reconoce al norteamericano Harmon Palmer como el creador del primer proceso industrial de fabricación de bloques de hormigón huecos en EEUU [5].

El concreto usualmente utilizado en la elaboración de bloques de hormigón es una mezcla de agua, arena, cemento Portland; del cual se hablará más adelante, y grava. Estos componentes combinados producen un bloques de color gris claro con una textura de superficie fina y una elevada resistencia a la compresión. Generalmente, la mezcla de cemento que se utiliza para hacer bloques tiene una mayor cantidad de arena y una menor cantidad de agua y grava que las mezclas de concreto utilizadas para la construcción en general [2].

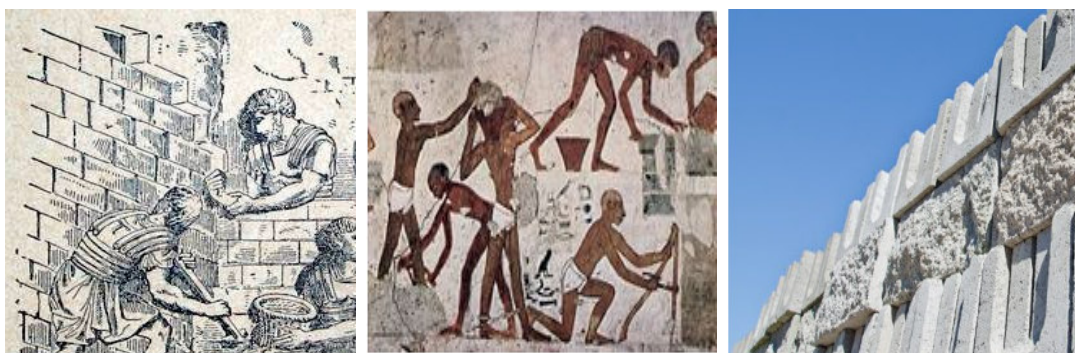
Continuando con la investigación, un estudio realizado señala que en las ciudades portuarias, se benefician de diseños innovadores a un ritmo más rápido que los asentamientos del interior, sirviendo frecuentemente como campos de prueba y laboratorios técnico-edilicios. Este fue el caso de las tecnologías de construcción [6]. Para este estudio se tomó como referencia el recurso más consumido para la creación de viviendas y edificios que es el cemento Portland, que consistía de arcilla y cal, dicho cemento estuvo presente desde el siglo XIX hasta el siglo XX [6].

Si bien, este logro tuvo su éxito con dos principales productos que fueron el mosaico hidráulico y los bloques de cemento y concreto. Los mosaicos hidráulicos, como se les conoce comúnmente, tienen su origen atribuido a ciudadanos catalanes y franceses y su nomenclatura hidráulica es debido a la prensa hidráulica que se utilizaba para la elaboración de este producto [6, 7].

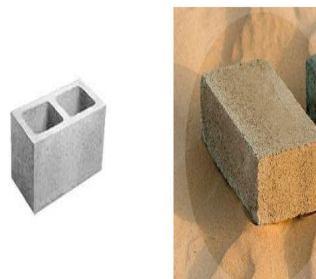
La historia de estos materiales exhibe orígenes comunes en las tres islas del Caribe las cuales son Cuba, República Dominicana y Puerto Rico. Existe documentación que sugiere que La Habana, Cuba, fue el primer lugar en el Caribe Hispano, donde se estableció una fábrica de mosaicos hidráulicos en 1886; sin embargo, la fuerte competencia

entre el producto local y la importación de baldosas, causó el fracaso de la compañía. Continuando con el antecedente del bloque, se tiene al bloque de cemento o de concreto que fue el producto de eficiencia que caracterizó a cementos Portland. De acuerdo a varios autores, en 1906, fue un auténtico invento estadounidense [6].

A continuación, en la Figura 1.1, se observa el transcurso que ha tenido el diseño del bloque a lo largo de la historia. El inciso a) muestra la etapa de los romanos, el inciso b) cuando los babilonios y los sumerios lo utilizaban, el inciso c) muestra una construcción con bloques hechos con cemento Portland y el inciso d) está conformado por dos imágenes que muestran al bloques actual en dos presentaciones.



(a) Romanos utilizando por(b) El bloque y los sumerios.(c) Bloques hechos con cemento Portland.



(d) Bloque contemporáneo de cemento y ecológico.

Figura 1.1: El bloque a lo largo de la historia.

Hoy en día, la fabricación del bloque es variada debido a distintas tecnologías y investigaciones para su mejora. Incluso existe una gran brecha para mejorar e investigar sobre los procesos y fabricación de los mismos. Tomando en cuenta que, con el paso de los años se ha tenido que modificar tanto el diseño como el uso de los materiales con los cuales se fabrican los bloques, debido a que la mayoría de ellos dejan una huella de carbono significativa para el desgaste ecológico de nuestro planeta sin tener en consideración los demás factores perjudiciales

que hay al momento de fabricarlos, es por ello que con los avances de la ciencia y tecnología se busca desarrollar bloques que cuenten con una baja huella de carbono que se han elaborado con materiales orgánicos los cuales los convierten en un producto ecológico y amigable para el ambiente.

1.2. Tipos de maquinaria

Continuando con la historia del diseño y la fabricación del bloque, es conveniente conocer desde las primeras máquinas ponedoras que se inventaron hasta las que actualmente existen con el objetivo de conocer el avance tecnológico que hubo en este campo.

1.2.1. Máquinas manuales

En 1900, Harmon Palmer [8] inventó la máquina para hacer bloques la cual tenía en su estructura hierro fundido con un núcleo extraíble y laterales ajustables. Este principio que se usó hace más de un siglo, en la actualidad, se sigue utilizando en las máquinas moderna [9]. Seguido, en 1909, el inventor Herman Besser [10] desarrolló un método para una elaboración distinta en la fabricación de bloques, en la cual modifica la manera de hacerlos a una forma fracturada eliminando la compresión a mano con una suministración de energía, además de hacer bloques de concreto más no de cemento, es decir, hacer bloques con una composición de distintos materiales y no sólo de cemento.

La Figura 1.2, muestra la primera máquina bloquera inventada por Harmon Palmer en 1900, esta fue la base para el desarrolló de distintas máquinas mejoradas y con características diferentes.

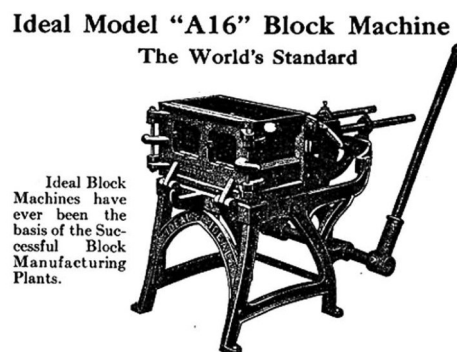
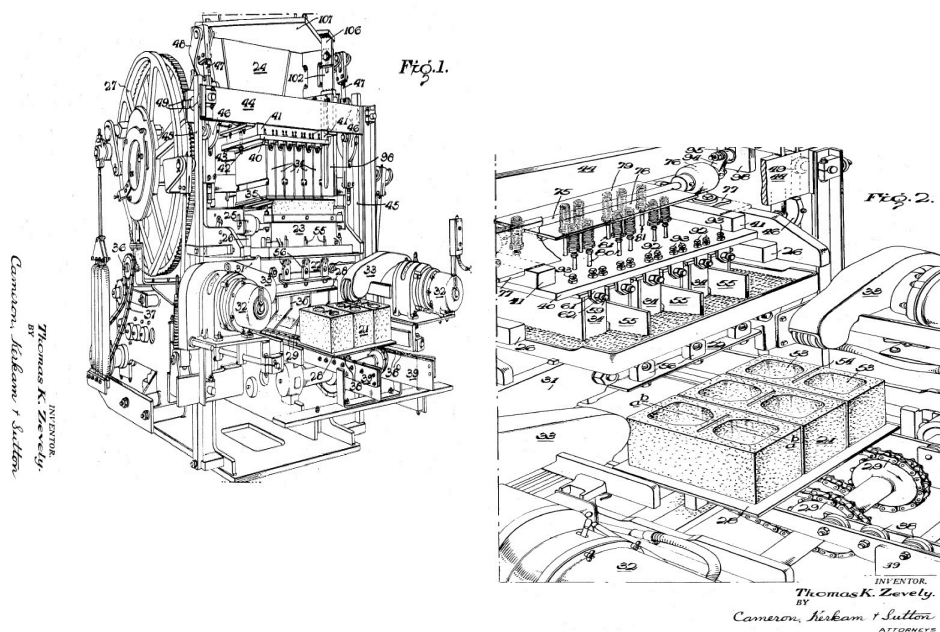


Figura 1.2: Primera máquina bloquera. [8]

Un problema común era el de crear bloques que tuvieran una durabilidad prolongada que, al momento de ser apisonados o comprimidos, no se desmoronaran por la pequeña fuerza que ejercía la mano del obrero sobre la mezcla. un factor como la temperatura provocaba que la mezcla fuera muy húmeda o muy seca, afectando la calidad del producto. Por ejemplo, trabajos como los de George W. Kramer et al. [11], John R.T. Chingan y Patrick J. Sheehan [12] y Vearn J. Huffaker [13] lograron resolver el problema de la fuerza humana sustituyéndola por pistones, implementando y haciendo un manejo adecuado con la temperatura.

En el tema del moldeado, o de los moldes para el caso de los bloques huecos, se tenía la problemática de tener partes frágiles o vulnerables al momento de hacer la compresión con el hueco en el centro, presentando una pérdida de uniformidad en toda el área del bloque. Por ejemplo, en los trabajos de T. K. Zevely [14] e Hideo Sekiguchi [15], implementaron modificaciones en los cabezales, con un mecanismo de estirado, para el momento de la compactación con la mezcla sin afectar al molde y disminuyendo la vibración que se genera al momento de compactar la mezcla lo cual afecta al producto final. En la Figura 1.3, se muestra la imagen de la patente de la máquina inventada por Zevely la cual muestra la máquina completa y la sección en donde están los moldes que se usaban para la fabricación de los bloques.



(a) Máquina de T. K. Zevely con me- (b) Bloques terminados con el me-
canismo de estirado. canismo de estiramiento.

Figura 1.3: Máquina con mecanismo de estirado [14].

1.2.2. Máquinas Semiautomáticas/Automáticas

Hablar de máquinas automáticas o semiautomáticas puede sonar contemporáneo y moderno, la realidad es que no lo es. Las máquinas ponedoras “automáticas” existen desde 1925, las cuales aumentan la producción de bloques que una máquina manual. La diferencia que hay entre las máquinas ponedoras manuales, semiautomáticas y automáticas ha ido variando conforme pasa el tiempo y conforme la tecnología se va viendo presente. La diferencia más notoria entre estas máquinas es la tasa de producción que pueden llegar a tener.

Trabajos como el de Benjamin F. Foxen [16] contribuyó a que las máquinas ponedoras aumentaran la producción, identificando y resolviendo un problema que había en el ensamblaje del molde, el cual a menudo se tenía que desmontar junto con el marco para la liberación del producto final; teniendo un ensamblaje distinto. En la Figura 1.4 se puede observar el ensamblaje propuesto por Benjamin F. Foxen para aumentar la tasa de producción y evitar el problema de desmontar el marco.

De ahí en adelante, surgió un trabajo notable como el de Quintin Booyesen [17] el cual implementa un sistema hidráulico más eficaz para aumentar la producción en un menor tiempo.

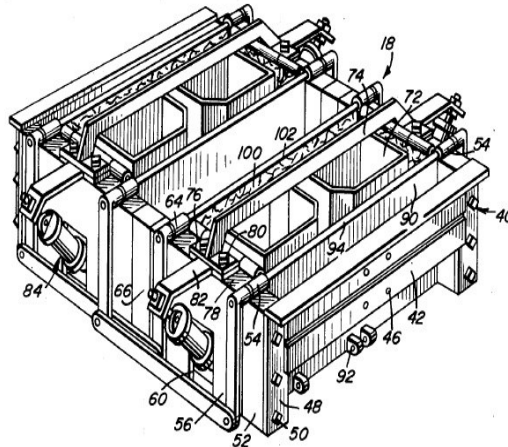


Figura 1.4: Ensamblaje propuesto para aumentar la producción de bloques [16].

El término “automático” ha tenido que usarse en distintas épocas de la humanidad dándole un enfoque distinto en cada una de ellas, es decir, es un término atemporal que su significado va cambiando conforme la ciencia y la tecnología van avanzando. Las “máquinas automáticas” del siglo XX recibían ese nombre puesto que se encontraban en la cúspide de avance, tiempo después, dichas máquinas tuvieron que recategorizarse a semiautomáticas, precisamente, por la evolución de la tecnología, trayendo una nueva diferencia entre semiautomático y automático.

Cuando se habla de automático, se refiere a una automatización, es ahí cuando entra en presencia un invento novedoso que si bien, en el siglo XX ya existía, no había tenido el auge y la importancia que está teniendo en esta época, el uso de los Controladores Lógicos Programables. Cuando una máquina ponedora tiene en su control a un PLC (del inglés *Programmable Logic Controller*) se dice que es una máquina automática; cuando es operada por un sistema distinto a él y el aporte humano es pequeño, es una máquina semiautomática y cuando no hay nada automatizado o que la presencia del trabajo humano es muy considerable, es una máquina manual. En la Figura 1.5, se muestran divididas por incisos los tipos de máquinas que se encuentran hoy en día en sus 3 categorías.



(a) Máquinas ponedoras manuales. (b) Máquinas ponedoras semi-automáticas. (c) Máquina ponedora automática.

Figura 1.5: Categorías de máquinas ponedoras.

Trabajos como el de Layton M. Parhurst [18] y H. W. Evans et. al [19] son claros ejemplos en donde se usa el término automático sin la presencia de un PLC debido a que no existían en ese tiempo, categorizando sus inventos como automáticos sin esperar que con el avance de la tecnología cambiaran a semiautomáticos.

Actualmente, se encuentra una gran variedad de máquinas ponedoras de las tres categorías mencionadas, manuales, semiautomáticas y automáticas. El uso de cada una de ellas depende del objetivo a alcanzar, de la producción que se quiere obtener y del desgaste que se puede adquirir al estar en funcionamiento dichas máquinas.

1.3. Justificación

La industria de la construcción ha tenido un auge importante a lo largo de los años en nuestro país, México, debido a que es una de las áreas con mayor crecimiento y aseveración que fortalecen al país al inyectar un capital importante en el PIB y en la economía en general; sin embargo, ha logrado situarse como una de las industrias más importantes del país. No obstante, se ha visto resagada por diversos factores que han logrado opacar este sector, ya que de acuerdo a la revista Forbes, la industria de la construcción se ha visto afectada por los cambios en las políticas de vivienda, el subejercicio del gasto fiscal y la reducción del déficit implementadas por el nuevo gobierno [1].

En la industria de la construcción, se está desarrollando una gran demanda de productos de alto valor agregado como lo son productos biológicamente degradables o bien, de baja huella de carbono o de recuperación de materias primas de carácter orgánico. De esta manera, se está integrando, a las máquinas fabricadoras de tabiques y bloques, esta modalidad de equipos ecológicos, componentes y materiales de origen orgánico como lo son las fibras. Además, el control automático, o semiautomático, ha tenido al paso del tiempo un importante papel en el desempeño del avance de la ingeniería el cual se ha convertido en una parte esencial en los procesos industriales modernos. Es muy común utilizar un PLC y un software de visualización para cualquier tipo de automatización.

Debido a lo mencionado, en este trabajo de tesis se busca la reconversión mecatrónica de una máquina ponedora en su modelo manual a una máquina que contenga sistemas hidráulicos para su compresión y desmoldeo, así como una interfaz HMI (del inglés *Human-Machine Interface*) de control hombre-máquina para su programación de operación y su sistema semiautomático de control. Estos cambios, además de que sustituyen la fuerza del operador por otro tipo de fuerza, aumentan la calidad del producto final, hay un mejor manejo por parte del operador y aumenta la tasa de producción.

1.4. Objetivo

Implementar una reconversión mecatrónica de una máquina ponedora de la industria de la construcción para la fabricación de bloques, tabique, panel, entre otros. Haciendo una reconversión del modelo mecánico a modelo hidráulico, así como la instalación de todas las interfaces de control como lo son: posicionamiento, actuador de subida y bajada, encendido y apagado de motor y programación hombre-máquina. Esto permitirá desarrollar el proceso de manera semiautomática. La ventaja que adquiere la industria de la construcción con la implementación de sistemas hidráulicos e interfaces de control es un mejor manejo en la producción del producto, verificar la calidad del mismo y ser operada por personas capacitadas o no capacitadas.

1.5. Contenido y desarrollo del proyecto de tesis

En este proyecto de tesis, se expondrán temas de diseño y fabricación de bloques utilizados en la industria de la construcción así como las distintas maquinarias que logran el procesos de fabricación. De igual forma, se dará a conocer información acerca de la máquina ponedora para la cual se hará una reconversión a un modelo hidráulico añadiendo un control automático con un PLC así como una HMI (del inglés *Human-Machine Interface*) o una interfaz de control Hombre-Máquina.

En el capítulo 2 se describe el caso de estudio que es la máquina ponedora a reconvertir. Esta se describe y categorizará, además, se evalúa su condición y se realiza la caracterización mecánica de la misma. Finalmente, se describen los componentes que contiene la máquina así como una muestra de planos y figuras de la misma.

En el capítulo 3 se describe el desarrollo del sistema hidráulico con el que se realiza la reconversión de la máquina ponedora. Así mismo, se cuenta con los diagramas conceptuales, con el modelado de los actuadores hidráulicos, cálculo de fuerzas que intervienen en los procesos de compresión y desmoldeo y finalmente con la instrumentación y control de todo el sistema hidráulico.

El capítulo 4 muestra la automatización y la interfaz de control HMI de la máquina ponedora y de los distintos sistemas que se utilizan. Ahí mismo se habla del Controlador Lógico Programable, del modelado del control del sistema y del código utilizado para el PLC.

Para el capítulo 5 se tienen los resultados y trabajos futuros de este trabajo de tesis que incluye una comparación entre el sistema HMI sin funcionamiento y el mismo sistema ya en función, los factores que se pueden mejorar en la máquina y perspectivas.

Finalmente se cuentan con tres anexos que, grosso modo, muestran casos de estudio, planos de la máquina analizada y el código de programación del PLC.

En el presente capítulo, se presenta todo lo relacionado con la máquina ponedora bajo estudio, así como el proceso por con el cual se elaboran los bloques; aunado a ello, se presentan planos del objeto analizado. El uso de software, permiten tener una representación virtual de la máquina, para su posible mejora en proyectos futuros sin perder el objetivo principal, precisamente, analizar la máquina en su estado actual. Es por esto que se presenta la máquina ponedora en su modelo mecánico y se mencionan las modificaciones planeadas para poder tener otro tipo de modelo de máquina, que es el hidráulico, y en su éxito, una recategorización de maquinaria para obtener la reconversión mecatrónica planteada en el objetivo principal.

El planteamiento de este capítulo se centra en análisis de la máquina ponedora bajo estudio y en la comprensión de las diferencias existentes de las técnicas de compactación entre el procedimiento conservador y contemporáneo. De igual forma, se muestra una elección entre estos dos procedimientos para los cuales se elegirá el que muestra mejores resultados al momento de producción de bloques.

2.1. Vibro-compactación y tipo de máquina

La máquina ponedora bajo estudio es una Máquina Bloquera Ponedora Manual (MBPM) con un modelo mecánico. El uso de las primeras máquinas que se utilizaban en la aquella entonces naciente industria de la construcción, se encontraban limitadas a una compactación de la mezcla con una técnica manual, es decir, la fuerza de compresión usada era la que el operador implementaba; este método se siguió utilizando hasta los años 20's además, se utilizaban algunos componentes mecánicos que ayudaban a tener una mayor fuerza sobre la mezcla. Tiempo después, se descubrió una compactación con mejoras notablemente resaltantes que fue lograda basándose en vibración y compresión [20]. Hoy en día, existe una gran diversificación de elementos destinados a la construcción. Estos elementos son llamados vibro-comprimidos, los cuales cuentan con un sistema vibro-compactador, comúnmente conocido como máquina ponedora o Máquina Bloquera Ponedora Manual [21].

Las MBPM's cuentan con versiones robustas y no robustas, la diferencia entre

ellas se pueden observar mediante las siguientes características: las no robustas son pequeñas, de tamaño no mayor a un metro y medio de alto y dos metros de ancho, son fáciles de transportar y cuentan con un sistema de compactación conservador o tradicional que es el de apisonamiento, son útiles para comenzar en el área de la construcción y su producción es menor en comparación a las versiones robustas. Las MBPM's robustas son grandes, de tamaño mayor a los dos metros de alto pero no mayor a metro y medio de ancho, difíciles de transportar, están elaboradas para funcionar en ambientes laborales pesados, que sean operadas por personal no capacitado y apta para cualquier tipo de ambiente natural debido a que no hay un desgaste del material con el que están hechas, sólo necesitan el mantenimiento adecuado al paso del tiempo en el que están siendo utilizadas.

Es conveniente conocer algunas técnicas que puedan llevar a cabo en conjunto con las MBPM's y así poder obtener máquinas eficientes que obtengan productos de calidad. Por más de 70 años se han buscado técnicas que ayuden a la eliminación de las imperfecciones encontradas en los suelos granulares con el objetivo de obtener superficies rígidas y compactas para poseer seguridad al momento de realizar cualquier tipo de construcción ya sea vial o de edificación. Una de las técnicas probablemente con más antigüedad es la técnica de vibro-compactación propuesta e implementada por la compañía Johann Keller en 1936 [22]. Esta técnica provee mejoras al terreno por una vibración profunda en el suelo la cual genera una densificación de suelos no cohesivos con un vibrador en profundidad [23]. El término no cohesivo hace referencia a suelos o a algún otro tipo de mezcla en donde no Figura elementos adhesivos como cemento, grava o arena [24].

Trabajos como los de Schneider [25] se ven vistos en un época de la pre-guerra en 1938, que muestran a detalle el proceso en el cual se ve aplicada la técnica de vibro-compactación. Tiempo después, surgieron trabajos como los de Greenwood [26] y de Kirsch [27] para la etapa de la post-guerra, en los años de 1976 y 1993, respectivamente. Al conjunto de técnicas, como la vibro-compactación y vibro-sustitución, donde existe la compactación y movimientos vibratorios, se les conoce como técnicas de vibración profunda.

Con base en los trabajos de Keller, Schneider, Kirsch y Greenwood, el proceso de vibro-compactación tiene como objetivo densificar por vibración. Este proceso se puede explicar de la siguiente manera: primero, es necesario tener un equipo vibratorio en la profundidad del terreno, o hasta la medida que en la que se necesite aplicar la técnica, el cual densificará el terreno circundante mediante la transmisión de un elevado nivel de energía vibratoria y debido al desplazamiento lateral del terreno. Posteriormente, para la perforación del terreno se hará uso de varillas, tubos de acero, entre otro tipo de materiales, a la par de proporcionar torrentes de agua («jets» de agua). Los movimientos de las varillas son verticales, en orden descendente y ascendente, combinados con el torrente de agua para la eliminación de la fricción que se encuentra inmersa en el los distintos componentes del terreno y lograr una reorganización de las partículas.

Las continuas vibraciones y los chorros de agua proyectados por la parte inferior del vibrador, generan una licuefacción del terreno que permite que los granos se reordenen en un estado más denso [28].

De este modo, se logra incrementar la densidad relativa de suelos granulares hasta valores del 70 % al 85 %, y como consecuencia se obtiene un importante incremento de su ángulo de rozamiento y rigidez. La reducción de volumen obtenido mediante la densificación por vibrocompactación produce un nivel de asentamientos de aproximadamente del 15 % del espesor del suelo tratado. Finalmente, el volumen reducido debido a la compactación de las varillas o culmnas, es compensado por arena limpia [23]. Con el proceso de vibro-compactación se obtienen resultados en el aumento de la rigidez del terreno, reducción en la permeabilidad del terreno, aumento en la resistencia al corte, entre otros.

En la Figura 2.1, se puede observar el proceso de vibro-compactación donde se utiliza una máquina que contiene dos columnas metálicas, la primera que sirve como apoyo y la segunda que realiza perforación al terreno. Esta segunda columna tiene como actuador final un sistema de vibración que se encargará de proporcionar las vibraciones junto con los torrentes de agua.

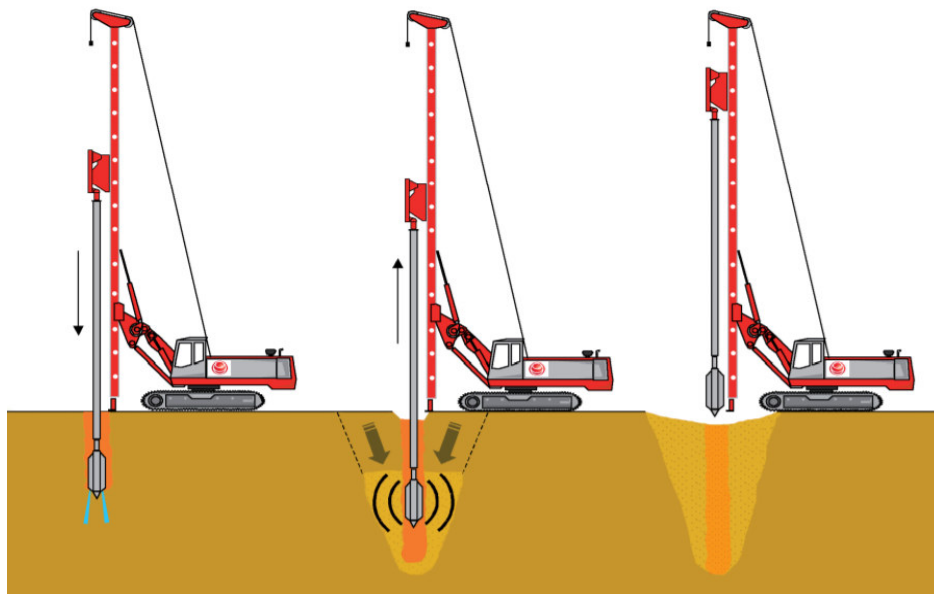


Figura 2.1: Proceso de vibro-compactación [28]

Con fundamento en el proceso planteado de la vibro-compactación, se pueden extrapolarse los resultados obtenidos a la fabricación de los bloques utilizando un principio de funcionalidad muy similar. Se pueden hacer las siguientes analogías con las varillas compactadoras y los pisonos que tienen las máquinas ponedoras realizando los mismos movimientos ascendentes y descendentes, el equipo vibratorio y un sistema de vibración

constituido por un motor, una base y un juego de poleas, el fluido (agua)

con la humedad de la mezcla, y el suelo no cohesivo con los elementos que están presentes en la mixtura con la que se elabora el bloque.

Es natural que ante estas analogías exista cierta zozobra referente a la extrapolación de resultados en la fabricación del bloques; no obstante, investigaciones existentes muestran resultados de trabajos realizados donde se aplica la técnica de vibro-compactación para la producción de bloques. Trabajos como el de Nguyen [29], donde una empresa ubicada en la región Nord-Pas-de-Calais en Francia, fabrica bloques de hormigón por vibro-compactación. Una vibración de alta frecuencia se acopla a una compactación para producir bloques de hormigón semisecos. También, trabajos como el de Zhi Xing [30] reemplazan algunos elementos de la mezcla por arena en bloques fabricados por vibro-compactación.

2.2. Descripción de la máquina bajo estudio

La máquina bajo estudio es la Máquina Bloquera Ponedora Manual en su formalidad genérica, la cual tiene la siguientes especificaciones importantes en su modelo mecánico:

- Productividad de 640 bloques por jornada laboral, es decir, fabrica 80 piezas por hora.
- Cuenta con distintos moldes para elaborar bloques de distintos tamaños.
- El material que se usa para su fabricación son placas de 3/16 revestidas en 3/8, flechas de 2" tipo cold roll y bujes de barra hueca.
- Cuenta con un área de vibrado 0.58 x 0.45 metros.
- Motor trifásico de 220/440 V y de 6.8/3.5 AMP.
- Tiene una masa, con molde incluido, de 300 Kg.
- Mide aproximadamente 165 cm de altura y 75 cm de anchura con una profundidad de 60 cm.
- Esta máquina fabrica bloques de diferentes medidas y todo tipo de adocretos.
- Cuenta con 2 pisones para realizar la compactación.

Además, cuenta con una palanca accionadora encargada de levantar todo el equipo de pisonamiento para poder liberar el producto, es decir, esta palanca regresa a su lugar de origen, en la parte superior de la máquina, a los pisones para extraer el

producto compactado y así se pueda volver a introducir mixtura en los moldes.

La máquina bajo estudio cuenta con un gran número de elementos, de los cuales 17 se consideran como principales y se detallan uno a uno más adelante para tener un análisis completo de la máquina y con ello tener un panorama más claro al momento de instalar el sistema hidráulico. Se presenta las piezas en un modelado 3D, dicho modelado se logra obtener utilizando el software Inventor Autodesk. Este software permite modelar piezas así como conseguir un plano de las mismas.

La Figura 2.2, que se presenta a continuación, muestra la base cúbica de la máquina estudiada, la cual cuenta con un doblez, esto con el objetivo de tener una base sólida y reforzada.

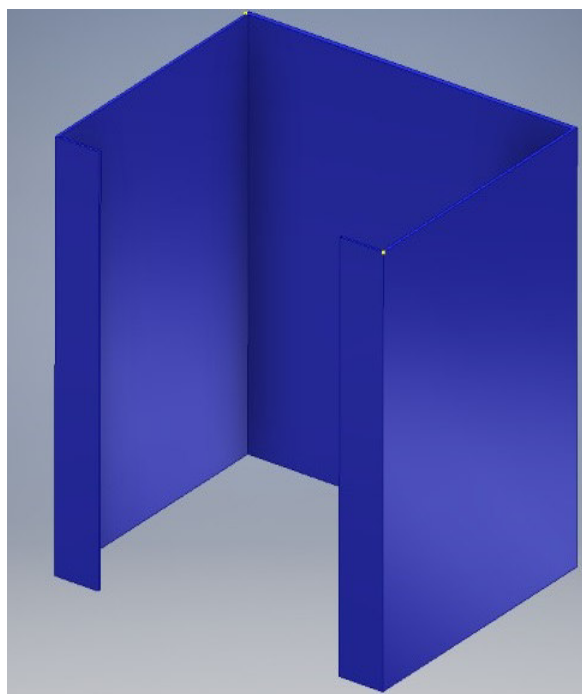


Figura 2.2: Base cúbica con doblez modelada de reforzamiento.

La base de la máquina bloqueadora se constituye de una placa con doblez quedando únicamente una cara abierta para el acceso al sistema de vibración; este sistema de vibración está constituido por un motor trifásico el cual está conectado a un sistema de poleas para poder generar las vibraciones necesarias y con ello obtener la técnica de vibro-compactación que anteriormente fue explicada. También, es posible construir la base de manera rústica creando una estructura con perfiles angulares; sin embargo, el diseño de la máquina que se presenta es el más ideóneo debido a que al tener una base firme, ésta será de ayuda para el sistema hidráulico que se instalará; dicho sistema cuenta con un actuador con un pesaje considerable para el cual se necesita poseer una base resistente, para evitar algún tipo de complicación de que la compactación no sea

2.2 DESCRIPCION DE LA MÁQUINA BAJO ESTUDIO

la adecuada e inclusive, un daño permanente a todos los elementos de la máquina.

En la Figura 2.3, se muestra el plano de elaboración de la base cúbica. Este plano también fue obtenido utilizando el software Inventor. Cabe señalar que como medida de ejemplificación, se muestra únicamente el plano de esta pieza debido a que los planos de los elementos faltantes se encontrarán en la sección de “Anexos” de este trabajo de tesis.

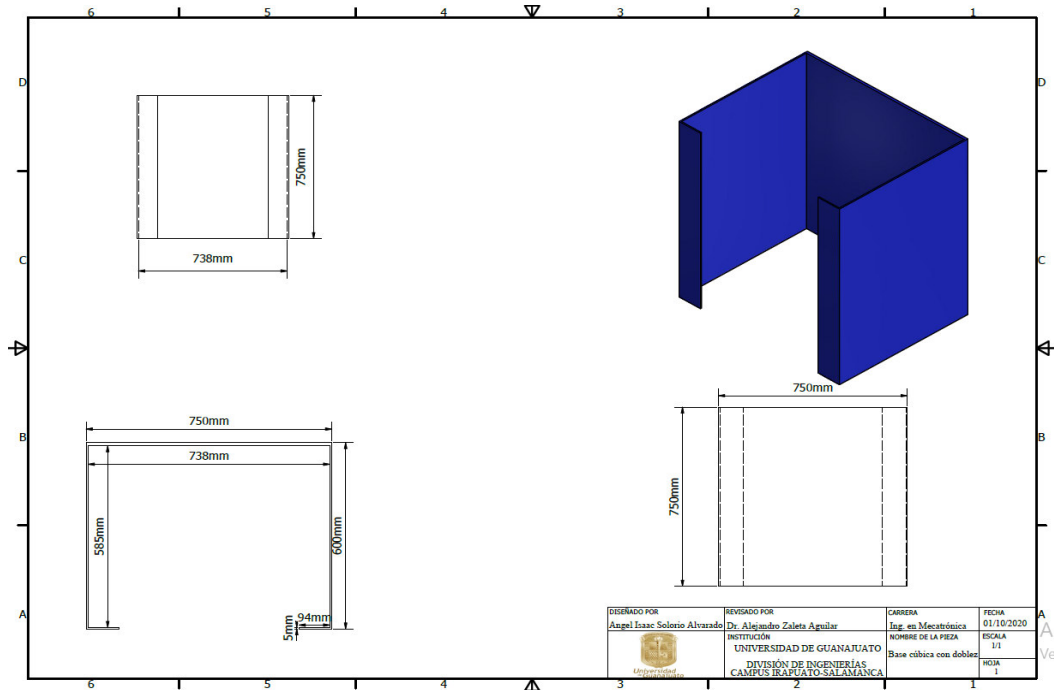


Figura 2.3: Plano de base cúbica con doblez.

Puede notarse en la 2.3 que este doblez ayuda a que la base sea más firme y con características sólidas para brindar un estabilidad a la máquina y al sistema hidráulico que se instalará; no obstante, no será suficiente con un simple doblez para la base de la máquina, si no que será necesario realizar ajustes y modificaciones para lograr una estructura firme que será el soporte de toda un sistema de compactación que incluye tanto motores, actuadores, flechas, moldes, entre otros elementos.

Una vez obtenida la base cúbica con el doblez como reforzamiento, es necesario hacer un segundo refuerzo y añadir otros elementos para continuar con su construcción. En la Figura 2.4, se muestra el reforzamiento consistiendo en soleras para reafirmar una base cúbica sólida y una placa de contacto con el suelo; además, se observa que tiene una solera de soporte para las flechas verticales, una rejilla para soporte de motor eléctrico, barrenos para el mecanismo de desmoldeo y placa y casquillos de tubo para soportes de la mesa vibradora.

2.2 DESCRIPCION DE LA MÁQUINA BAJO ESTUDIO

Al agregar estos componentes se consideró el espacio que ocupa el motor trifásico y el sistema de poleas que se unirá a él. De igual forma, la posición en la que se colocará es en una orientación horizontal. En esta posición, se obtiene un pequeño margen de tolerancia para alinear la polea conducida a la polea motriz.

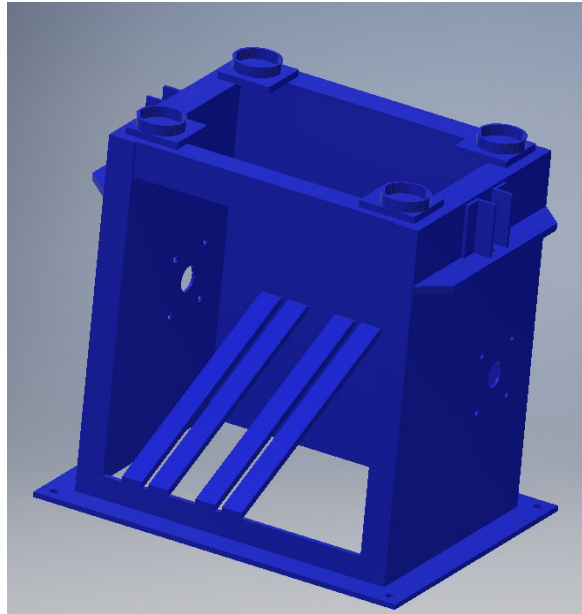


Figura 2.4: Base cúbica con reforzamiento y sección de adaptación al sistema de vibración.

En la Figura 2.5, se muestra el motor trifásico de 3 HP de potencia a 60 Hz y con alimentación trifásica que se utiliza para proporcionar una frecuencia de vibraciones necesaria para la técnica de vibro-compactación.

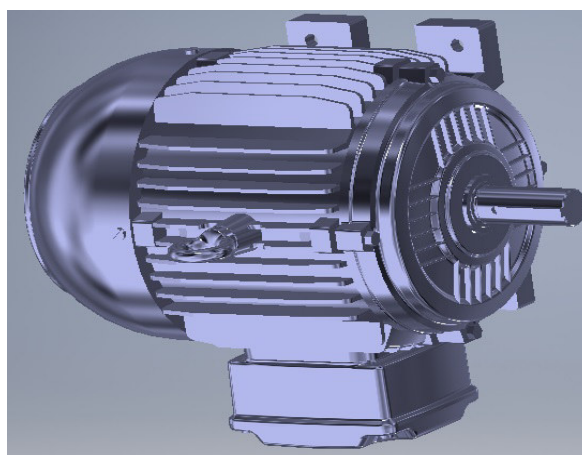


Figura 2.5: Motor trifásico de 3 HP.

Los siguientes elementos a analizar son las flechas verticales. Estas flechas van a los lados de la máquina, en una colocación paralela y exactamente perpendicular a la

2.2 DESCRIPCION DE LA MÁQUINA BAJO ESTUDIO

cara superior de la base. Estos componentes son esenciales para la máquina debido a que las flechas son el soporte del sistema de compactación, es decir, son la guía por las cuales los pisones se deslizarán para lograr la compactación a la mixtura.

En la Figura 2.6, se puede observar el ensamble de la base cúbica y las flechas a los lados. También, pueden notarse los 4 tacones de hules que separan el contacto entre metales para evitar desgaste en el material y al mismo tiempo reducen el ruido provocado por la vibración. Estos tacones al ser colocados cuentan con cierto juego para no poseer un alto grado de rigidez al momento de compactar, esto permite una mejor vibración y por ende, una mejor aplicación de la técnica.

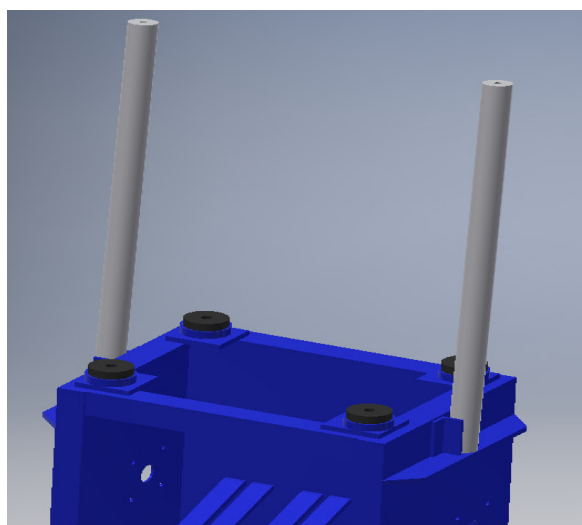


Figura 2.6: Ensamblaje flechas y el tacones de hule.

En la Figura 2.7, se puede observar el elemento siguiente a analizar el cual es la mesa vibratoria de 58 cm x 45 cm, la cual pertenece al sistema general de la máquina bloqueadora ponedora, pero también forma parte del sistema de vibración. Es una pieza fundamental para llevar a cabo adecuadamente la técnica de vibro-compactación.

Con este elemento es posible llevar a cabo una de las partes de la técnica logrando, junto con el movimiento del motor, que las partículas encontradas en la sustancia no cohesiva logren un acomodado y así eliminar espacios vacíos que no favorecen a la rigidez de la mezcla. Se puede observar que la mesa vibratoria cuenta con refuerzos de solera laterales, casquillos para retención de tacones de hule, barras centrales con soportes del mecanismo de vibración y por la cara opuesta de la plancha requiere las guías de la tarima de madera.

Ahora bien, para generar el movimiento vibratorio sobre la mesa de vibración, son necesarias dos masas excentricas que están unidas en cada extremo a una flecha de metal que a su vez tiene chumaceras unidas a la mesa vibratoria para obtener un mejor soporte y así lograr las vibraciones. En la Figura 2.8, se observa el mecanismo de

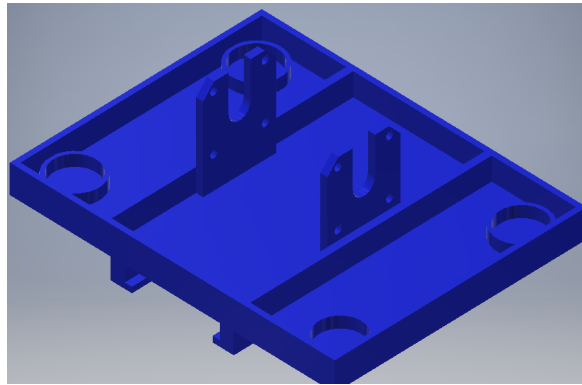


Figura 2.7: Mesa vibratoria.

vibración ensamblado el cual está montado en la parte inferior de la máquina bloquera ponedora. Para dar movimiento a las bandas de transmisión y a las poleas, es necesario unir las al motor trifásico y así tener el sistema de vibración terminado.

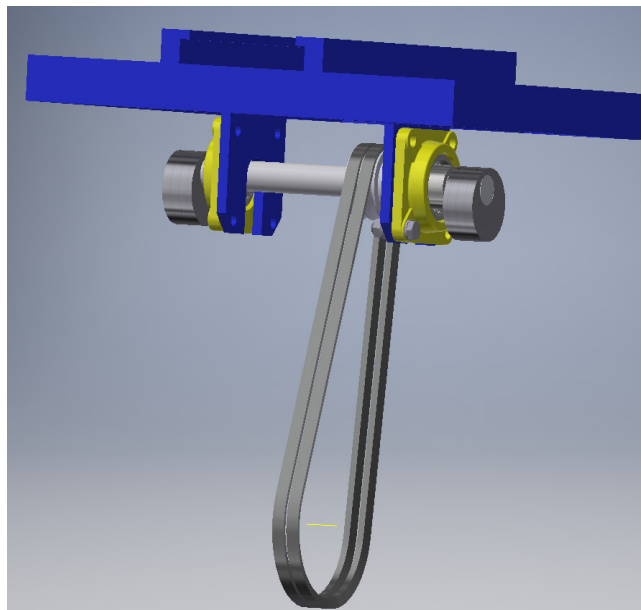


Figura 2.8: Sistema de vibración.

Es de notarse en la 2.8 que el sistema de vibración va a generar las vibraciones debido al movimiento de rotación que van a tener las masas exéntricas que se encuentran en cada extremo de la flecha. Sin la presencia de dichas masas, no es posible generar un movimiento vibratorio y por ende, la técnica de vibro-compactación no se podría llevar a cabo con éxito. Otra opción para generar vibraciones es colocar un segmento de barra en la parte media de la flecha que se pueda fijar por medio de soldadura y así obtener movimientos vibratorios que favorezcan al momento de la compactación y poseer un producto rígido sin espacios vacíos dentro de la mixtura.

2.2 DESCRIPCION DE LA MÁQUINA BAJO ESTUDIO

Los siguientes elementos a analizar forman parte del mecanismo de desmoldeo. Las piezas que constituyen a este mecanismo son cinco y se presentan en la Figura 2.9.

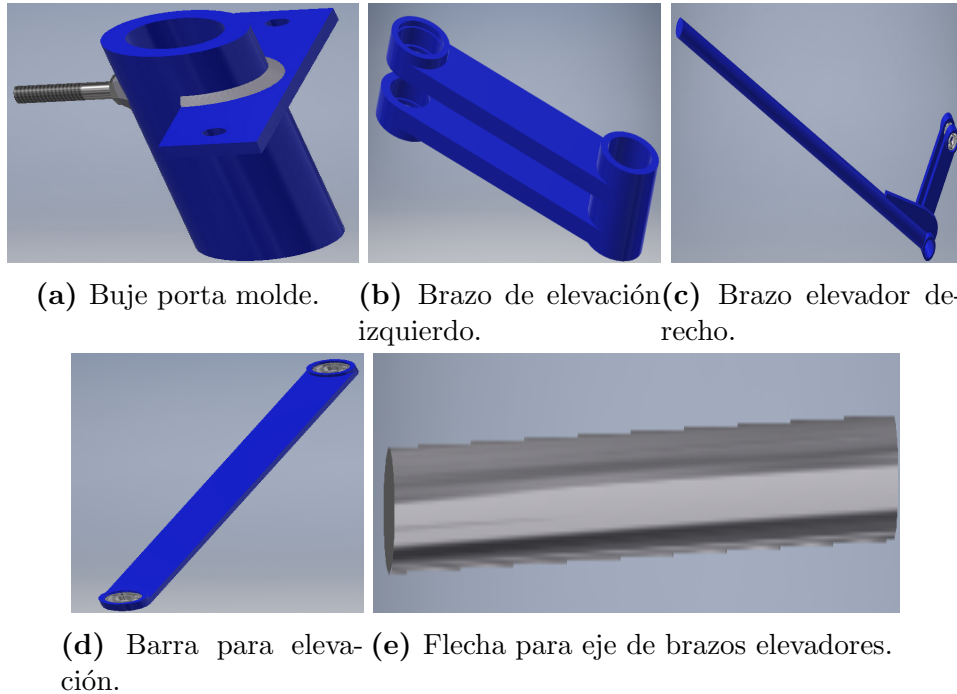


Figura 2.9: Mecanismo de desmolde.

El siguiente elemento a analizar es la tarima. El material para su construcción de preferencia, es madera; sin embargo, puede de ser de cualquier tipo de material. En la Figura 2.10 se presenta la tarima de madera de medida 50x30 cm, la cual cumple con la función de que exista un punto intermedio entre el sistema de vibración y el sistema de compactación.

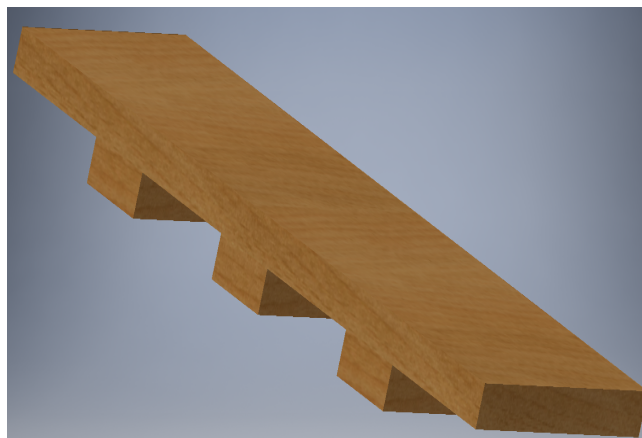


Figura 2.10: Tarima de madera.

2.2 DESCRIPCION DE LA MÁQUINA BAJO ESTUDIO

La Figura 2.11, muestra el ensamblaje completo del mecanismo de desmoldeo incluyendo el eje soportado por chumaceras así como también la tarima de madera, la base, el motor y los demás elementos analizados anteriormente.

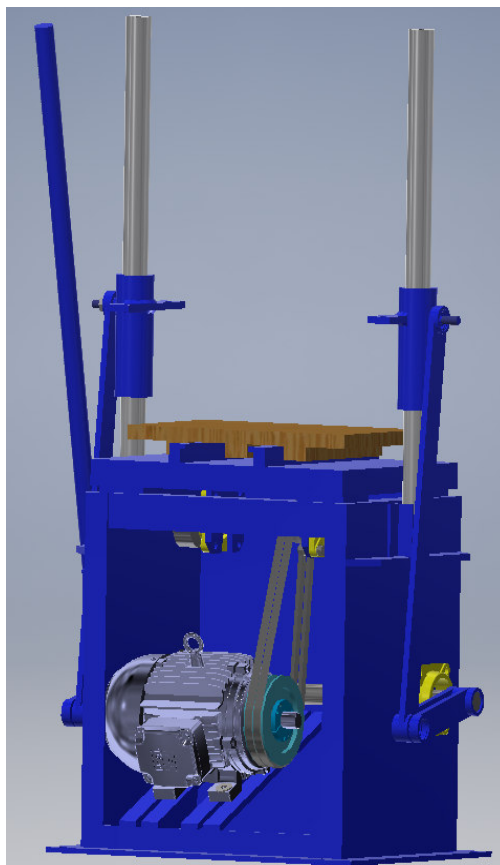


Figura 2.11: Máquina ponedora con sistema de vibración y mecanismo de desmoldeo.

El elemento siguiente a analizar es el molde los bloques en cual se coloca la mixtura no cohesiva para poder producir el producto. Los moldes de cualquier máquina bloquera son los elementos que requieren de mayor atención en el momento de accionar la máquina debido a que la fricción que existe entre el concreto y el metal producido por las vibraciones del sistema de vibración da como consecuencia un desgaste rápido del material.

Si se toma en consideración que el tamaño y la forma de los bloques depende de la región del país o del mundo en el que se fabrique, existen distintos moldes para cada ubicación geográfica; sin embargo, los bloques más comercializados miden 12 cm de ancho, 20 cm de alto y 40 cm de largo teniendo un margen de error de ± 0.2 cm en la altura. Existe un grosor óptimo para las placas que recubren al molde, este grosor debe de ser de $\frac{1}{4}$ de pulgada debido a que el metal con el que se fabrica de ser más delgado al óptimo, al momento de hacer la compactación se deformaría y si se estima un grosor más grande al óptimo, sólo se desperdiciaría más material al momento de la fabricación

2.2 DESCRIPCION DE LA MÁQUINA BAJO ESTUDIO

sin tener aporte benéfico alguno. En la industria se encuentran moldes fabricados con un material llamado acero dulce o acero suave, este tipo de acero contiene de 0.15 % a 0.25 % niveles de carbón y debido a estas características es muy dúctil y no se corroe con facilidad; no obstante, su duración y rendimiento es muy poco en la producción de bloques.

En la Figura 2.12, se muestra el diseño del molde para dos piezas de producción de bloques a demás que su diseño fue hecho para una mayor resistencia a la compactación y al rozamiento que se tiene con los compactadores.

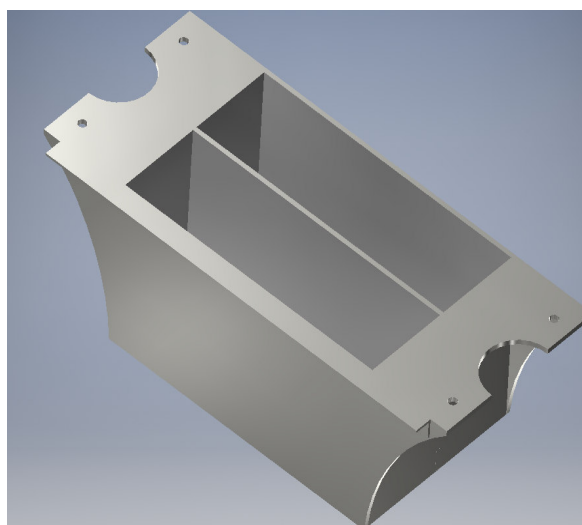


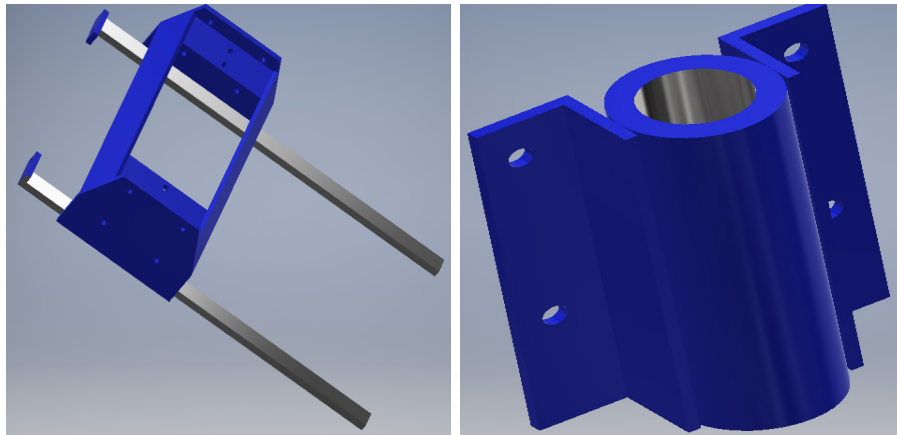
Figura 2.12: Molde de dos piezas de producción de bloques.

Añadiendo a la fabricación de los moldes para la producción de bloques, estos también se elaboran con un material llamado acero templado, pero de igual forma que el acero dulce, no es óptimo ni eficiente para este tipo de actividades de producción. La mejor manera de hacer un molde resistente que soporte el rozamiento de los compactadores y la fricción existen entre ellos, es producir moldes con recubrimiento en aleación de acero, logrando un rendimiento de hasta 20 veces mayor al acero dulce.

Se continúa el análisis de la máquina bloqueadora manual con el sistema de cabezal móvil, este sistema es el encargado de guiar al carro porta pisón del cual se habla más adelante, de deslizarse hacia adelante y hacia atrás para poder rellenar los moldes con la mezcla no cohesiva y una vez realizada la compactación, deslizar el carro porta pisón hacia el otro extremo para poder retirar el producto.

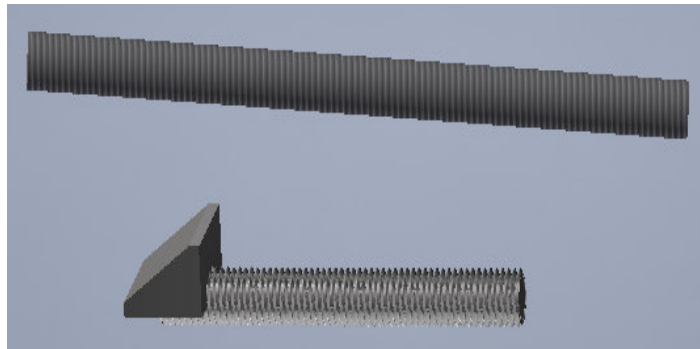
Este sistema de cabezal móvil cuenta, al igual que el mecanismo de desmoldeo, con distintos elementos que en su conjunto forman dicho sistema. Los elementos que forman al cabezal móvil son dos, el cabezal de desplazamiento vertical o también llamado caída de pisón y los bujes con soportes para el cabezal. Además, están incluidos el gancho trabador y la barra roscada.

En la Figura 2.13, se muestran los elementos que conforman al cabezal móvil.



(a) Cabezal del caída de pisón.

(b) Buje superior.



(c) Barra roscada y gancho trabador.

Figura 2.13: Elementos del cabezal móvil.

El elemento siguiente a analizar es uno de los más importantes en la máquina bloquera, debido a que su función es mover el pisón de compactación para poder liberar el producto y para rellenar el molde con la mezcla de preparación de bloques. El carro porta pisón consiste en una estructura de placa con refuerzos laterales y barrenos para tres diferentes funciones: en sus barrenos laterales esta soportado por rodamientos para facilitar el desplazamiento horizontal sobre las guías del cabezal móvil, en los barrenos centrales se permite el intercambio de varios modelos de pisón de acuerdo al tipo de bloque que se desea fabricar y en los barrenos frontales se instala el razador de concreto. Las cejas tipo ángulo funcionan como palancas para disparar el gatillo de la caída del pisón al momento de comprimir.

El elemento que va unido a este carro porta pisón es, precisamente, el pisón o compactador que se encargará de cumplir la función de compactar y dar forma a la cara superior del bloques. En la Figura 2.14, se puede observar el ensamble que se realizó en la máquina bloquera ponedora manual del cabezal móvil, y sus componentes, del carro porta pisón, y sus elementos correspondientes, así como el mismo pisón.

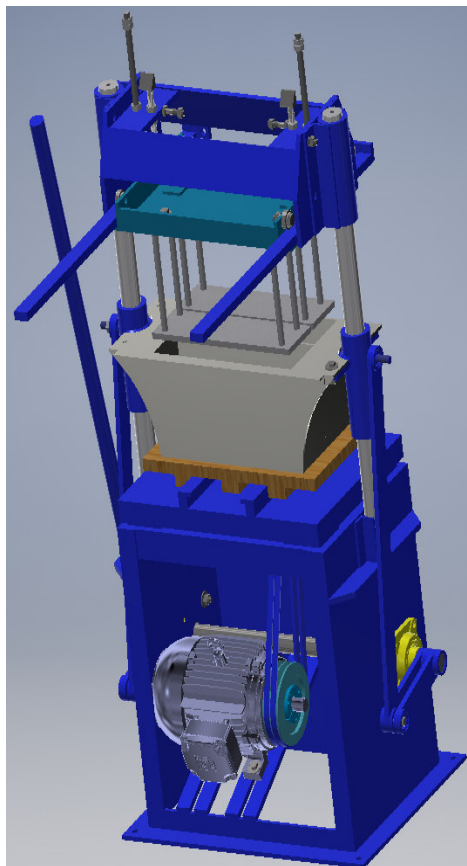


Figura 2.14: Ensamble del cabezal móvil, porta pistón y pisón.

Esto quiere decir que el pistón puede tener en su cara inferior alguna marca, estilo, diseño o molde con el que se quiere o se necesita producir un bloques. Algunos pistones cuentan con molde sólido extruído de las caras para generar un bloques distinto al convencional, este molde extruído genera un orificio central en el bloques para así tener otro tipo de ladrillo llamado bloques hueco o tabique hueco.

Para finalizar con el análisis de los elementos de esta máquina bloquera, se mencionan las últimas piezas, pero no significa que sean menos importantes. El rizador permite eliminar el excedente de concreto durante el proceso de compactación de los bloques. El cabezal fijo da un mayor soporte en la superior de la máquina así como también cuenta con el ensamble del trabador y gatillo de destrabe automático. Este último ayuda cuando el carro porta pistón se acerca al tope frontal de sus guías, deberá pasar a empujar el gatillo de destrabe. Cuando el gatillo se encuentra en su lugar de origen, este se balancea si la máquina está compactando o el motor está encendido provocando el efecto de vibración. Finalmente, el resorte de trabador que obliga al trabador a regresar a su posición por defecto.

En las Figuras 2.15 y 2.16, se muestra a la máquina bloquera ponedora manual

2.2 DESCRIPCION DE LA MÁQUINA BAJO ESTUDIO

en sus distintas vistas principales como lo son: frontal, posterior, lateral izquierdo y lateral derecho. Además, el señalamiento de sus respectivos componentes.

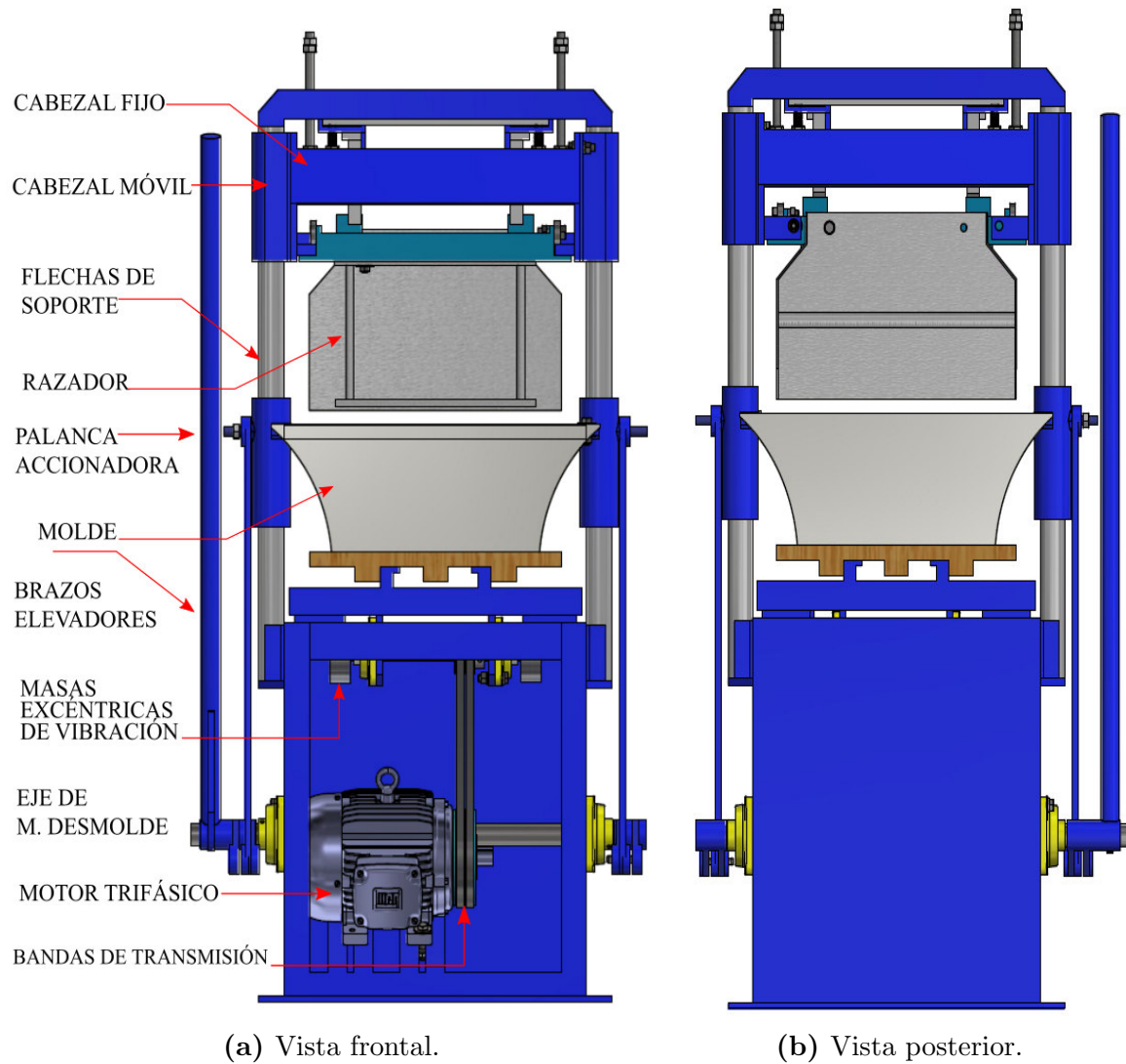
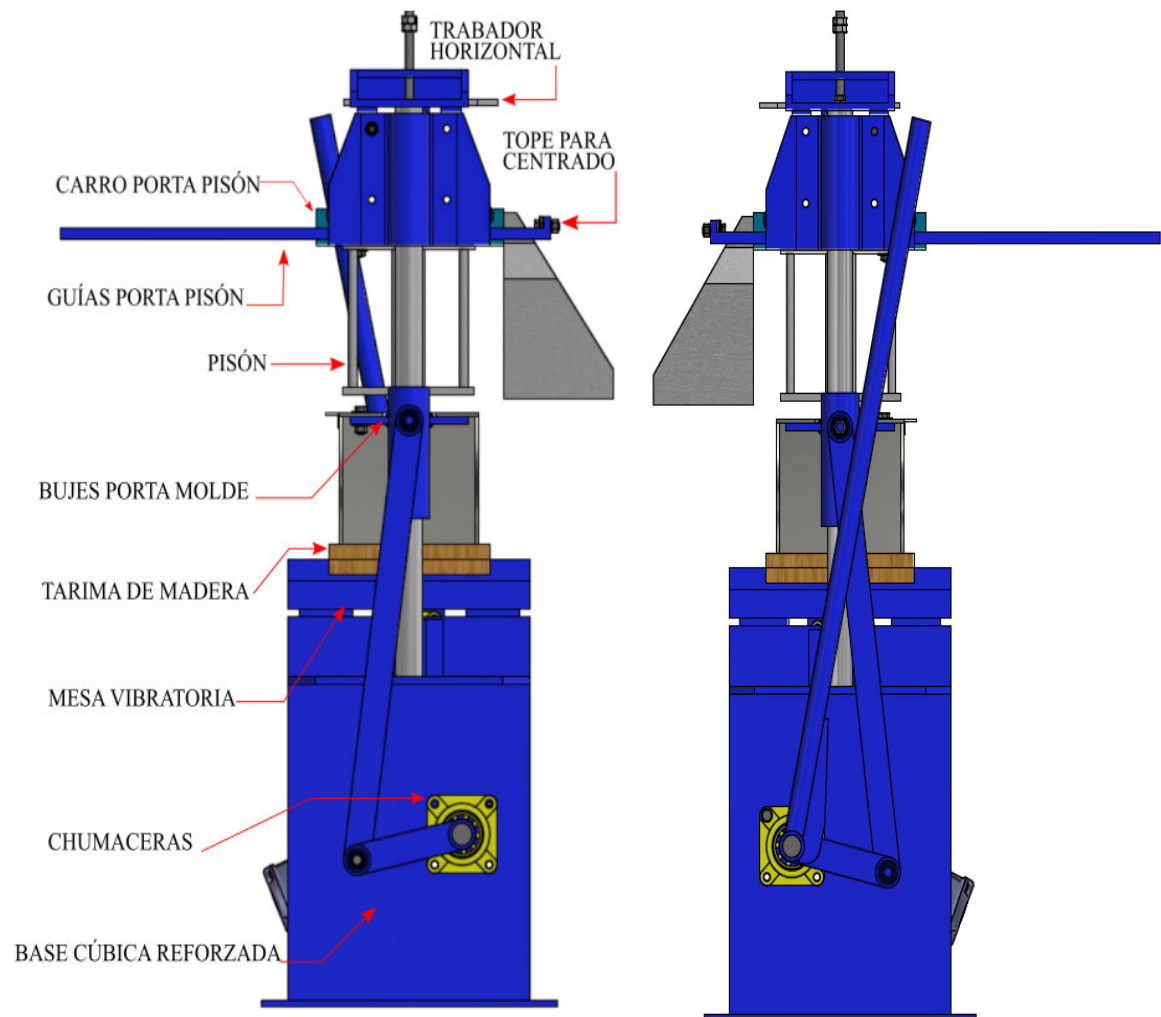


Figura 2.15: Principales vistas frontal y posterior.



(a) Vista lateral izquierda.

(b) Vista lateral derecha.

Figura 2.16: Principales vistas lateral izquierda y lateral derecha.

2.3. Pasos de la operación y método de fabricación manual de tabiques

Como previamente se mencionó, la industria de la construcción tiene una representación significativa en la economía del país y su reflejo está en la contribución o aporte hacia el Producto Interno Bruto, es por ello que este sector es considerado como uno de los más importantes para el desarrollo del país. Es sabido por la mayoría de las personas involucradas en este sector que el país mismo se ha visto inmerso en una serie de cambios drásticos tanto en economía, avance y productividad en el sector de la construcción al igual que se ha visto ensimismado en panoramas con cambios estructurales que han causado declives representativos en una contribución de la ciencia y la tecnología en este sector; dichos cambios y panoramas se han debido principalmente

a factores económicos, sociopolíticos y de globalización, es por ello que las empresas constructoras estaban y siguen estando obligadas a adaptarse y actualización de avances en este entorno.

Se debe de tener presente que la anticipación a estos cambios constantes, así como una iniciativa para poder afrontar los obstáculos que se tengan, son las herramientas necesarias para poder hacer crecer este sector aún más y canalizarlo a un puesto donde la ciencia y la tecnología entren con mayor vigor para poder tener fundamentos de competitividad con los países desarrollados.

Para lograr estos objetivos, se cuentan con distintos organismos que tienen como finalidad promover el sector industrial de la construcción por medio del avance de la tecnología. Entre los organismos más importantes que hay en la industria de la construcción se encuentra la Cámara Mexicana de la Industria de la Construcción (CMIC), la que en años atrás era llamada Cámara Nacional de la Industria de la Construcción (CNIC), la cual el 21 de febrero de 1994 creó la Fundación de la Industria de la Construcción para el Desarrollo Tecnológico y de la Productividad, A.C. (FIC). La FIC funciona como eje motriz para el desarrollo tecnológico y es el pilar de la investigación aplicada para este sector industrial, mediante la recopilación y evaluación de la información mundial a través de revistas, documentos técnicos, investigaciones, tesis, folletos y diversas tecnologías para adaptarlas a nuestro país.

El Fondo Nacional de Formación Profesional de la Industria de la Construcción-FIC en conjunto con el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA), han elaborado un manual de fabricación de bloques con el objetivo de fomentar la utilización de tecnologías mejoradas para la adecuación y mejoramiento del habitat en comunidades, procurando la creación de pequeñas empresas especializadas en la fabricación de bloques de cemento y arena y otros materiales [31].

2.3.1. Manual de Fabricación

A continuación, se mostrarán una serie de pasos y un método de fabricación para la elaboración de bloques. Estos pasos son referentes a la operación y manejo de la máquina así como el método de fabricación. Cabe mencionar que estos pasos son para elaborar bloques de cemento y varían si se requieren de una composición no cohesiva.

1. SELECCIONAR EQUIPOS, HERRAMIENTAS Y MATERIALES

Es necesaria la presencia de la máquina bloquera independientemente de la categorización a la que pertenezca, Figura 2.17. Para esta sección sólo será necesaria la presencia de equipos y materiales que se van a utilizar. Dentro de esta lista de selección de materiales se encuentran: carretilla, palustre, palas, destornilladores, tableros o tarimas y elementos para producir la mixtura a compactar [31].



Figura 2.17: Herramientas a utilizar [31].

2. DOSIFICAR

Proceso de medir los materiales necesarios para la producción del mortero requerido para la fabricación de bloque o adoquines, Figura 2.18. Para facilitar esta labor, se procede a construir un cajón de madera cepillada de las siguientes medidas: 33 centímetros de profundidad y en cada uno de sus lados [31].



Figura 2.18: Dosificación de material [31].

3. MEZCLA MANUAL

Esta sección se refiere a la técnica de vertir todos los elementos involucrados en la mezcla en sus proporciones adecuadas, Figura 2.19. La técnica cuenta con los siguientes pasos:

- a) Revuelva la arena y el cemento con la pala.
- b) Esparza nuevamente la mezcla.
- c) Humedezca la mezcla con agua.
- d) Revuelva con la pala, dando vueltas a la derecha e izquierda hasta lograr una mezcla homogénea.
- e) Verifique la humedad hasta lograr que la mezcla se sostenga en la mano [31].

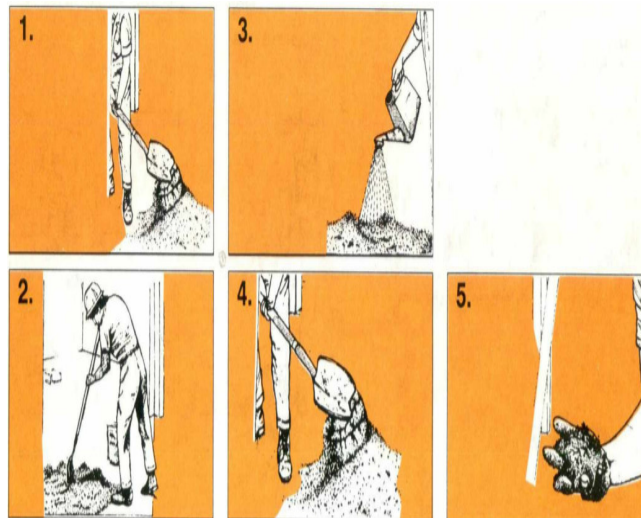


Figura 2.19: Mezcla sin máquina [31].

4. MEZCLA CON MÁQUINA

Esta mezcla con la utilización de una máquina tiene el propósito de agilizar el proceso de mezclado para la producción de morteros, se utiliza la máquina mezcladora o también llamada hormigonera, Figura 2.20. También, esta sección cuenta con distintos pasos:

- a) Utilizando baldes o canecas de 5 galones proceda a cargar la hormigonera.
- b) Vierta tres medidas de arena.
- c) Vierta una medida de cemento.
- d) Deje girar el trompo y vaya adicionando agua lentamente.
- e) Detenga el trompo y verifique la humedad de la mezcla.
- f) Finalmente descargue el trompo y utilice la mezcla o mortero resultante para la fabricación de los bloques o adoquines [31].



Figura 2.20: Utilización de máquina mezcladora [31].

5. CONOCIMIENTO GENERAL DE LA MÁQUINA BLOQUERA PONDORA

En esta sección ya es preciso del conocimiento de la máquina bloquera que se utilizará debido a que de acuerdo a las categorías en las que se divide, cada máquina funciona y opera de distinta manera [31]. Esta sección se puede dividir en dos casos: el primero es cuando la máquina es manual y el segundo cuando la máquina es automática.

6. FABRICACIÓN DE BLOQUES

Al igual que secciones anteriores, la fabricación de bloques se divide en pasos a realizar para que exista un producto de calidad. Los pasos son los siguientes:

- a) REVISIÓN DE EQUIPO: Revise que la máquina funcione correctamente y esté debidamente engrasada.
- b) PREPARACIÓN DE TARIMAS: Tenga a mano los tableros o teleros recibidoras de los bloques.
- c) OPERACIÓN DE LA MÁQUINA: En este punto en particular, es de gran importancia conocer a qué categoría pertenece la máquina bloquera y de esta forma tener en consideración el funcionamiento de cada uno de sus elementos. En este punto no hay un método a seguir ya que para cada categoría y estilo de fabricación para la funcionalidad de la máquina bloquera, existen distintos pasos a seguir.

7. TRASLADO DE PRODUCTO TERMINADO

El traslado del producto se hará por medio de la tarima de madera que previamente se colocó en la máquina bloquera. Se trasladará con la mayor precaución

posible cuidando la integridad del operador al momento de levantar y descargar el producto y de la calidad del bloque terminado, Figura 2.21. Se contará con un área destinada específicamente para la colocación del producto terminado así como distintas áreas para el tratamiento de secado que se le quiera dar; el tratamiento mencionado será acorde a las necesidades del fabricante ya que se puede tener distintos tipos de tratamiento de secado.



Figura 2.21: Instrucción de cómo levantar el producto terminado [31].

8. LIMPIEZA Y ORGANIZACIÓN DEL PUESTO DE TRABAJO

Finalmente, es importante limpiar y organizar convenientemente las herramientas, equipo y sitio de trabajo. Es necesario recoger y verificar la cantidad de herramientas utilizadas en el proceso de elaboración, verificar su estado actual y retirarlas a su espacio correspondiente, generalmente es en un almacén. Con el fin de evitar el deterioro de los equipos, retire de ellos el material sobrante de mezclas y aplique grasa suficiente a las partes del equipo que así lo requiera. Recoja el material esparcido por la superficie del sitio de trabajo utilizando preferiblemente la pala de punta cuadrada.

Tal como se mostró en el presente capítulo, el uso de las MBPM's es fundamental en la industria de la construcción para la elaboración de productos de calidad como lo es bloque. De igual manera, pueden existir modificaciones a dichas máquinas para eficientar el proceso de elaboración y la calidad del producto final. Se observaron las piezas que conforman a la mayoría de las MBPM's y el análisis de los elementos más importantes de ellas. Por otra parte, se mencionaron organismos dedicados al estudio e investigación de la industria de la construcción como lo son la FIC y la CNIC, para regulación y mejora de productos. Por último, se observa un manual con pasos desglosados para la fabricación manual del bloque utilizando a las MBPM's.

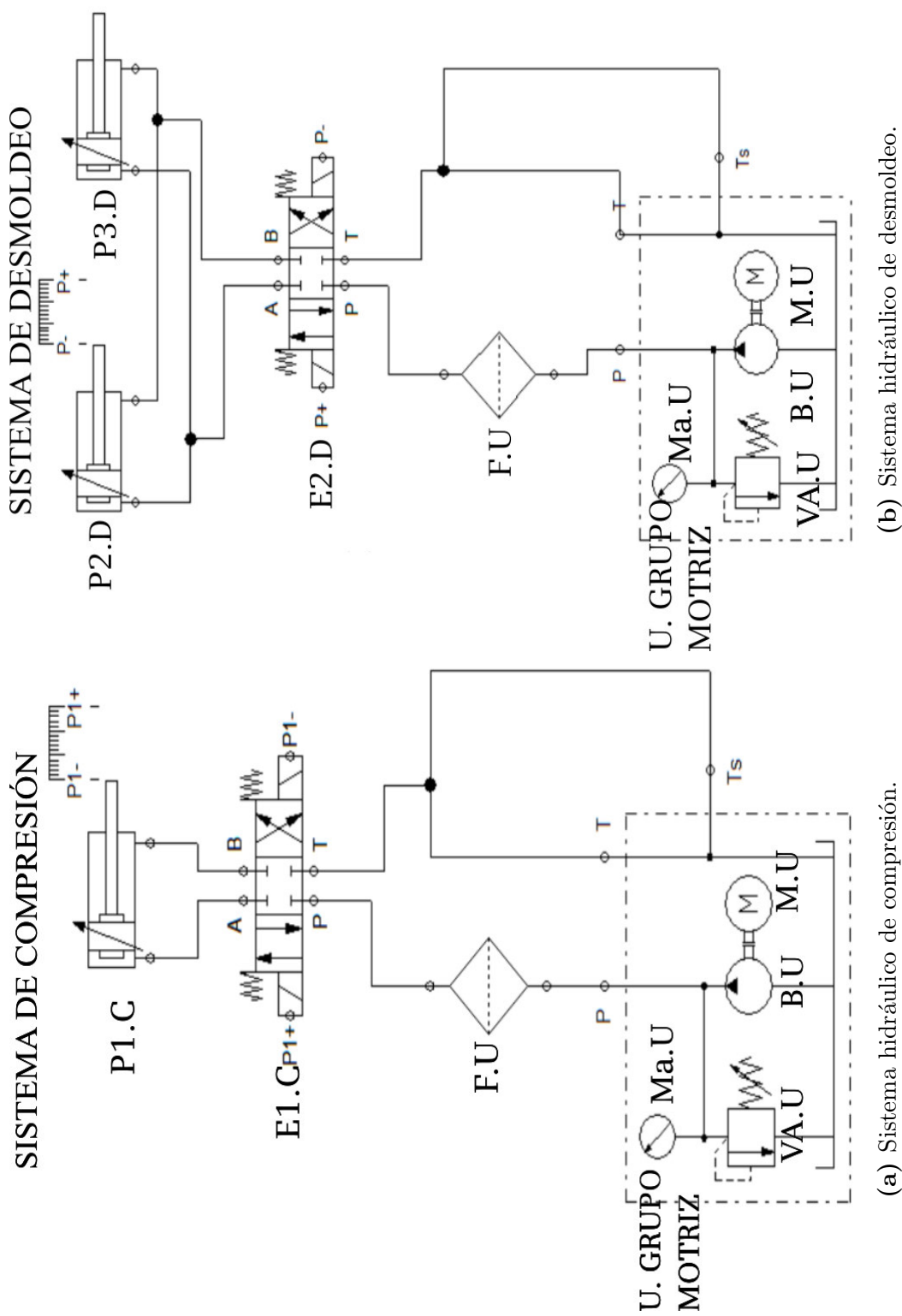
DESARROLLO DE UN SISTEMA HIDRÁULICO

En el presente capítulo, se expone el desarrollo de un sistema hidráulico para su implementación en una máquina bloqueadora manual. Con la instauración de este sistema hidráulico, se sustituye la fuerza de compactación y de desmoldeo manual por una fuerza hidráulica, se cuenta una mejor compactación y por ende, la fabricación del producto final adquiere una mayor calidad. De igual manera, se presenta el diagrama conceptual del sistema, el modelado matemático de los actuadores, el cálculo de fuerzas que intervienen en las acciones la elección de componentes hidráulicos.

3.1. Diagrama conceptual del sistema hidráulico

Para lograr una reconversión de la máquina bloqueadora de su modelo mecánico, es necesario implementar dos sistemas que se encarguen de sustituir la fuerza manual por otro tipo de fuerza con mayor energía. Se puede comenzar mencionando los elementos involucrados para lograr la reconversión mecatrónica de la máquina bloqueadora manual y en la Figura ??, se muestra el diagrama conceptual de los sistemas que se necesitan implementar para poseer un modelo hidráulico.

- P1.C. Cilindro hidráulico de compresión (Pistón 1 de Compresión).
- P2.D. Cilindro hidráulico de desmoldeo (Pistón 2 de Desmoldeo).
- P3.D. Cilindro hidráulico de desmoldeo (Pistón 3 de Desmoldeo)
- E2.C. Electroválvula de compresión.
- E3.D. Electroválvula de desmoldeo.
- Bomba hidráulica (Bomba Única).
- Motor eléctrico (Motor Único).
- Válvula de alivio de presión (Válvula de Alivio Única).
- Filtro de aceite (Filtro Único).
- Tanque de almacenamiento (Tanque Único).
- U. Grupo Motriz (Único Grupo Motriz).



(a) Sistema hidráulico de compresión.

(b) Sistema hidráulico de desmoldeo.

Figura 3.1: Sistemas hidráulicos para recategorización de máquina manual a semiatómica.

3.1.1. Sistema de compresión

Se puede comenzar con la descripción de la implementación de los sistemas hidráulicos partiendo con el sistema de compresión mostrado en la Figura 3.1 inciso a). Este sistema cuenta con un cilindro hidráulico de doble efecto con amortiguadores de final de carrera al que se denota como P1.C. Posteriormente, las dos entradas con las que cuenta el cilindro van conectadas a una electroválvula biestable direccional cuádruple de 3 vías que se denota como E1.C, es la encargada de controlar la dirección y posición del cilindro P1.C, esta válvula cuenta con un retorno por muelle en ambos lados y está conectada al único grupo motriz. Este grupo motriz tiene la función de alimentar tanto al sistema hidráulico de compresión como al sistema hidráulico de desmoldeo.

El grupo motriz está conformado por un tanque o reservorio que contiene al fluido utilizado para accionar a los cilindros. A su vez, está conectado con la bomba hidráulica que está acoplada con el motor eléctrico denotado como M.U. La bomba hidráulica, denotada como B.U, será la encargada de proporcionar al fluido el caudal y la presión necesaria para cumplir cierta función.

También, se encuentra la válvula de alivio de presión, denotada como VA.U. Tiene la función de limitar la presión en el sistema a un valor adecuado cuando el sistema presenta algún sobrecargo. La válvula se abre y el flujo de la bomba se descarga al tanque. Finalmente, el aceite es filtrado por el filtro conectado a la bomba, a este se le denota como F.U, el cual remueve la suciedad que pueda ir fluyendo por la tubería evitando fallas o pérdidas de presión en el sistema hidráulico.

3.1.2. Sistema de desmoldeo

El sistema hidráulico de desmoldeo, tal como se muestra en la Figura 3.1 inciso b), tiene ciertas similitudes con el sistema hidráulico de compresión en la función que desempeña el único grupo motriz y la electroválvula direccional cuádruple de 3 vías. La diferencia existente radica en los cilindros hidráulicos.

Para el sistema de desmoldeo se usarán 2 cilindros hidráulicos de doble efecto con amortiguadores de fin de carrera denotados como P2.D y P3.D. La razón por la cual se utilizan dos cilindros es porque cada uno va instalado en los extremos laterales de la máquina bloquera sustituyendo los brazos elevadores, la palanca accionadora, y por ende, la chumaceras y la flecha como eje. P2.D y P3.D harán contacto con los bujes portamolde y estos a su vez con el carro porta pistón que contiene al pistón para el momento en el que los cilindros sean accionados, elevar estos elementos y permitir la liberación del producto final.

Los cilindros hidráulicos tienen una configuración de sincronización en paralelo, es decir, ambos se accionarán al mismo tiempo en los movimientos de alargue y contracción. La literatura insta que con esta configuración ambos cilindros realizarán las

acciones soncronizadamente [32]; no obstante, la teoría también establece que aunque exista una configuración síncrona paralela, si alguno de los dos tiene una carga más pesada que el otro actuador, hará en primera instancia el movimiento respectivo aquel cilindro que tenga la carga menos pesada y tiempo después, el otro cilindro efectuará el movimiento. Sin embargo, para este caso en particular, ningún cilindro cuenta con alguna carga al momento de inicializarse, por ende, tendrán el contacto con los bujes porta molde en el mismo instante para realizar la acción de desmoldeo.

Los cilindros están controlados por medio de la electroválvula biestable direccional cuádruple de 3 vías denotada como E2.D la cual a su vez está conectada al grupo motriz mencionado anteriormente.

3.2. Modelado de actuadores hidráulicos

Para comprender el funcionamiento de los actuadores involucrados en los sistemas hidráulicos, es conveniente realizar un modelo matemático que exprese con ecuaciones el comportamiento del sistema. La ecuación a la cual se tiende a obtener en la realización de un modelo matemático es la Función de Transferencia, particularizada al cilindro hidráulico. La Función de Transferencia, F.T., relaciona la salida del sistema respecto a la entrada involucrando los elementos y las fuerzas que intervienen en él.

La Figura 3.2, muestra el sistema a analizar el cual es un cilindro hidráulico de doble efecto con amortiguadores a final de carrera. En el inciso a) se muestra el símbolo del sistema y en el inciso b) las fuerzas que interactúan en él.

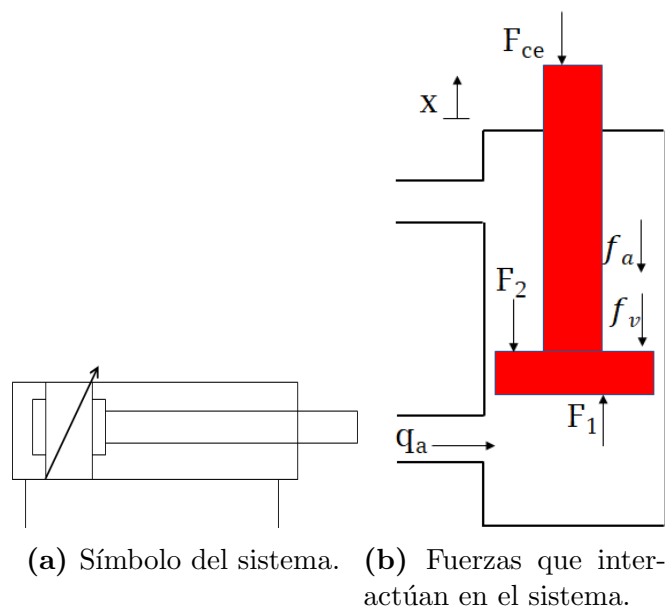


Figura 3.2: Sistema a modelar.

En la entrada del sistema existe un flujo correspondiente al fluido utilizado para el movimiento del actuador al que se denotará como q_a , proveniente de la bomba hidráulica el cual genera una fuerza de empuje F_1 . También, se encuentra una fuerza F_2 que es la fuerza debido a la presión del fluido que está presente en la parte superior del cilindro; por último, una fuerza correspondiente a una fuerza de carga externa. Cabe aclarar que el sentido del desplazamiento del vástago es representado por la letra x .

Para tener una ecuación que explique el movimiento del actuador, ecuación (3.1), se debe de hacer una sumatoria de fuerzas para poseer un equilibrio dinámico obteniendo la siguiente expresión

$$\sum F = M\ddot{x} = F_1 - F_2 - F_{ce} - f_v - f_a \quad (3.1)$$

donde

\ddot{x} : segunda derivada de la posición respecto al tiempo del vástago, es decir, la aceleración.

Debido a que la fuerza de aplicación es igual a la presión por el área, la ecuación 3.1, se reescribe y queda expresada como se muestra en la ecuación (3.2)

$$\sum F = M\ddot{x} = (P_1A_1) - (P_2A_2) - F_{ce} - f_v - f_a \quad (3.2)$$

Se puede apreciar en la ecuación (3.2) que para la fuerza de carga externa no hay una igualdad de presión por área, esto debido a que para el caso particular no existe una carga externa. Por tal motivo, la fuerza F_{ce} se considera despreciable.

Otro elemento a considerar en el análisis dinámico es la oposición existente del fluido hidráulico al movimiento. Esta oposición recibe el nombre de fricción viscosa que es representada por el coeficiente de fricción viscosa, el cual depende de la velocidad del actuador. La ecuación (3.3) expresa la oposición del fluido.

$$f_v = b\dot{x} \quad (3.3)$$

donde

b : coeficiente de fricción viscosa [Ns/m].

\dot{x} : primera derivada de la posición respecto al tiempo, es decir, la velocidad del vástago.

Finalmente, la fuerza f_a corresponde a la fuerza de amortiguamiento que interactúa en el interior este tipo de cilindros de doble efecto. Dicha fuerza depende directamente

de la posición del vástago debido a que son amortiguaciones presentadas cuando el vástago termina la carrera independientemente de la dirección del mismo. La fuerza de amortiguamiento es expresada en la ecuación (3.4)

$$f_a = kx \quad (3.4)$$

donde

x : la posición del vástago.

Sustituyendo la ecuación (3.3) y la ecuación (3.4) en la ecuación (3.2), y despreciando la fuerza externa, se obtiene la siguiente expresión

$$M\ddot{x} + b\dot{x} + kx = P_1A_1 - P_2A_2 \quad (3.5)$$

Antes de obtener la F.T., la Figura 3.3 muestra una semejanza de un sistema físico al que se está analizando y el cual servirá para encontrar la función de transferencia requerida.

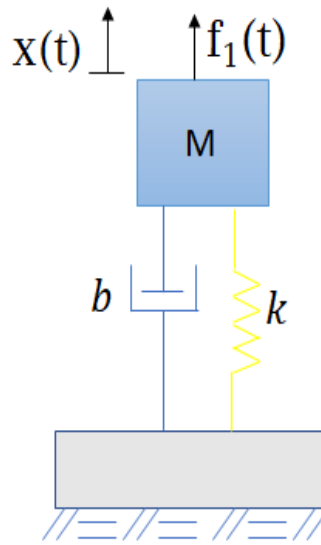


Figura 3.3: Representación del sistema físico.

Es de importancia notar que en la Figura anterior están representados los elementos involucrados en la ecuación (3.5), también que el desplazamiento y la fuerza están en función del tiempo. La ecuación (3.5) por su naturaleza es una ecuación diferencial para la cual una técnica sencilla para la solución de ecuaciones diferenciales es aplicar la transformada de Laplace. La ecuación (3.5) es una ecuación lineal y por consiguiente

es posible aplicar esta herramienta matemática. La transformada de Laplace, como su nombre lo explica, transforma ecuaciones diferenciales a funciones algebraicas de una variable compleja s .

De la Figura 3.3, la ecuación obtenida, aplicando la transformada de Laplace es la siguiente

$$Ms^2X(s) + bsX(s) + kX(s) = F(s) \quad (3.6)$$

La fuerza $F(s)$ representa, o es equivalente, a la relación de presión por área pero exclusivamente de la alimentación, de la proveniente de q_a , es decir, de F_1 . Debido a que la fuerza F_2 es la fuerza de descarga que es producida por la presión atmosférica, se convierte en una constante y por tal razón no está involucrada en $F(s)$.

Factorizando el desplazamiento y realizando los despejes necesarios, se obtiene la Función de Transferencia del cilindro hidráulico

$$G(s) = \frac{X(s)}{F(s)} = \frac{1}{Ms^2 + bs + ks} \quad (3.7)$$

La interpretación de esta F.T., ecuación (3.7), es que para cada valor de fuerza, desglosado como presión por área, se obtendrá una posición del vástago.

3.3. Cálculo de fuerzas de compresión y desmoldeo

Para conocer la fuerzas que se deben de poseer para lograr una correcta compactación sobre la mixtura y para obtener el desmoldeo del producto final, se hará un análisis de las fuerzas que interactúan en las dos acciones representativas realizadas por la máquina bloquera manual y así tener un base sólida para la elección de los distintos cilindros o actuadores hidráulicos y los demás componentes que conforman a los sistemas hidráulicos respectivamente de cada acción.

3.3.1. Fuerza de compresión

Primeramente, en el estado orginal de la máquina, que es el modelo manual, la única fuerza que actúa en la acción de compactación es la fuerza de gravedad; sin embargo, de acuerdo a las normas DIN, por sus siglas en alemán Deutsches Institut für Normung, específicamente la norma DIN 18152 es recomendable una compactación de

$1 \frac{kgf}{cm^2}$ [33].

El área de compactación es tomada del diseño del pisón la cual es igual a $A = 469 \text{ cm}^2$. Para conocer el área resultante que se cubrirá al momento de compactar, sólo es necesario multiplicar el área de un sólo pisón por la cantidad de pisones existentes lo cual es representado por la ecuación siguiente

$$A_R = \text{Área de un sólo pisón} \cdot \text{el número total de pisones} \quad (3.8)$$

entonces

$$A_R = (469 \text{ cm}^2) (2)$$

$$A_R = 938 \text{ cm}^2 \leftarrow$$

Ahora bien, para conocer la fuerza necesaria se utiliza la siguiente ecuación

$$F = P \cdot A_R \quad (3.9)$$

donde

$$F = (1 \frac{kg}{cm^2}) (938 \text{ cm}^2)$$

$$F_{compactación} = 938 \text{ kg} \leftarrow$$

Se necesitan 938 kilogramo-fuerza para poder realizar la compactación; el equivalente de 938 kilogramo-fuerza a newtons son 9198.64 N. Esta fuerza es la que el sistema de desmoldeo tendrá que vencer más la fuerza de rozamiento que esté presente.

3.3.2. Fuerza de desmoldeo

Para esta sección, es relevante conocer las fuerzas que interactúan entre la mixtura y las paredes del molde. Suponiendo que el material de fabricación de bloques es hormigón, se tiene que para encontrar la fuerza de rozamiento, para ello es necesaria la fuerza normal sobre las paredes y el coeficiente de fricción. Matemáticamente, la fuerza de rozamiento se obtiene por medio de la siguiente expresión

$$\vec{F}_r = -\mu \cdot N \cdot \vec{u}_v \quad (3.10)$$

donde

\vec{F} : Fuerza de rozamiento
 μ : Coeficiente de fricción

N : fuerza normal ejercida en newtons

\vec{u}_v : Vector unitario en la dirección y sentido del vector velocidad

De la ecuación (3.10), se puede concluir que el módulo o la magnitud de la fuerza de rozamiento es el siguiente

$$F_r = N \cdot \mu \quad (3.11)$$

Para esta fuerza de rozamiento, se considera el peso específico del material de construcción, en este caso se hace la suposición que es de hormigón, el peso del molde y el coeficiente de fricción. Para la fuerza normal, se hace una analogía entre un muro de retención que se opone al deslizamiento de arena con el molde que contiene a la mixtura; para este caso en particular, el muro de contención son las paredes del molde y la arena es la mezcla de hormigón. La analogía con el muro de contención es representada en la Figura 3.4.

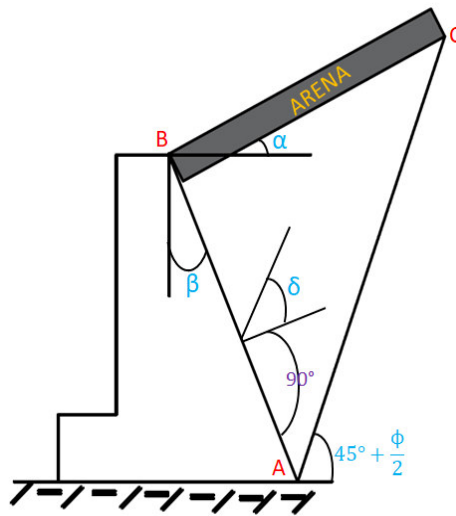


Figura 3.4: Esquema del muro de contención con respaldo de arena [34].

Primeramente, la teoría de Rankine de presión activa [34] estipula que existe una relación de presión vertical y lateral dentro de una masa de suelo homogénea contenida por un muro liso. Dicha presión activa es representada por el coeficiente de presión activa K_a . Aunado a ello, se presenta la teoría de Coulumb [34] la cual hace referencia a una relación existente entre la fuerza de deslizamiento y la resistencia la cual es muy pequeña cuando la longitud de AC forma un ángulo de $45^\circ + \phi/2$ con la horizontal, siendo ϕ el ángulo de fricción interna del suelo. Para la distribución triangular de presión, se representa por medio de la presión activa total, la cual es descrita por la ecuación siguiente

$$p = K_a w h \quad (3.12)$$

donde

K_a : Coeficiente de presión activa

w : Peso específico del hormigón

h : Altura del muro. Para el caso de la máquina es la altura del molde.

Debido a la presencia de la resistencia de fricción al deslizamiento del muro, E está inclinado en un ángulo δ con la normal a la pared, donde δ es el ángulo de fricción de la pared. Existe la posibilidad de que la cara de la pared sea vertical, en ese caso la presión activa horizontal denominada $E_{a, horizontal}$ sería igual a $E_a \cos \delta$. Haciendo referencia al nivel de terreno con la parte superior de la pared en la cual el ángulo $\alpha = 0$ y la cara posterior de la pared es vertical, para la cual $\beta = 0$, aparece la ecuación de Rankine que es expresada de la siguiente manera

$$K_a = \frac{1 - \text{sen} \phi}{1 + \text{sen} \phi} \quad (3.13)$$

De acuerdo a la tabla 7.14, que se encuentra en la sección de “Anexos”, el coeficiente de presión activa para el hormigón es de 0.22. La ecuación que se presenta a continuación, es la expresión de la presión activa total del concreto en la cual están relacionados todos los elementos antes mencionados

$$E_a = K_a \cdot \frac{w h^2}{2} \quad (3.14)$$

donde

$K_a = 0.22$; $h = 220\text{mm}$ altura del molde; $w = 1.4 \times 10^{-3}$ peso específico del hormigón

se substituyen los valores en la ecuación (3.14) quedando la siguiente expresión

$$E_a = (0.22) \left(\frac{1.4 \times 10^{-3} \text{kg/cm}^2 (22\text{cm})^2}{2} \right)$$

$$E_a = 0.0745 \text{ kg/cm}$$

Entonces, la presión activa del concreto en su componente horizontal es de

$$E_{a \text{ horizontal}} = 0.0745 * \cos \frac{40}{2}$$

$$E_{a \text{ horizontal}} = 0.0700 \text{ kg/cm} \text{ la cual es una fuerza lineal.}$$

Existe, la presión debida a las sobrecargas que son cargas que se colocan sobre un relleno, éstas aumentan la presión activa en un muro y elevan la línea de acción del empuje total. Se denota a una sobrecarga como w_{sc} en unidades de kg/cm^2 , distribuída

uniformemente sobre la totalidad de la superficie. Puede tomarse como equivalente a la de una capa de suelo del mismo peso específico W que el relleno y con un espesor de $\frac{w_{sc}}{w}$; no obstante, la presión activa para el caso de las sobrecargas será dada por $E_a K_a \cdot w_{sc} \cdot h$ y esta presión de sobrecarga se sumará a la calculada previamente, es decir, a las presiones activas laterales sin sobrecarga.

Tomando como w_{sc} igual a 1 kg/cm^2 , que es la fuerza debido a la compresión, se tiene que

$$E_a = (0.22) \left(1 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}\right) (22 \text{ cm})$$

$$E_a = 4.84 \text{ kg/cm}$$

donde

$$E_{a \text{ horizontalcsc}} = (4.84 \text{ kg/cm}) \left(\cos \frac{40}{2}\right)$$

$$E_{a \text{ horizontalcsc}} = 4.54 \text{ kg/cm}$$

Posteriormente, para encontrar la fuerza normal que se ejerce por la presión lateral activa del hormigón sobre las paredes del molde, es necesario multiplicarlo por el perímetro del bloque. En este caso particular, son dos bloques por apisonamiento, entonces será dos veces el perímetro por la suma de las fuerzas de la presión activa lateral con carga y sin carga

$$\text{Perímetro} = 1032 \text{ mm} \leftarrow$$

$$(2) (\text{Perímetro}) = 2064 \text{ mm}$$

$$F_{Normal} = (2064 \text{ mm}) (0.0700 \text{ kg/cm} + 4.54 \text{ kg/cm})$$

$$F_{Normal} = 9515.04 \text{ kgmm/cm}$$

$$F_{Normal} = 951.504 \text{ kg} \leftarrow$$

Sustituyendo los valores en la ecuación (3.11), y teniendo un coeficiente de fricción que varía en un rango de 0.35 a 0.5 [35], se obtiene la fuerza de rozamiento

$$F_r = (951.540 \text{ kg}) (0.35)$$

$$F_r = 333.039 \text{ kg} \leftarrow$$

Finalmente, la fuerza de desmolde se encuentra sumando la fuerza de rozamiento y el peso del molde con sus distintos elementos

$$F_{desmolde} = 333.039 \text{ kg} + 49.96 \text{ kg}$$

$$F_{desmolde} = 382.999 \text{ kg}$$

Esta fuerza de desmoldeo se divide entre dos debido a que serán dos brazos, o dos

actuadores, los encargados de realizar la acción de desmoldeo

$$F_{desmolde} = 191.499 \text{ kg} \leftarrow$$

En la Tabla 3.1, se muestran las características más importantes así como sus respectivas unidades. Cabe hacer la aclaración que todas las fuerzas que se obtuvieron como resultados de los diversos cálculos son en unidades de kilogramo-fuerza; en la tabla que se presenta a continuación, se hizo la respectiva conversión y las unidades son newtons.

Tabla 3.1: Parámetros importantes.

CARACTERÍSTICAS IMPORTANTES			
Parámetros	Variables	Magnitud	Unidad
Área resultante	A_R	938	cm ²
Fuerza de compresión	$F_{compactación}$	9198.6	N
Perímetro	P	1032	mm
Fuerza Normal	$Fuerza_{Normal}$	9331.07	N
Coefficiente de fricción	μ	0.35	—————
Fuerza de rozamiento	F_r	3266	N
Fuerza de desmolde	$F_{desmolde}$	1877.96(x2)	N
Medidas del bloque	—————	40x22x12	cm

3.4. Elección de cilindros hidráulicos

Primeramente, en la Tabla 3.2, se muestran las fuerzas de compresión y desmoldeo pero ahora en unidades de kg, las cuales ya fueron calculadas en las subsecciones 3.1.1 y 3.1.2. Posteriormente, teniendo conocimiento de las respectivas fuerzas, se hará un análisis matemático de los componentes involucrados en ambos sistemas hidráulicos para poder hacer una selección de los elementos hidráulicos que cumplan con las características requeridas de las acciones de compresión y desmoldeo.

Tabla 3.2: Fuerzas inmersas en los procesos de compactación y desmoldeo.

PROCESOS Y FUERZAS	
Proceso	Fuerza
Proceso de compactación	938 kg
Proceso de desmoldeo	199.4396(x2) kg

3.4 ELECCIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS

Los cilindros hidráulicos deben de cumplir con el cometido de vencer las fuerzas involucradas en las acciones de compresión y desmoldeo, dichas fuerzas son presentadas en la Tabla 3.2. Para la elección correcta de los cilindros hidráulicos, se propone una presión nominal de 2000 psi que es equivalente aproximadamente a 140 bares, en su exactitud son 137.80 bares. Esta presión propuesta es en la que trabajan los cilindros hidráulicos en un nivel de industria media. También, se considerará una pérdida de presión del 10 % total, es decir, 1800 psi de presión, 126.5525 bares.

La elección de los actuadores comienza con el cálculo del diámetro para el cilindro de compactación para el cual se toman en consideración los valores propuestos de presión con pérdidas y las fuerzas previamente calculadas.

$$F_{comp} = P_{nominal} \cdot A \quad (3.15)$$

$$F_{comp} = P_{comp} \cdot A = 938 \text{ kg}$$

$F_{comp} = 938 \text{ kg}; P_{nominal} = 126.5525 \text{ kg/cm}^2; A$ es la incógnita a encontrar

Para el área se tiene que

$$A = \frac{F_{comp}}{P_{nominal}} \quad (3.16)$$

sustituyendo valores en la ec. (3.16)

$$A = \frac{938 \text{ kg}}{126 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$
$$A = 7.411 \text{ cm}^2 \leftarrow$$

De la fórmula del área del cilindro se tiene que

$$A = \frac{\pi}{4} D^2 \quad (3.17)$$

despejando la variable correspondiente al diámetro

$$D = \sqrt{\frac{4A}{\pi}} \quad (3.18)$$

sustituyendo valores en la ecuación (3.11)

$$D = \sqrt{\frac{(4)(7.411 \text{ cm}^2)}{\pi}}$$

$$D_c = 3.07 \text{ cm} \leftarrow$$

Se hace un análisis similar para encontrar el diámetro de los cilindros hidráulicos para el proceso de desmoldeo

$$F_{des} = P_{nominal} \cdot A \quad (3.19)$$

donde

$$F_{desm} = P_{nominal} \cdot A = 199.43$$

$$F_{desm} = 199.43 \text{ kg}; P_{nominal} = 126.5525 \text{ kg/cm}^2; A \text{ es la incógnita a encontrar}$$

Teniendo una similitud con la ecuación (3.16) pero ahora utilizando la fuerza de desmoldeo

$$A = \frac{199.43 \text{ kg}}{126.5525 \frac{\text{kg}}{\text{cm}^2}}$$
$$A = 1.57 \text{ cm}^2 \leftarrow$$

Sustituyendo los valores en la ecuación (3.18)

$$D = \sqrt{\frac{(4)(1.57 \text{ cm})}{\pi}}$$
$$D_d = 1.417 \text{ cm} \leftarrow$$

Para que los cilindros hidráulicos puedan vencer las fuerzas de compresión y desmoldeo, es necesario que los cilindros a seleccionar trabajen a una presión nominal igual o mayor a 126.55 kg/cm^2 para que de igual forma se cumplan los cálculos y análisis hechos.

Los cilindros hidráulicos que cumplen con los requerimientos mencionados anteriormente, son de SMC Corporation of America, fabricante líder mundial de componentes de automatización industrial. De acuerdo al catálogo de SMC de cilindros hidráulicos, el cual se mostrará en la sección de “Anexos”, los cilindros que cumplen con las características necesarias para la compresión y desmoldeo se presentan en las Tablas 3.3 y 3.4.

El primero cilindro hidráulico que cumplirá con la función de compresión es el “Cilindro Hidráulico Estándar de Doble Efecto con Vástago Simple serie CH2H con Norma JIS”.

3.4 ELECCIÓN DE CILINDROS HIDRÁULICOS

Tabla 3.3: Cilindro hidráulico para compresión serie CH2H.

CILINDRO HIDRÁULICO SERIE CH2H COMPRESIÓN	
Característica	Efecto
Presión nominal	142.76 kg/cm ²
Diámetro	40 mm
Velocidad del émbolo	8 a 300 mm/s
Carrera estándar	25 a 800 mm
Tamaño del vástago	22.4 mm (Serie B)
Aceite hidráulico compatible	Aceite de fosfato
Área de trabajo a la salida	1265 mm ²
Velocidad del cilindro	5.5 mm/s
Tipo de montaje para 14 MPa	FY y FZ
Factor de carga	10 % - 70 %
Material	Acero Inoxidable

De acuerdo al autor James Sullivan [36] para el cálculo del caudal de los cilindros se tiene que $Q = \frac{V}{t}$ donde V es el volumen pero para cilindros hidráulicos el volumen se puede escribir como $V = \text{Área} \times \text{Carrera}$. Dicho esto el caudal que se requiere es

$$Q = \frac{(1265\text{mm}^2)(800\text{mm})}{5.5\text{seg}}$$

siendo igual a

$$Q = 184000 \frac{\text{mm}^3}{\text{s}} \text{ o}$$

$$Q = 184 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} \leftarrow$$

El cilindro seleccionado para realizar la acción de desmoldeo es el “Cilindro Hidráulico Estándar de Doble Efecto con Vástago Simple serie CH2G con Norma JIS”.

Tabla 3.4: Cilindro hidráulico para desmoldeo serie CH2G.

CILINDRO HIDRÁULICO SERIE CH2G DESMOLDEO	
Característica	Efecto
Presión nominal	142.76 kg/cm ²
Diámetro	32 mm
Velocidad del émbolo	8 a 300 mm/s
Carrera estándar	25 a 800 mm
Tamaño del vástago	22.4 mm (Serie B)
Aceite hidráulico compatible	Aceite de fosfato
Área de trabajo a la salida	804 mm ²
Material	Acero

La Tabla 3.5 que se muestra a continuación, es una tabla comparativa que presenta las características previamente mencionadas, los requerimientos a cumplir y lo que proporciona el cilindro hidráulico seleccionado. Esta tabla se divide en dos secciones correspondientes a las acciones de compresión y desmoldeo.

Tabla 3.5: Tabla comparativa de requerimientos y respuesta de cilindros seleccionados.

REQUERIMIENTOS Y RESPUESTAS		
Característica	Requerimiento	Cilindro seleccionado
Presión nominal	126.5525 kg/cm ²	142.76 kg/cm ²
Área	7.411 cm ²	12.56 cm ²
Diámetro	3.07 cm	4 cm
Presión nominal	126.5525 kg/cm ²	142.76 kg/cm ²
Área	1.57 cm ²	2.51 cm ²
Diámetro	1.417 cm	3.2 cm

Debido a que se plantea una presión de trabajo de 2000 psi, o de 142.76 $\frac{kg}{cm^2}$ y con el caudal que se calcula, se recomienda una válvula de alivio que esté por arriba de los 2000 psi o su equivalente. En el catálogo Kompass se encuentra una válvula de alivio de serie "BHT-04H" de las cuales sus características son:

$$Q_{función} = 400 \frac{lit}{min}$$

$$P_{máx\ operación} = 250 \frac{kg}{cm^2}$$

$$Rango\ de\ ajuste = 70\ a\ 250 \frac{kg}{cm^2}$$

3.5. Instrumentación y control del sistema hidráulico

Para el control del sistema hidráulico y de todos los componentes externos a él, se utilizará un Controlador Lógico Programable (PLC) para tener un monitoreo y manejo de todos los actuadores, sensores y equipos que se utilizarán para la fabricación del bloques, además de eliminar la necesidad de la fuerza humana.

Los elementos que el PLC controla son los siguientes:

- Motor correspondiente al sistema de vibro-compactación.
- Motor correspondiente al sistema hidráulico.

- Cilindros hidráulicos.
- Electroválvulas.
- Solenoide P1+.
- Solenoide P1-.
- Solenoide P+.
- Solenoide P-.

Aunado a la ejecución del PLC como control e instrumentación de todos los sistemas, en el capítulo 4 de este trabajo de tesis se encuentra la implementación de un HMI como interfaz de control.

Como se observa en este capítulo, se comienza por un diagrama del sistema hidráulico a instaurar en la máquina bloquera manual el cual se divide a su vez en dos subsistemas el de compresión y el de desmoldeo. En ese mismo subcapítulo se encuentra el diagrama elaborado y simulado en el software Fluidsim para corroborar su correcto funcionamiento. Posteriormente, se realiza el modelado de los actuadores que están presentes en el sistema hidráulico. Dicho modelo culmina con la F.T. encontrada la cual relaciona la salida del sistema con la entrada del mismo. Seguido, se presenta el cálculo de fuerzas de compresión y desmoldeo para más adelante hacer la elección de los actuadores necesarios para cumplir con ese cálculo de fuerzas. Finalmente, se hace mención de los elementos que el PLC controla y de la introducción del HMI.

AUTOMATIZACIÓN E INTERFAZ HOMBRE-MÁQUINA

En el presente capítulo, se da a conocer información relevante, en una forma general, de los PLC como su definición, campo laboral, elementos que lo conforman, entre otros. Así mismo, el modelado del control del sistema que se observa como el código del programa del PLC y finalmente, las distintas pantallas que contiene el control del HMI. Dentro de las pantallas del HMI, se encuentra detalladamente la inicialización del sistema de vibro-compactación y del sistema hidráulico que se ven reflejados con el comienzo de trabajo de los motores. De igual manera, se mostrará el proceso completo y cómo es que inicia un ciclo de trabajo y termina el mismo.

4.1. Controlador Lógico Programable

La búsqueda de una automatización eficaz que conlleve a la optimización de procesos complejos ha llevado a grandes descubrimientos y técnicas eficientes para satisfacer con esta necesidad. Los PLC's han sido mecanismos esenciales en esta búsqueda que la humanidad ha estado haciendo por mucho tiempo.

Originalmente, el requerimiento y desarrollo de los PLC's fue dirigido a la industria automotriz, o fabricantes de automóviles, debido a que se necesitaban cambiar constantemente los sistemas de control en las líneas de producción [37]. En los años 60's, Automática (en inglés *Hydramatic*), una división de la compañía *Genral Motors Corporation*, ambicionaba un dispositivo o computadora que podría usarse para hacer las funciones lógicas realizadas por relés [38]. Es entonces que en 1968 aparecieron los primeros PLC o también conocidos como Autómatas Programables [37]. Bedford Associates, una compañía americana, aconsejó un Controlador Modular Digital (MODICON) para su utilización en una compañía de automoción y MODICON 084 fue el primer PLC con una aplicación industrial [37].

Actualmente, existen diversas empresas dedicadas al desarrollo, distribución y fabricación de PLC's de las cuales 16 son las principales. Algunas de estas empresas pioneras son: Siemens, ABB, Schneider(Modicon), Rockwell(Allen-Bradley), Mitsubishi, entre otras. Sistemas SCADA o interfaces HMI son ejemplos de control automatizado óptimo utilizando PLC que estas empresas desarrolladoras brindan.

De acuerdo a la NEMA, Asociación Nacional de Fabricantes Eléctricos, (por sus siglas en inglés *National Electrical Manufacturers Association*), un PLC se define como: 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, etc.), varios tipos de máquinas o procesos [39].

Un PLC moderno es un dispositivo informático diseñado para controlar un proceso [40]. Relaciona la información procedente de los sensores que monitorean el estado de un proceso, con el estado de algunos actuadores que son capaces de cambiarlo [41]. En los años 60's que comenzaron a distribuirse, originalmente los PLC's tenían el nombre de PC (*Programmable Controller*); sin embargo, había confusión en las siglas con otro dispositivo, la Computadora Personal (*Personal Computer*). Para evitar la confusión entre estos dos dispositivos, se agregó la palabra lógico creando el nuevo término Controlador Lógico Programable [42].

Aunque existan ciertas similitudes entre la PC y el PLC, se encuentran diferencias entre ellos. Las diferencias son que el procesador del PLC tiene un chip microprocesador vinculado a una memoria y chip de E/S, entrada/salida (*I/O, input/output*). Los PLC no tienen medios de almacenamiento extraíbles o fijos como un disquete y un disco duro unidades, pero tienen memoria de estado sólido para almacenar programas. Los PLC no tienen un monitor, sino una interfaz de máquina humana (HMI). Por otra parte, las PC's realizan diversos trabajos denominados *homme office* o trabajos en casa, trabajos en oficinas e incluso, existen computadoras capaces de ejecutar varios programas al mismo tiempo o efectúan en cualquier orden distintas tareas, acción que los PLC's no realizan [43, 44].

4.2. Hardware de un PLC

En esta sección se habla del hardware del PLC comenzando con el montaje, seguido de la fuente de alimentación así como de la sección de entrada y salida, los módulos que conforman al PLC y por último, se habla de la unidad de procesamiento central.

Se puede comenzar con el montaje tipo rack haciendo una distinción entre este tipo y el tipo modular. Aunque los dos tipos de montaje se parecen, la diferencia radica en que el montaje tipo modular tiene todos los módulos conectados directamente a la unidad base, mientras que el montaje tipo rack tiene cada módulo por separado. Los módulos extras que se puedan tener en el PLC se conectan a través de una red y los módulos se colocan en racks organizados. Esta acción permite que se cuenten con sistemas organizados y completos sin llegar a ser robustos, a demás, se cuenta con una mejor organización y los módulos pueden extraerse con facilidad [38, 44].

Para la fuente de alimentación, se suministra con una corriente continua (CC) a otros módulos que se conectan en el rack. Con sistemas más grandes, la alimentación hacia los dispositivos de campo es proporcionada por corriente alterna (CA) [38, 44].

La sección de E/S de un PLC es la sección a la que todos los dispositivos de campo están conectados y proporciona la interfaz entre ellos y el CPU. Los módulos de interfaz de entrada aceptan señales de la máquina o dispositivos del proceso y las convierte en señales que pueden ser utilizadas por el controlador. Los módulos de interfaz de salida convierten las señales del controlador en señales externas utilizadas para controlar máquinas o el procesos [44].

En módulo de entrada (*input module*), internamente una computadora opera a 5 V en corriente directa, los dispositivos externos como motores, solenoides, etc. operan en voltajes por arriba de 110 V en corriente alterna. La mezcla de estos dos voltajes puede causar un daño en la parte electrónica del PLC, para ello, la parte de E/S usa protección de opoto-aislamiento para separar eléctricamente las señales que entran de las del CPU. El módulo de salida, (*output module*), es usado para conectar la unidad de procesamiento central a la carga. Estos módulos de salida proporcionan el aislamiento de línea entre CPU y circuito externo [44].

Uno de los módulos más comunes es el módulo E/S discreta. Este tipo conecta los dispositivos de campo de entrada que tienen accionamiento ON/OFF intrínsecamente como botones (*pushbuttons*), switch seleccionadores (*selector switch*) y los switch limitadores (*limit switches*). De igual manera, las salidas de control están limitadas a dispositivos como luces, motores, relés y solenoides [44].

La Unidad de Procesamiento Centra (CPU), coordina coordina y controla el funcionamiento de todo el sistema de controlador programable. Un módulo de procesador está ubicado aún costado del montaje de rack. Contiene integrado chips de circuito que incluyen uno o más microprocesadores, chips de memoria y circuitos que permiten el almacenamiento de información. El procesador está compuesto por 3 principales secciones: el CPU, la Unidad Lógica de Aritmética (ALU) y la memoria. El CPU es el cerebro del PLC y su función principal es interpretar y ejecutar los programas basados en computadora que son permanentemente almacenados en la memoria del procesador [38].

Finalmente, los lenguajes de programación para los PLC sirven como una vía de comunicación entre el sistema operativo que interpreta el lenguaje, y el usuario que tiene acceso a la configuración del programa. El objetivo de estos lenguajes es que tener instrucciones de una manera secuencial, a los cuales se les conoce como comandos, para que el CPU del PLC traduzca como salidas digitales y así energizar los actuadores o máquinas que estén presentes en el proceso a automatizar. Existen dos tipos de lenguajes para los PLC que se dividen en gráficos y de texto. Los lenguajes gráficos tienen una categorización de nivel alto y los lenguajes de texto como categoría de nivel

bajo. Algunos de los lenguajes de nivel bajo son: STL y ST. Los lenguajes de nivel alto dotan de una interface gráfica la cual facilita la programación. Se pueden mencionar algunos de estos lenguajes como lo son: diagrama de bloques, diagrama de funciones secuenciales y diagrama de escalera, siendo este último el más utilizado [45].

En la Figura 4.1, se puede observar un PLC de la marca SIEMENS con un montaje tipo rack junto con los espacios que cuenta para módulos de expansión de E/S y módulos para la comunicación.



Figura 4.1: PLC con montaje tipo rack y módulos de expansión y comunicación.

4.3. Interfaz Hombre-Máquina

Como se ha mencionado en secciones y capítulos anteriores, HMI es el acrónimo para las Interfaces Hombre-Máquina que por medio de las cuales se pueden crear medios gráficos para observar el comportamiento en tiempo real de un proceso, máquina o dispositivo de campo. Además de mostrar el comportamiento, el uso de las HMI permiten monitorear todo lo que esté conectado a ellas, brindar tendencias históricas de acuerdo al estado que hayan tenido en el proceder del proceso y permiten la visualización de alarmas cuando esté presente alguna falla. Cabe hacer la aclaración que no existe un único programa o software para programar a un HMI. Algunos de los softwares para la programación de HMI son: Emerson, STUDER, TIA Portal (del inglés Totally Integrated Automation perteneciente a SIEMENS), entre otros.

El PLC que se usa para controlar los sistemas hidráulicos y de vibro-compactación, así como la conexión que tiene con el HMI, es un PLC de la marca SIEMENS SIMATIC

S7-1200. Este tipo de PLC es uno de los últimos modelos de nueva generación que la marca ha sacado al mercado. El S7-1200 se destaca por tener la capacidad de poseer una conexión inalámbrica así como la rapidez para realizar las tareas que se necesitan cumplir en algún proceso.

Para la pantalla HMI, groso modo, es una pantalla táctil de 9" de display de la categoría comfort. Para las pantallas HMI existen distintas categorías en las que se dividen por todas las funciones que se pueden obtener de ellas. Algunas de las pantallas HMI que se encuentran son: SIMATIC Basic Panel, SIMATIC Comfort Panel, SIMATIC Mobile Panel y HMI SPLUS. Cabe mencionar que tanto la programación del PLC y la programación de las HMI, así como el enlace que hay entre el código de diagrama de bloques y las funciones que realizan las pantallas del HMI, son programadas utilizando el software Tia Portal V16.

En la Tabla 4.1, se muestran las características detalladas del PLC y de la HMI utilizada.

Tabla 4.1: Características de los dispositivos utilizados.

CARACTERÍSTICAS DEL PLC Y HMI	
Dispositivo	Características
PLC	<ul style="list-style-type: none"> · SIMATIC S7-1200. · CPU 1214C AC/DC/Rly. · Serie 6ES7 214-1BG31-0XB0. · Comunicación PROFINET. · Montaje tipo rack. · Módulos de expansión y comunicación.
HMI	<ul style="list-style-type: none"> · Categoría SIMATIC Comfort Panel. · TP900. · Display de 9" . · Touch o táctil. · Conexión PROFINET.

A continuación, se presentan una serie de pantallas propias del HMI que son las interfaces con las que el usuario hará uso para poder controlar el sistema hidráulico y el de vibro-compactación. Se comienza con el enlace o conexión del PLC y la HMI por medio de la red PROFINET.

Todas las pantallas que se muestran son vistas desde el ambiente del software Tia Portal y en el capítulo 5 que es el capítulo dedicado a mostrar los resultados, se muestran únicamente las pantallas sin el ambiente del software de igual manera, como una recopilación paso a paso del proceso que se tiene que seguir desde que se inicia el HMI hasta su finalización con el apague de todos los sistemas y dispositivos de campo.

En la Figura 4.2 que se muestra a continuación, se puede observar el enlace del SIMATIC S7-1200 y la HMI por medio de PROFINET.

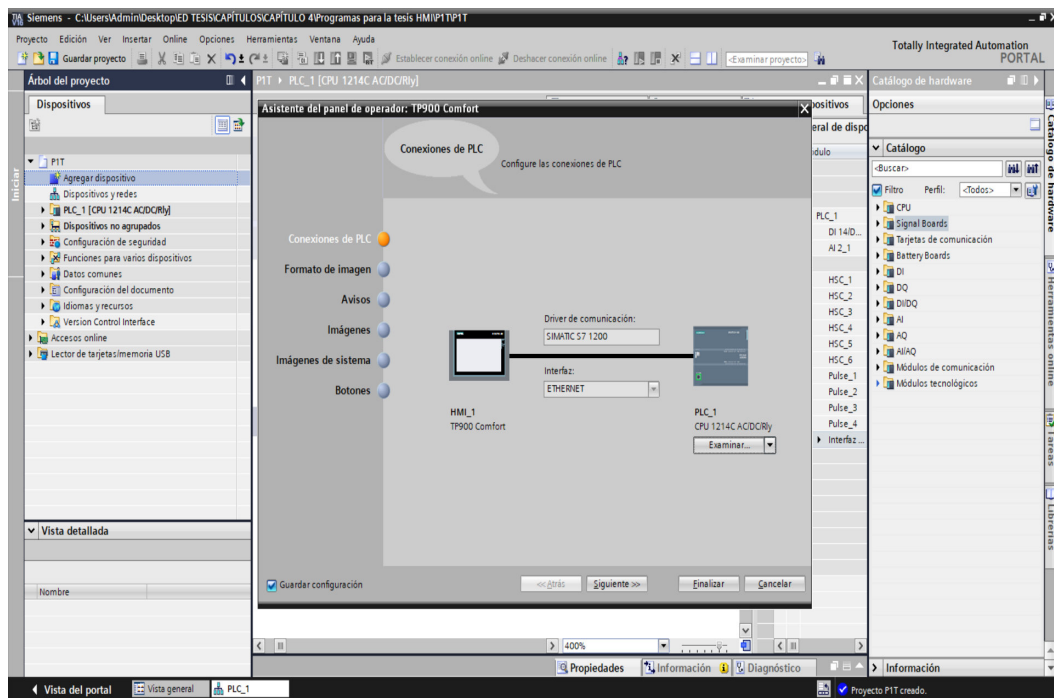


Figura 4.2: Conexión del PLC y HMI.

En la Figura 4.3, se muestra la confirmación de la conexión entre el PLC y la HMI. La línea de color verde simboliza una conexión exitosa entre estos dos dispositivos.

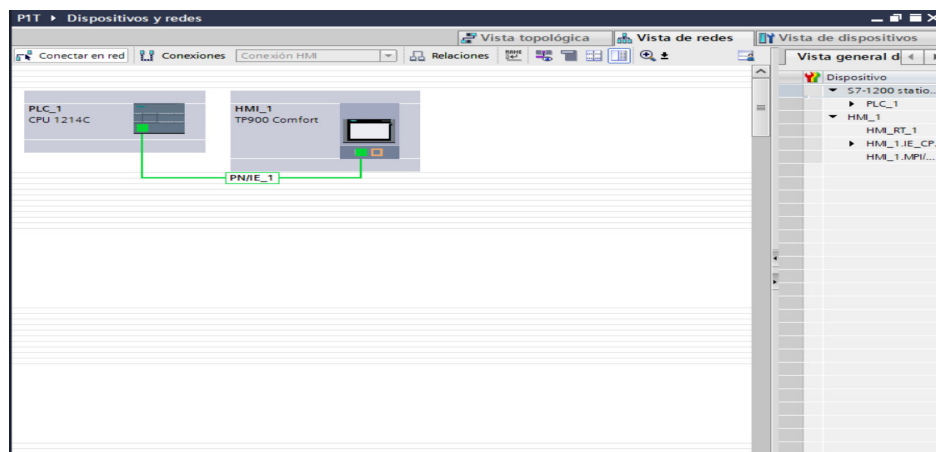


Figura 4.3: Confirmación de la conexión entre el PLC y HMI.

La serie de pasos que se necesitan seguir para el correcto funcionamiento, control y manejo del sistema HMI en el cual van involucrados el control de los distintos dispositivos, se ven mencionados a continuación:

- Antes de comenzar con los pasos de operación para la producción de bloques, se observa un menú principal que es la pantalla inicial del HMI.
- En el paso número 1 se observa la pantalla correspondiente al preparado de la mezcla.
- En el paso número 2 el control de los motores de los distintos sistemas.
- En el paso número 3 el control de la bomba hidráulica.
- En el paso número 4 el control de los actuadores hidráulicos.
- En el paso número 5 una pantalla de notación.
- Como pantalla extra, una pantalla que indica el apagado de todos los sistemas.

En la Figura 4.4, se muestra la pantalla inicial que es la primera pantalla que el operador o el usuario que controle la HMI ve. Esta pantalla se titula “Menú” y las partes o elementos que la conforman son los siguientes: en el lado izquierdo se pueden apreciar distintos botones corresponden a las distintas pantallas que conforman a todo el sistema HMI; se observan títulos de pantallas como “Mezcla”, “Bombas”, “Pistones”, etc. En la parte central superior, se observa una leyenda con letras amarillas que corresponde a los pasos de control que se deben de seguir para producir los bloques. En el centro de la pantalla están esparcidos los 5 pasos de operación para la elaboración del producto. Cada paso es un botón y al presionarlo lleva a la pantalla donde se indica el paso a realizar.



Figura 4.4: Menú o pantalla principal del HMI.

En la Figura 4.5, se observa la segunda pantalla perteneciente al primer paso. Esta pantalla lleva por título PASO 1 escrito en color rojo y debajo del título una leyenda de color verde “PREPARAR MEZCLA”, debajo de esta leyenda de color verde se muestra una imagen con el símbolo de PDF en el centro de ella, esto quiere decir que cuando el programa esté en funcionamiento, en esa imagen donde se encuentra el símbolo, se mostrará un documento PDF que contiene las instrucciones para la preparación de la mezcla de los bloques. A la izquierda de la pantalla, se observan 2 botones con el nombre de “Menú” y “PASO 2”, respectivamente. Estos botenes llevan a la pantalla inicial que es el menú y el siguiente botón le indica al operar cuál es el paso que sigue en el proceso.

Cada pantalla de este sistema HMI es intuitivo y al mismo tiempo instructivo debido a que en cada pantalla de cualquier paso muestra el paso siguiente a seguir e incluso, en las pantallas de los pasos finales, se muestra una opción para el apagado total del sistema pero, de igual forma, siguiendo una serie de pasos.



Figura 4.5: PASO 1. Instrucciones para la preparación de la mezcla.

En la Figura 4.6, se observa la pantalla correspondiente al segundo paso. Esta pantalla lleva por nombre “PASO 2” y debajo del título se muestra una leyenda en color blanco que hace referencia a la sección de motores de este sistema HMI. En la parte izquierda se muestran 3 botones, “Menú”, “A.T.” y “PASO 3”, respectivamente. Se

puede notar que es la primera aparición del botón que lleva por nombre “A.T.” lo cual significa ‘Apagar Todo’ y es el botón que a grandes rasgos, se usa para ir a la pantalla donde se muestran las indicaciones a seguir para el pagado total del sistema HMI y de los sistemas hidráulicos y de vibro-compactación. En esta pantalla también se observan las representaciones gráficas de dos motores trifásicos y en la parte superior de cada imagen está la leyenda del sistema al que pertenecen. En la parte inferior de los motores, se encuentran dos botones que corresponden al START/STOP, es decir, al encendido y apagado de los motores. Estos botones y la acción de encendido y apagado, están relacionados con las variables del código del programa se utiliza para el control de los dos sistemas antes mencionados.

Al estar activado cualquier motor, se prende una luz de color verde que indica que el dispositivo de campo está en funcionamiento y, cuando el sistema está por comenzar y aún no es presionado el botón START, se observa una luz roja que corresponde a la inactividad o no funcionamiento del motor. Esto se puede observar en la sección de resultados.



Figura 4.6: PASO 2. Pantalla de la sección de motores.

En la Figura 4.7, se muestra la pantalla correspondiente al tercer paso. En esta pantalla se puede observar que lleva por título en color rojo “PASO 3” y debajo del título se muestra la leyenda “Bombas” en letras de color blanco. Debajo de la leyenda de color blanco, que corresponde a la sección, se muestra otra leyenda de letras que colo amarillo que hace mención al sistema del cual pertenece la bomba. Esta bomba es hidráulica y va conectada al motor del sistema hidráulico. Se puede observar que cuenta con un sistema START/STOP parecido al que se ve en la sección de motores, la diferencia recae en el título de los botones y en la forma de las luces de color verde y rojo. De igual manera, en la parte izquierda, se pueden observar 3 botones que son: “Menú”, “A.T.” y “PASO 4”, respectivamente.

Como se mencionó con anterioridad, el sistema HMI diseñado para esta producción de bloques es instructivo debido a que si se presenta alguna duda de cuál es el siguiente paso a seguir, la misma pantalla actual indica el paso contiguo a realizar.

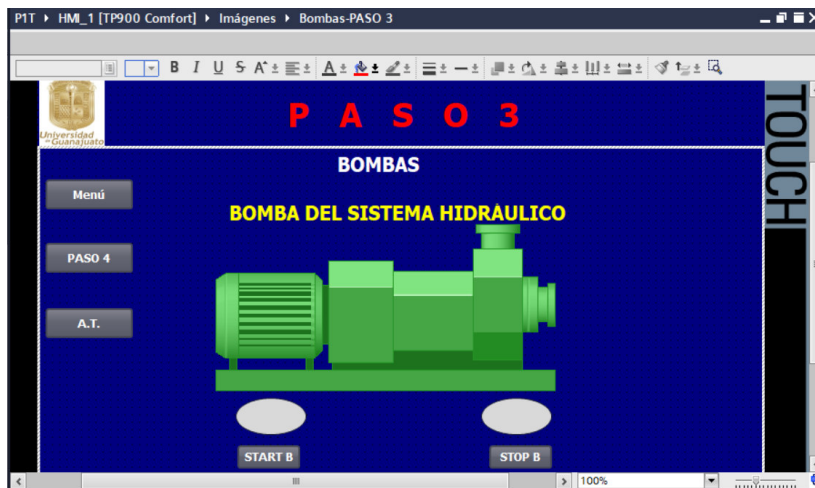


Figura 4.7: PASO 3. Sección de la bomba hidráulica.

La Figura 4.8, muestra la pantalla correspondiente al cuarto paso, donde se encuentra el sistema hidráulico. La figura que corresponde al paso número cuatro muestra una pantalla con el título de “PASO 4” y debajo del título se encuentra leyenda que hace referencia a la sección de los pistones. Esta pantalla muestra en el lado izquierdo dos botones correspondientes a “Menú” y a “PASO 5”. Se divide en dos secciones la pantalla, una parte muestra el actuador correspondiente al sistema de compresión y la otra parte de la pantalla muestra los dos actuadores en paralelo que corresponden al sistema de desmoldeo. Debajo de cada actuador se observan 2 botones con las leyendas “AVANZAR” y “RETROCEDER”, respectivamente. Cuando se presione el botón de avanzar del sistema de compresión, el cilindro hará el movimiento hacia abajo, es decir, la parte del cilindro que está seccionada con franjas amarillas y negras, son las que se desplaza. Por el contrario, al momento de presionar el botón avanzar del sistema de desmoldeo, las secciones con franjas amarillas y negras de los cilindros realizan el recorrido hacia la parte superior. Para regresar a los actuadores a su estado original, se necesita presionar el botón retroceder.

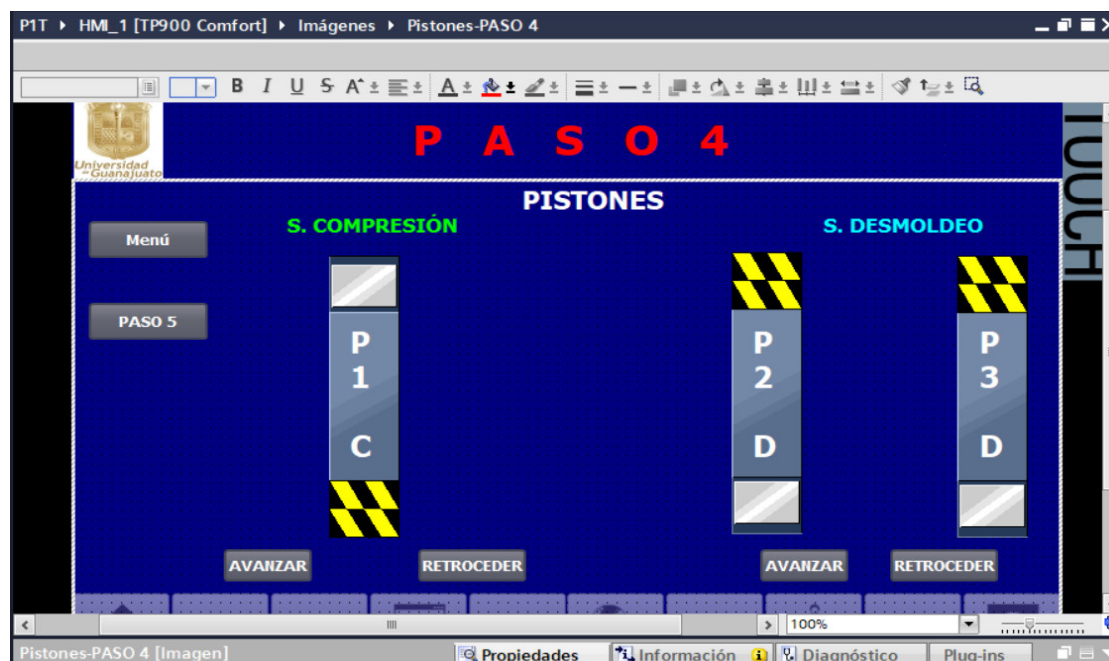


Figura 4.8: PASO 4. Pantalla con la sección de pistones o actuadores hidráulicos.

El paso número cinco, que corresponde a la Figura 4.9, es un paso distinto a los demás ya que aquí no hay gráficos o algún documento PDF.

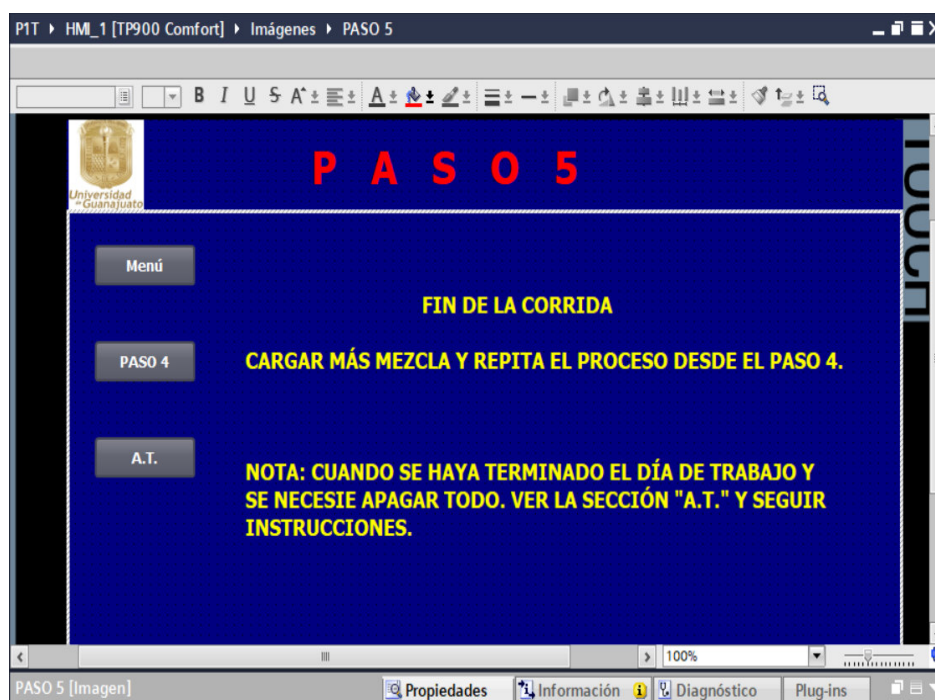


Figura 4.9: PASO 5. Pantalla con indicaciones de continuar con el procesos o culminación del mismo.

Esta pantalla muestra una leyenda de color amarillo que se divide en dos partes. La primera indica que el ciclo de trabajo, o la corrida de producción de bloques, ha terminado, para continuar con otra serie de producción hace la indicación de volver a cargar la mezcla en la máquina y repetir desde el paso 4. La otra parte se encuentra debajo y es una nota que hace mención al apagado total del sistema.

De aquí en adelante se repite el proceso desde el paso número 4, el control de los actuadores hidráulicos. Se carga la mezcla a la máquina bloqueadora, se comprime, se desmolda, se retira el producto terminado, se recarga la máquina con más mezcla y el proceso es repetido n veces hasta que el día laboral haya terminado.

Por último, la Figura 4.10 muestra la pantalla que el operador tiene que observar para hacer el correcto apagado de todo el sistema HMI y de los demás sistemas, paso por paso. Esto con la intención de perseverar y mantener en buen estado los equipos y dispositivos y evitar alguna falla en el futuro.

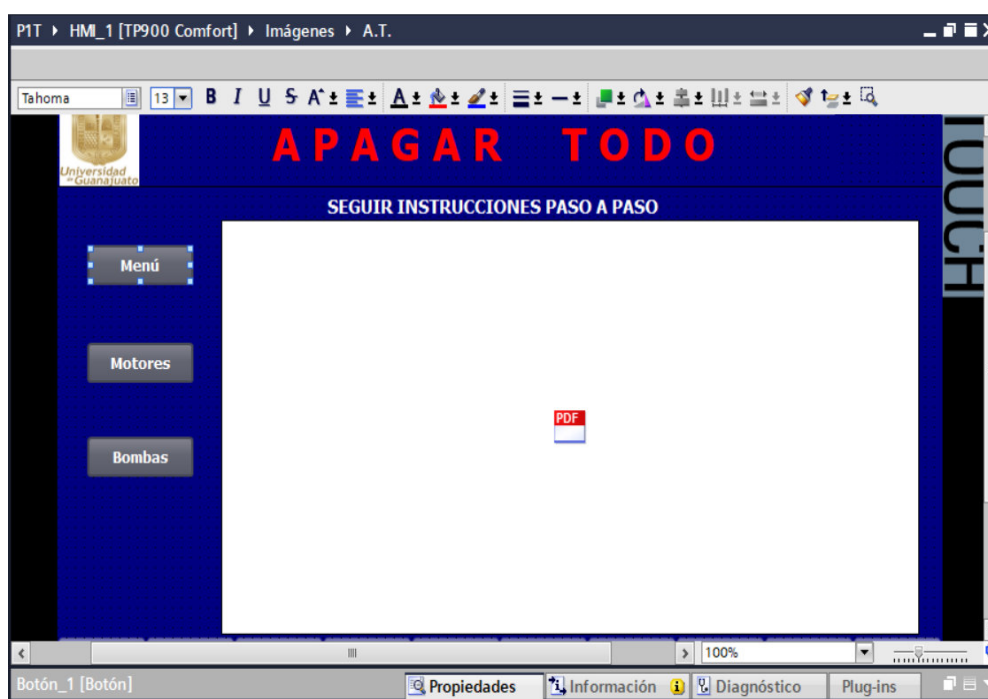


Figura 4.10: A.T. Pantalla con instrucciones de apagado total de los sistemas.

En la pantalla que lleva por título “APAGAR TODO”, se encuentra una leyenda con letras de color blanco que hace mención a seguir las instrucciones para el apagado correcto de todos los sistemas incluyendo el HMI. Se observa que en la mayor parte del área de la pantalla está una imagen de color blanco con el símbolo de PDF en el centro, esto hace referencia a que en ese espacio se encuentra un PDF con los pasos a seguir por el operador o usuario para que apague correctamente todos los dispositivos que se encuentran presentes en el proceso. En la parte izquierda de la pantalla se encuentran

tres botones, “Menú”, “Motores” y “Bombas”, respectivamente, debido a que son los dispositivos que se deben de apagar.

Como se observa en el presente capítulo de este trabajo de tesis, se comienza con una pequeña historia u origen de cómo es que surge el PLC y en qué momento de la historia de la humanidad surgió. Se habla de la empresa que solicitó un dispositivo capaz de mejorar el control de sus líneas de producción en el área automotriz y cómo es que se pudo contar con el primer PLC de la historia.

Posteriormente, se menciona el hardware de un PLC y los distintos montajes que puede tener. Se habla del montaje tipo rack y del montaje tipo modular haciendo énfasis en que un montaje tipo rack es uno de los más convenientes y adaptables a las necesidades en el momento de utilizar un PLC. De igual manera, se hizo mención de las partes que conforman al hardware del PLC, se describieron los módulos más importantes como el de E/S, módulos de E/S digitales y por último se habla del CPU.

Para la culminación de este capítulo, se hizo muestra de todas las pantallas que conforman al sistema HMI cada una con su respectiva descripción. Para que el operador o usuario que controle el sistema HMI, se elaboró de una manera intuitiva e instructiva debido a que en el ambiente laboral pueden estar presentes diversas variables y un error pequeño puede representar una consecuencia con magnitud considerable.

En el presente capítulo, se mencionan y se dan a conocer los resultados obtenidos en los distintos capítulos presentados en este trabajo de tesis, específicamente los resultados que se obtuvieron los capítulos 3 y 4. Los resultados del capítulo 3 corresponden a la obtención de la F.T., ecuación (3.7), del modelado del sistema hidráulico centralizado en los actuadores de doble efecto, al diseño del diagrama conceptual del sistema hidráulico con sus elementos. Los resultados correspondientes al capítulo 4 son las pantallas del sistema HMI y la funcionalidad de cada una de ellas.

5.1. Resultados obtenidos del diseño

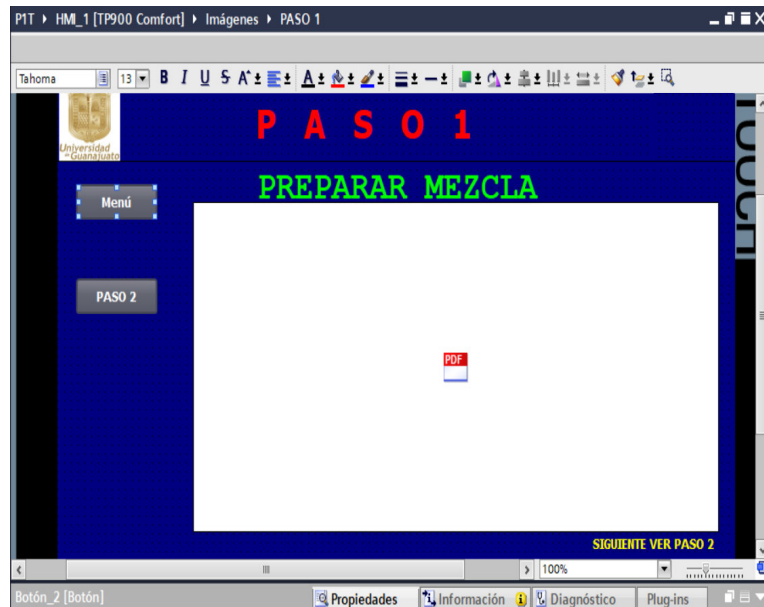
1. El diagrama conceptual del sistema hidráulico que contiene al Sistema de compresión y al Sistema de desmoldeo en conjunto con el motor trifásico, la bomba hidráulica y los demás elementos, es el primer resultado de este capítulo número tres. El diagrama se puede observar en la Figura 3.1.
2. El segundo resultado de este capítulo se muestra en la ecuación (3.7) que corresponde a la F.T. obtenida del modelado del actuador hidráulico de doble efecto.
3. El cálculo de las fuerzas de compresión y de desmoldeo, corresponden al tercer resultado.
4. El último resultado corresponde al cálculo de diámetros para conocer la marca y serie de los actuadores que se necesitan utilizar para las fuerzas encontradas.

5.2. Resultados obtenidos del HMI

Los resultados que se obtuvieron del capítulo 4 son las diversas pantallas que conforman al sistema HMI. De igual manera, con el código utilizado para el PLC, se muestra en la sección de “Anexos”, se enlazaron las variables con los elementos de las pantallas para poder visualizar los cambios que hay.

5.2 RESULTADOS OBTENIDOS DEL HMI

En la Figura 5.1, se muestra la pantalla principal o pantalla del menú del HMI con el PDF. Se hace la comparación de la pantalla en su estado original, que es la Figura 4.5, correspondiente al inciso a) y la pantalla ya con la activación del HMI que es el inciso b).



(a) Pantalla principal sin la activación del HMI.

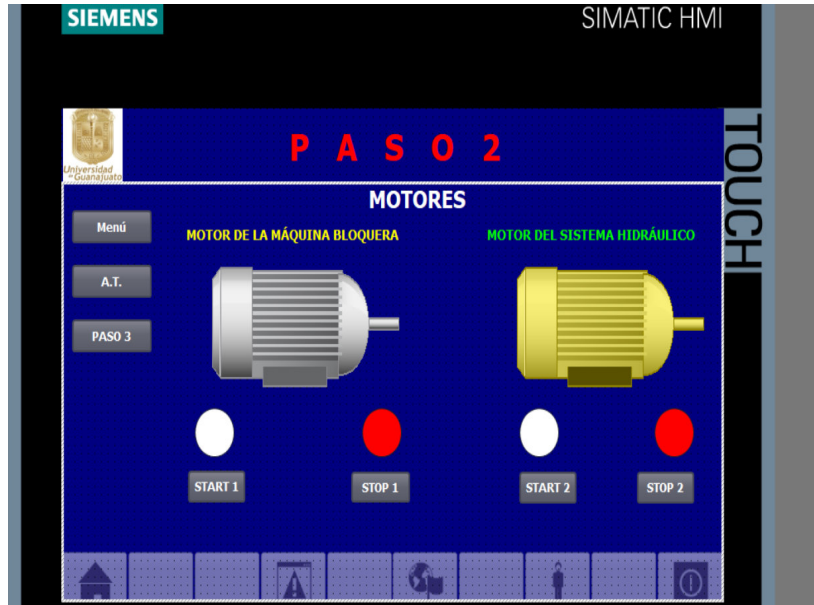


(b) Pantalla principal con el PDF mostrado.

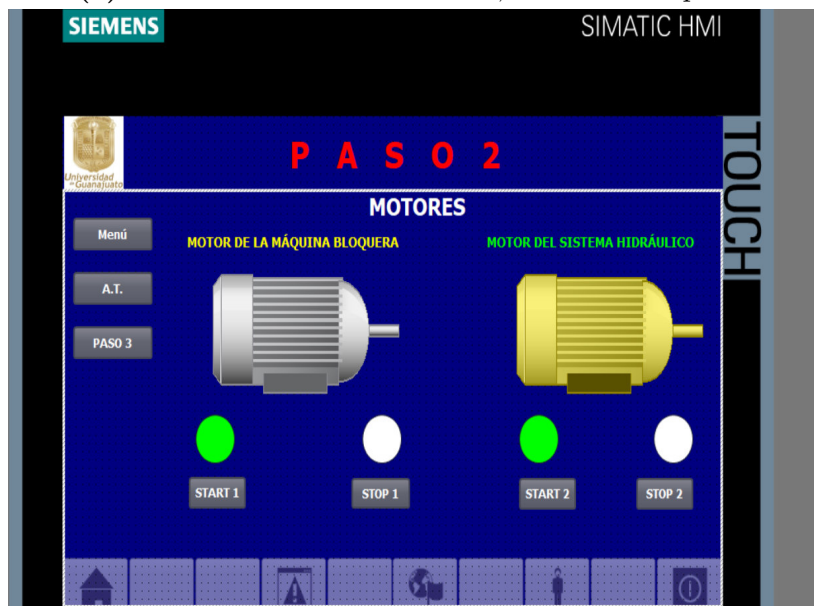
Figura 5.1: Resultado 1 del sistema activo del HMI. Comparación entre la pantalla principal inactiva y activa.

En la Figura 5.2, dividida por incisos, se muestra la diferencia cuando los motores

están inicialmente apagados, led rojo e inciso a), y cuando se presiona el botón de START 1 y START 2 que muestran la inicialización de los mismos, led verde e inciso b).



(a) Estado inicial de los motores, en estado de paro.



(b) Activación de los motores al presión los botones START's.

Figura 5.2: Comparación entre el estado original de los motores al iniciar el programa y la activación de los mismos al presionar los botonos de inicio.

Para la Figura 5.3, se muestran las dos pantallas en forma comparativa del estado original de la bomba y al momento de inicializarla. El estado original corresponde al inciso a) y se puede observar el led de color rojo que indica que está en paro. El led

de color verde que se muestra en el inciso b), da a conocer que la bomba ya fue activada.



(a) Estado inicial de la bomba, en estado de paro.



(b) Activación de la bomba.

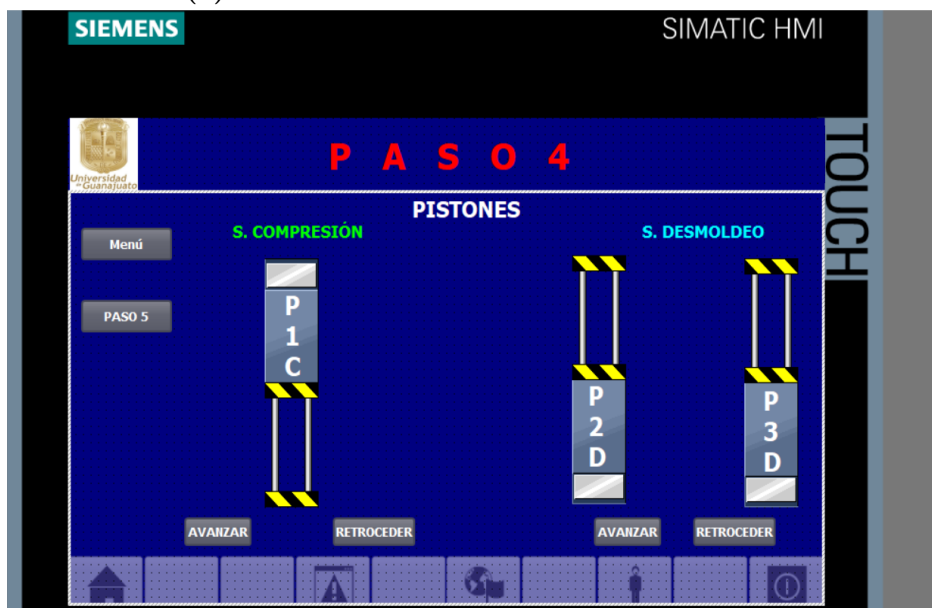
Figura 5.3: Inicialización de la bomba hidráulica.

La Figura 5.4, muestra los actuadores hidráulicos extendidos, es decir, se hace la

comparación entre la Figura 4.8 que muestra a los cilindros en estado de reposo y cuando son activados.



(a) Estado inicial los actuadores hidráulicos.



(b) Actuadores hidráulicos activados.

Figura 5.4: Activación de los actuadores hidráulicos de doble efecto.

Con esta última imagen se concluyen los resultados de este trabajo de tesis. Con estos resultados se logra obtener la reconversión mecatrónica de la máquina bloqueadora manual que en un principio tenía un estado mecánico manual, y ahora, tiene un modelo hidráulico aunado a un sistema de control HMI. Con esta reconversión

de la MBPM, se cumple el objetivo principal planteado en un principio y se da pie a realizar más investigación para poder obtener un trabajo futuro aplicado y enfocado específicamente a la industria de la construcción.

5.3. Trabajo futuro

Un trabajo que se puede considerar a futuro es el diseño de toda la línea de producción para la fabricación de tabiques, es decir, un croquis que contenga desde que llega la materia prima al terreno hasta la sección de secado de los productos terminados.

Para este trabajo futuro se incluirían los demás equipos a controlar con el PLC como tolvas, mezcladoras, bandas transportadoras, reservorios para la mezcla y para la materia prima, entre otros más.

Esta sección corresponde al Anexo 1 del trabajo de tesis en la cual se muestra el manual de fabricación de tabiques y la tabla correspondiente al manual del ingeniero civil donde se encuentra el valor del coeficiente de presión activa del hormigón.

El manual para la fabricación de tabiques es propio del Fondo Nacional de Formación Profesional para la Industria de la construcción en colaboración con el Servicio Nacional de Aprendizaje (SENA). Dicho manual se puede encontrar en su página oficial o también se puede recurrir a él bajo el siguiente enlace de internet:
https://repositorio.usepackage.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/5008/manual_fabricacion_bloques_adoquines.PDF?sequence=1&isAllowed=y

En la Figura A.1, se muestra la tabla 7.14 donde está el valor del coeficiente activo del hormigón para un $\beta = 0$.

TABLA 7.14 Coeficiente K_a de presión activa lateral

$\phi =$	10°	15°	20°	25°	30°	35°	40°	
$\beta = 0$	$\alpha = 0$	0.70	0.59	0.49	0.41	0.33	0.27	0.22
	$\alpha = 10^\circ$	0.97	0.70	0.57	0.47	0.37	0.30	0.24
	$\alpha = 20^\circ$	—	—	0.88	0.57	0.44	0.34	0.27
	$\alpha = 30^\circ$	—	—	—	—	0.75	0.43	0.32
	$\alpha = \phi$	0.97	0.93	0.88	0.82	0.75	0.67	0.59
$\beta = 10^\circ$	$\alpha = 0$	0.76	0.65	0.55	0.48	0.41	0.43	0.29
	$\alpha = 10^\circ$	1.05	0.78	0.64	0.55	0.47	0.38	0.32
	$\alpha = 20^\circ$	—	—	1.02	0.69	0.55	0.45	0.36
	$\alpha = 30^\circ$	—	—	—	—	0.92	0.56	0.43
	$\alpha = \phi$	1.05	1.04	1.02	0.98	0.92	0.86	0.79
$\beta = 20^\circ$	$\alpha = 0$	0.83	0.74	0.65	0.57	0.50	0.43	0.38
	$\alpha = 10^\circ$	1.17	0.90	0.77	0.66	0.57	0.49	0.43
	$\alpha = 20^\circ$	—	—	1.21	0.83	0.69	0.57	0.49
	$\alpha = 30^\circ$	—	—	—	—	1.17	0.73	0.59
	$\alpha = \phi$	1.17	1.20	1.21	1.20	1.17	1.12	1.06
$\beta = 30^\circ$	$\alpha = 0$	0.94	0.86	0.78	0.70	0.62	0.56	0.49
	$\alpha = 10^\circ$	1.37	1.06	0.94	0.83	0.74	0.65	0.56
	$\alpha = 20^\circ$	—	—	1.51	1.06	0.89	0.77	0.66
	$\alpha = 30^\circ$	—	—	—	—	1.55	0.99	0.79
	$\alpha = \phi$	1.37	1.45	1.51	1.54	1.55	1.54	1.51

Figura A.1: Tabla del coeficiente activo del hormigón para un β dado.

APÉNDICE B

PLANOS DE MÁQUINA BLOQUERA

Los planos de la máquina bloquera se muestran en las figuras B.1 - B.16.

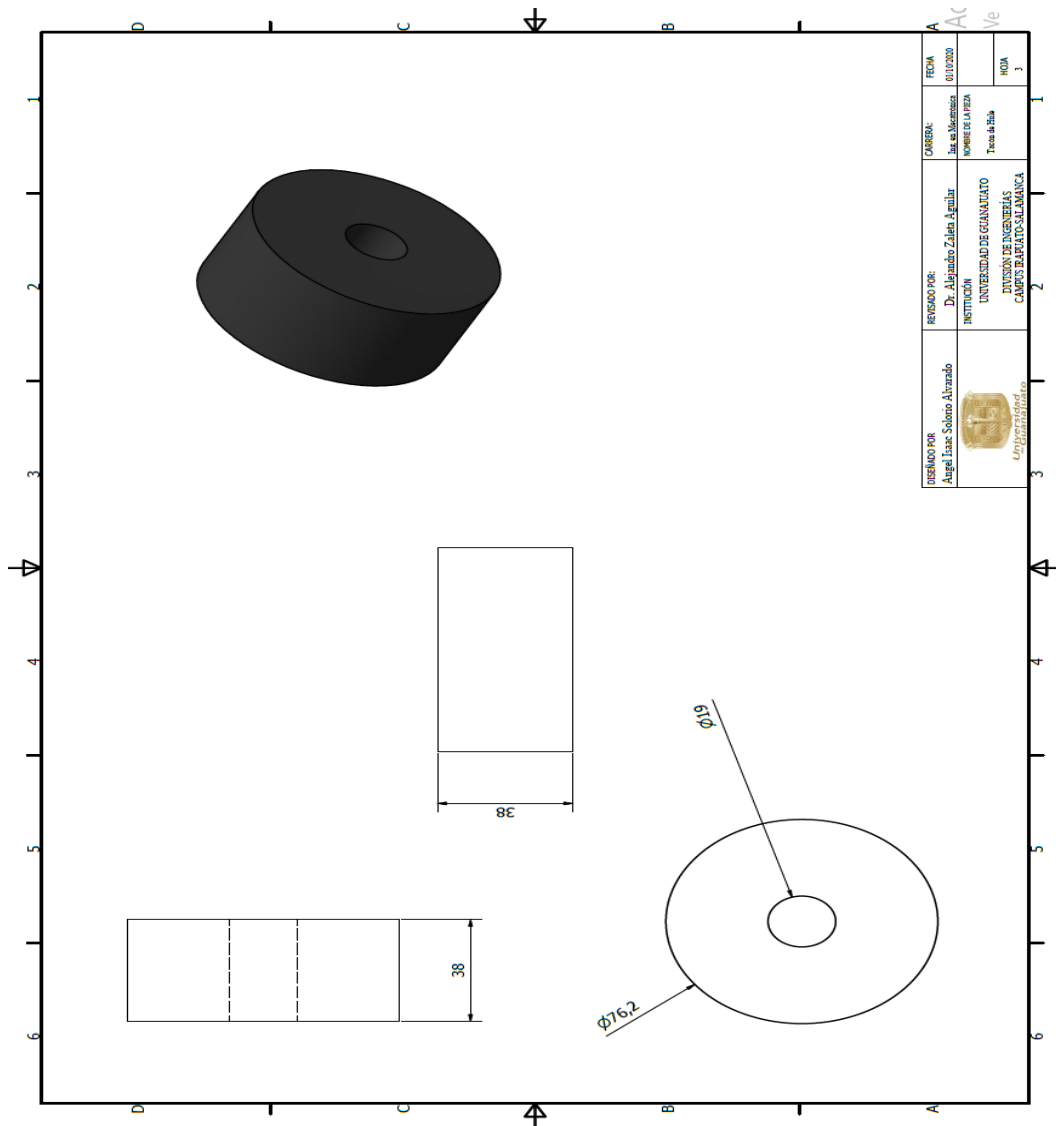


Figura B.1: Plano de Tacón de hule.

APÉNDICE B. PLANOS DE MÁQUINA BLOQUERA

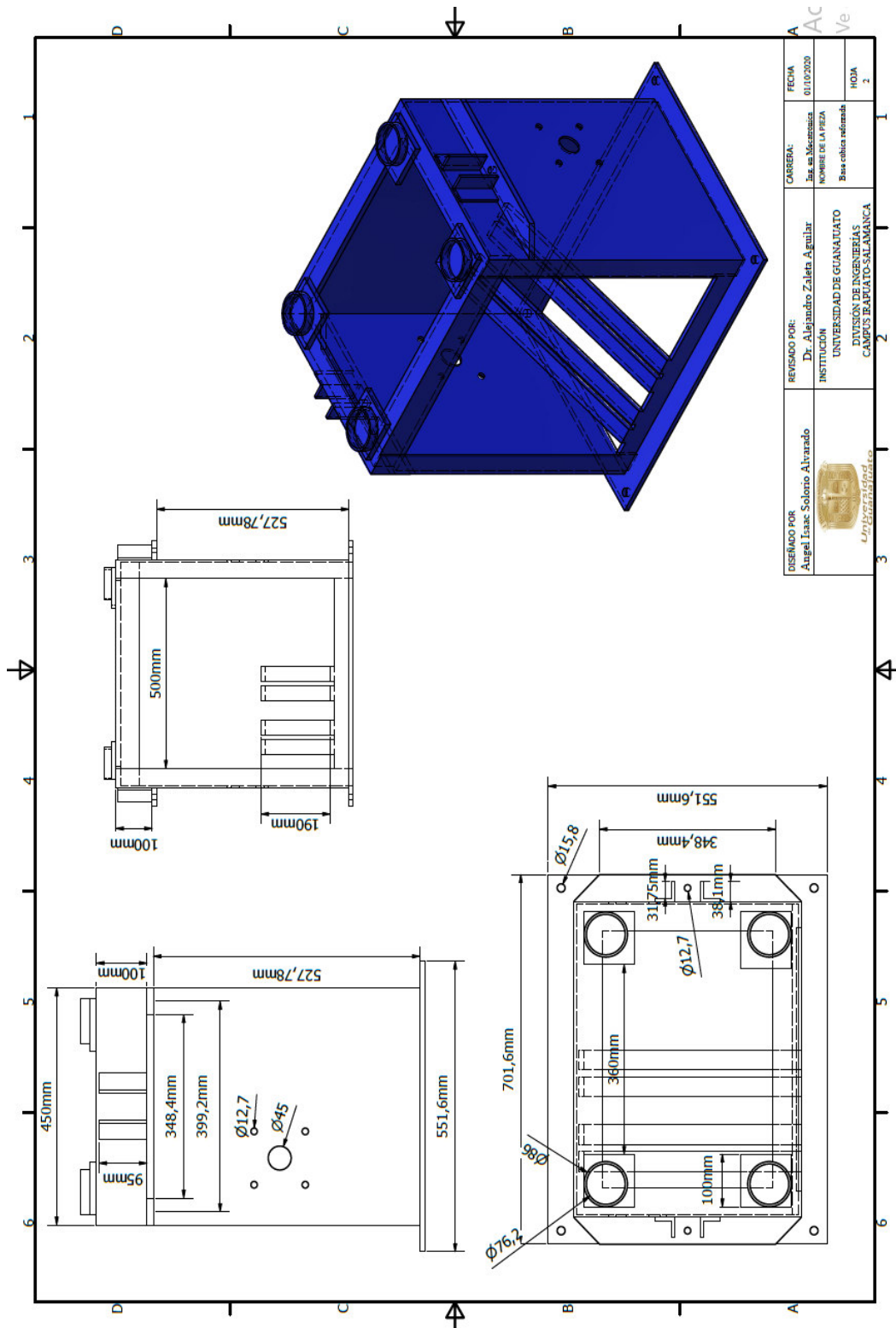


Figura B.2: Plano de Base cúbica reforzada.

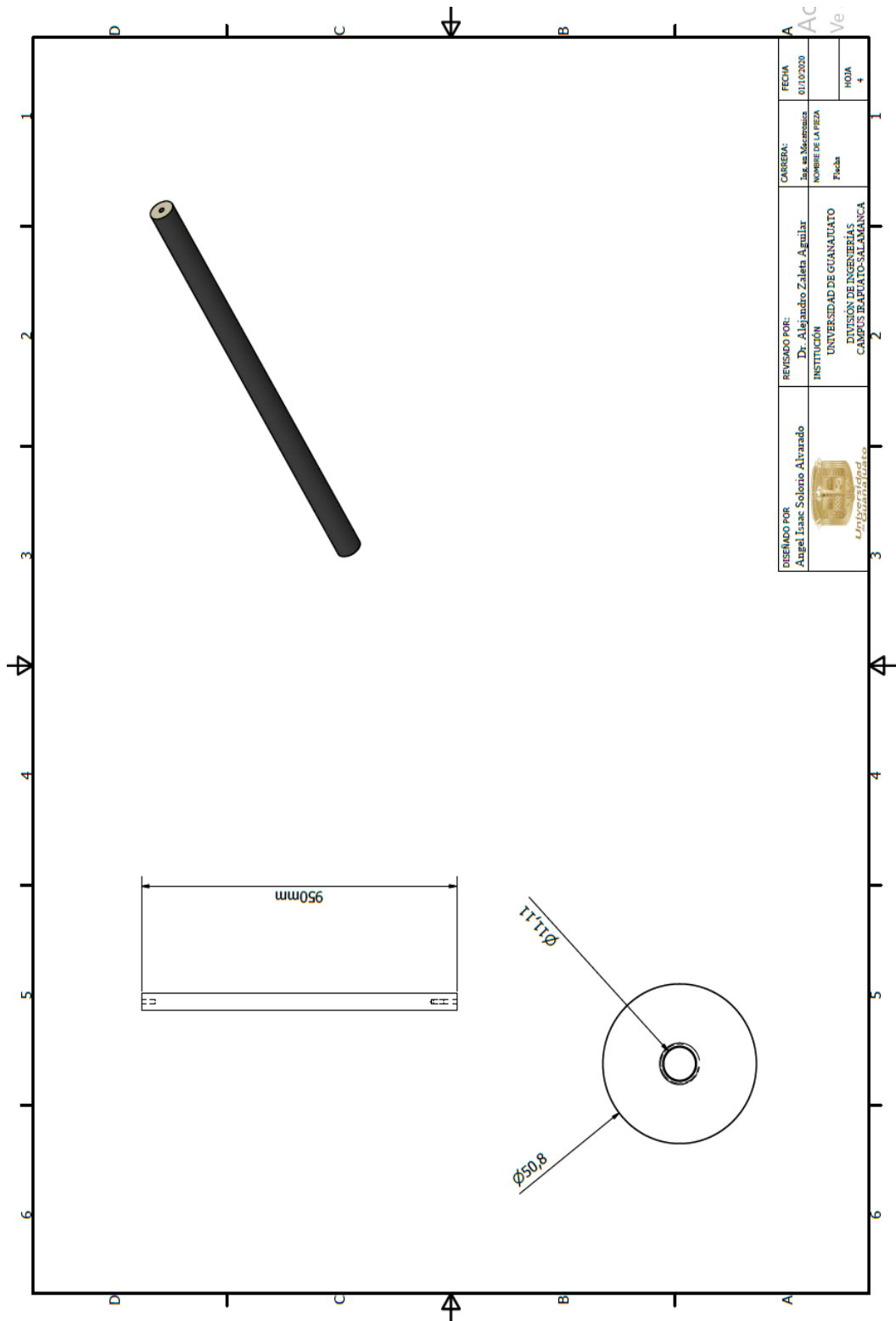


Figura B.3: Plano de Flecha.

APÉNDICE B. PLANOS DE MÁQUINA BLOQUERA

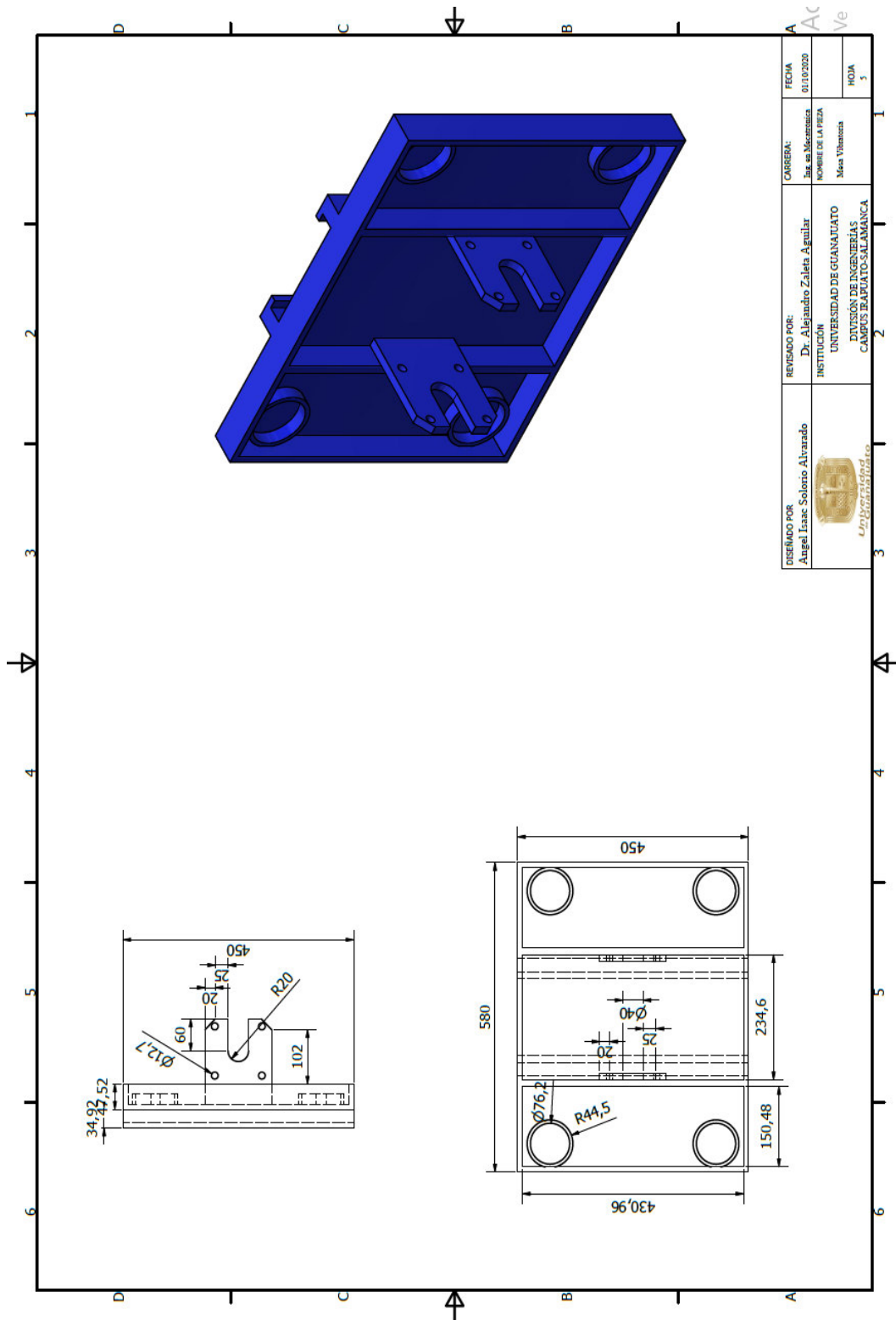


Figura B.4: Plano de Mesa vibradora.

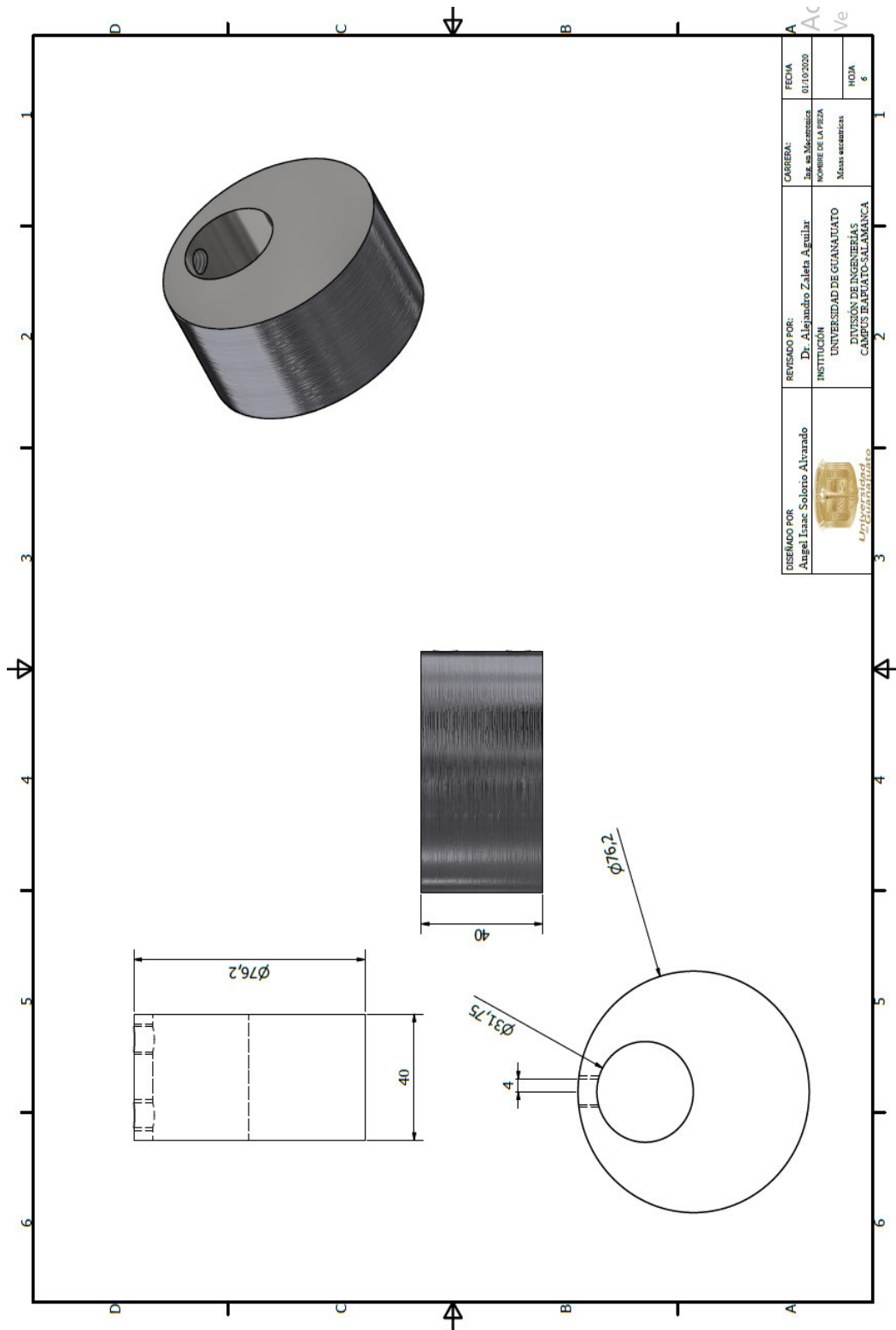


Figura B.5: Plano de masas excéntricas.

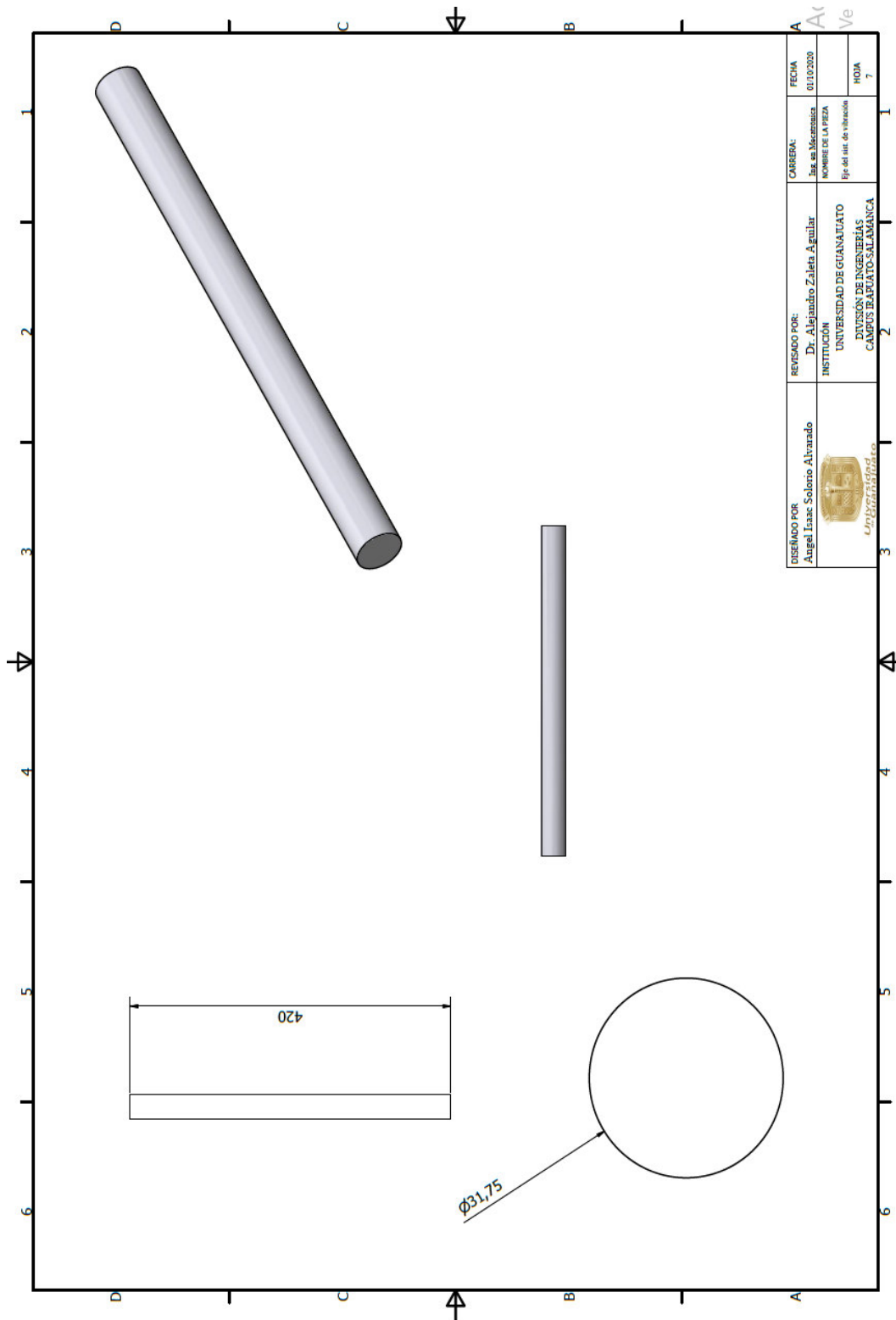


Figura B.6: Plano de Eje del sistema de vibración.

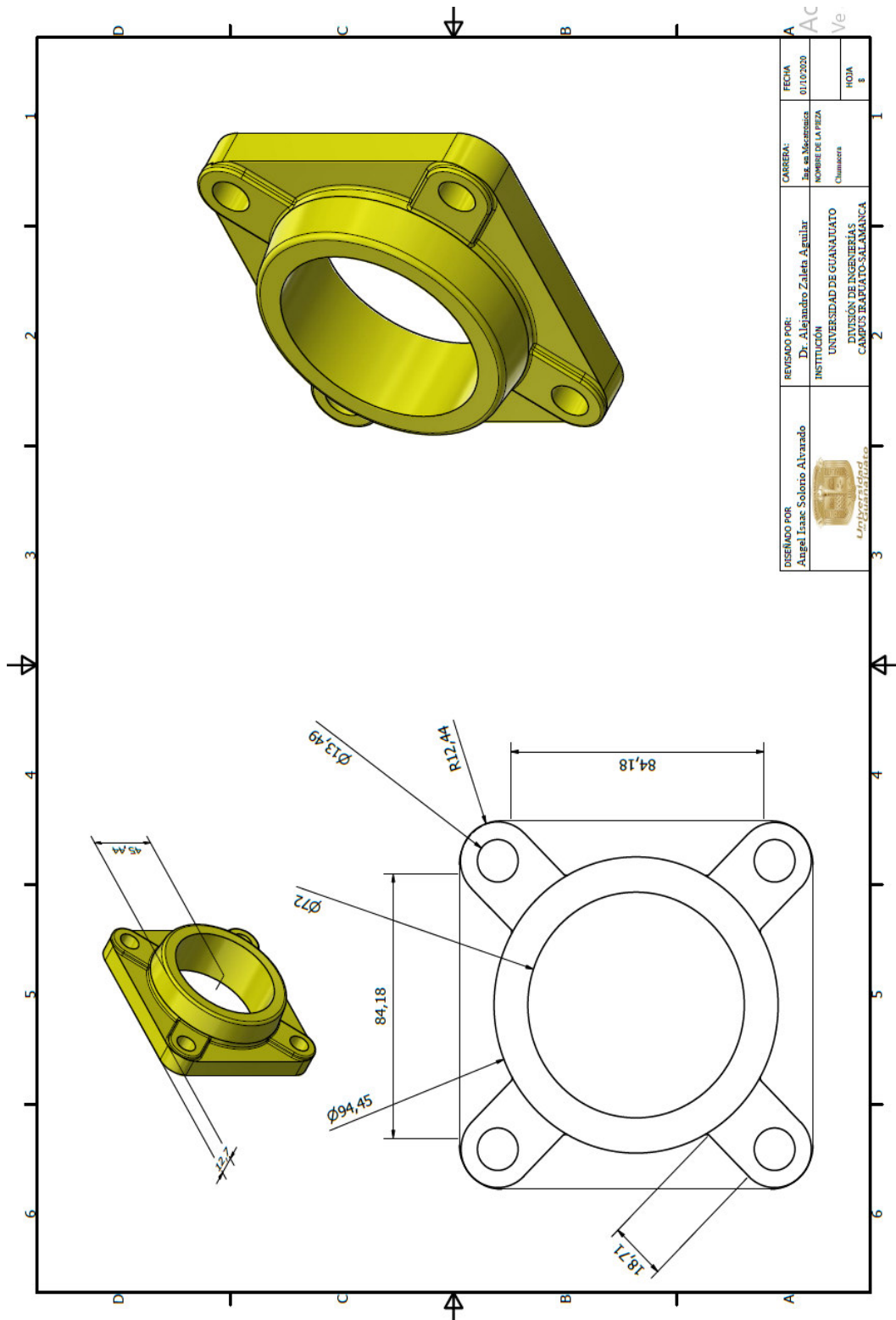


Figura B.7: Plano de Chumacera.

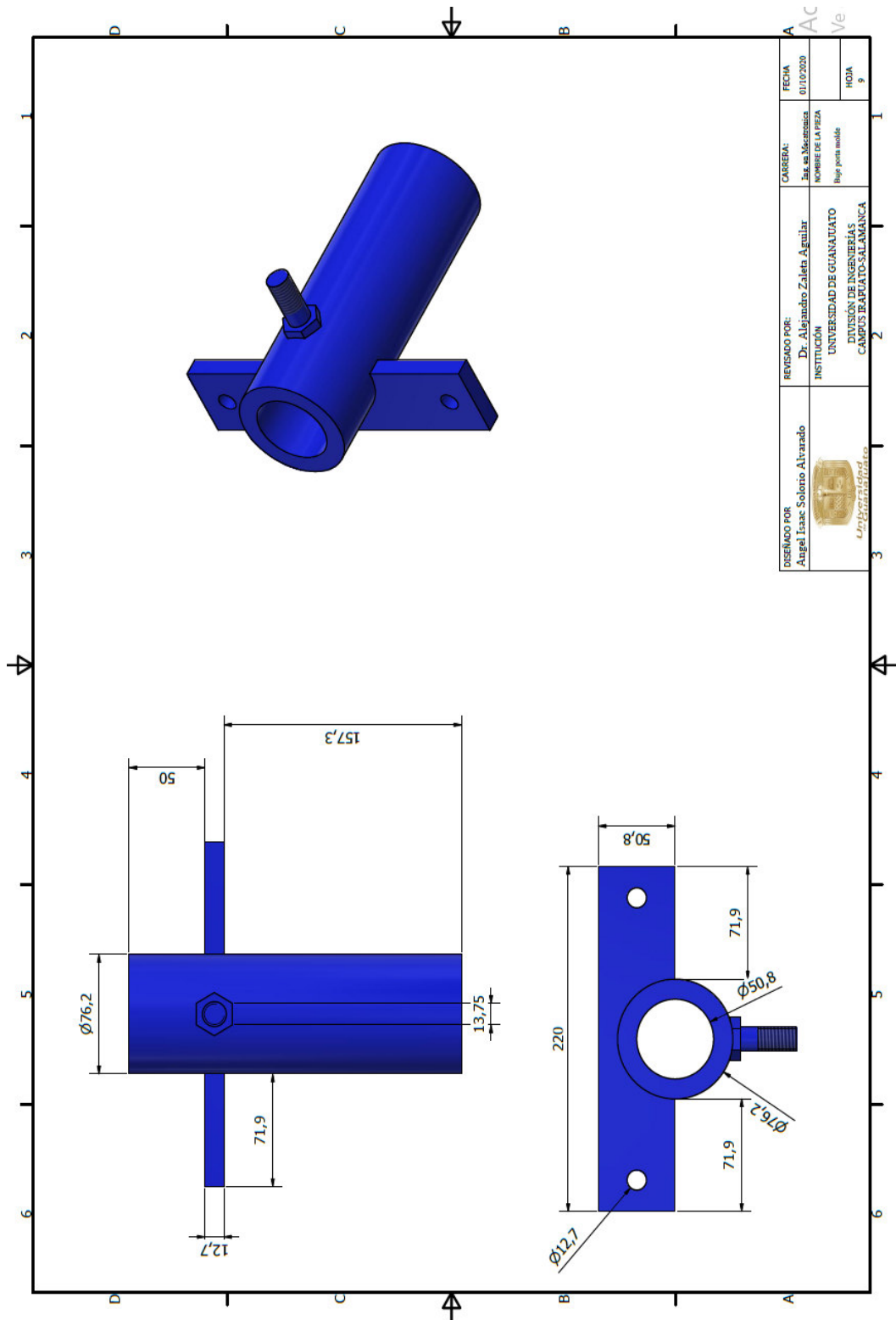


Figura B.8: Plano de Buje porta molde.

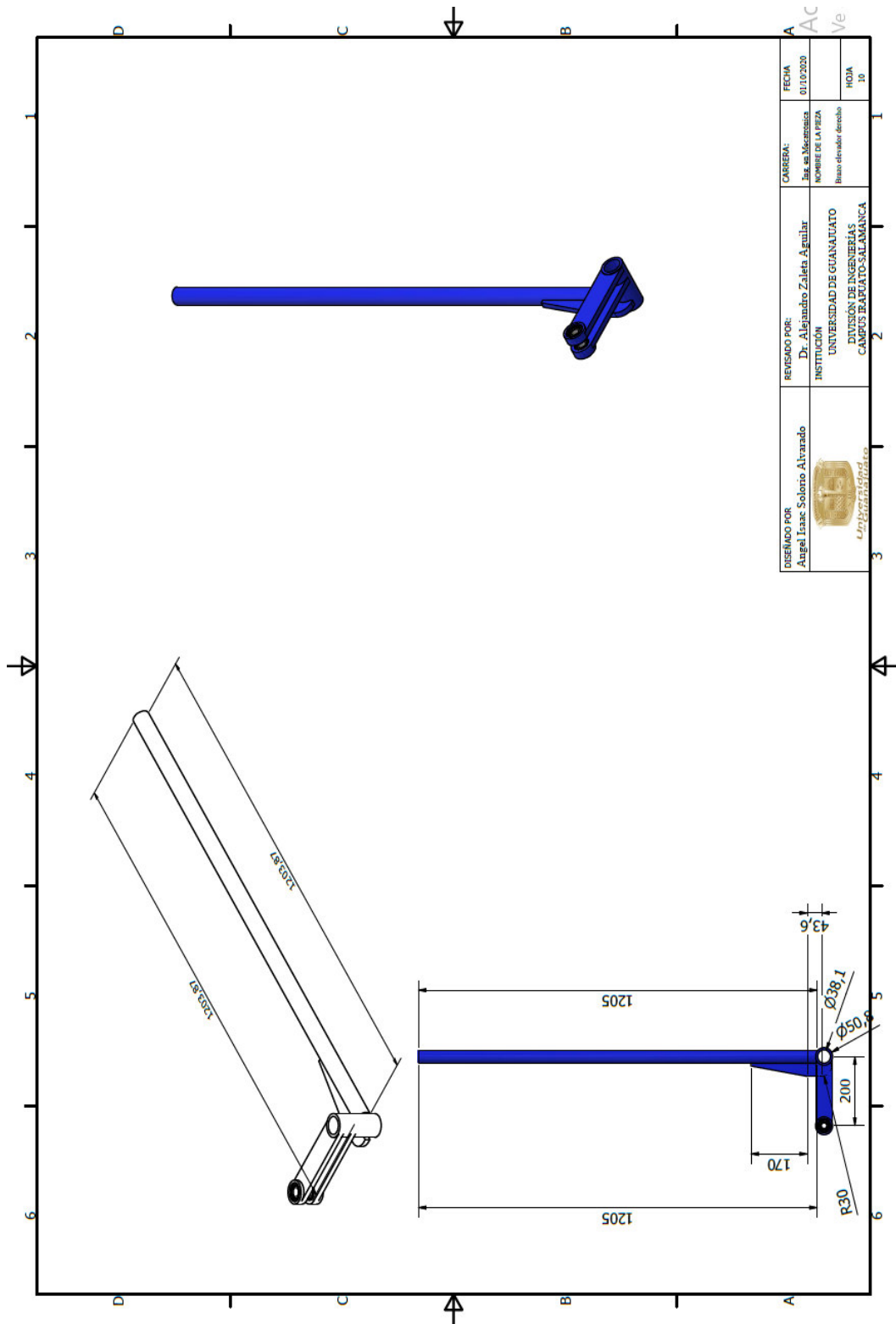


Figura B.9: Plano de Brazo elevador derecho.

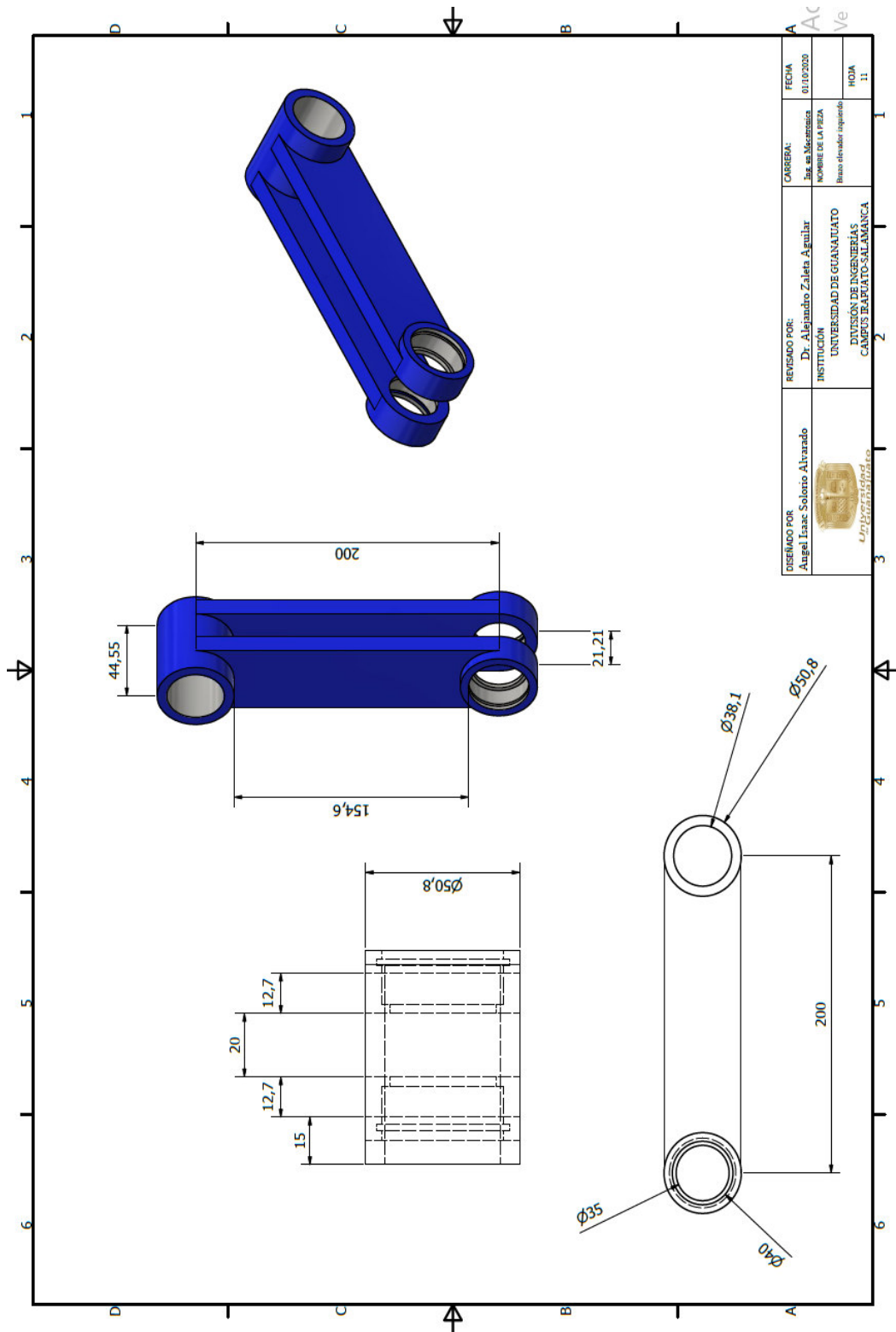


Figura B.10: Plano de Brazo izquierdo.

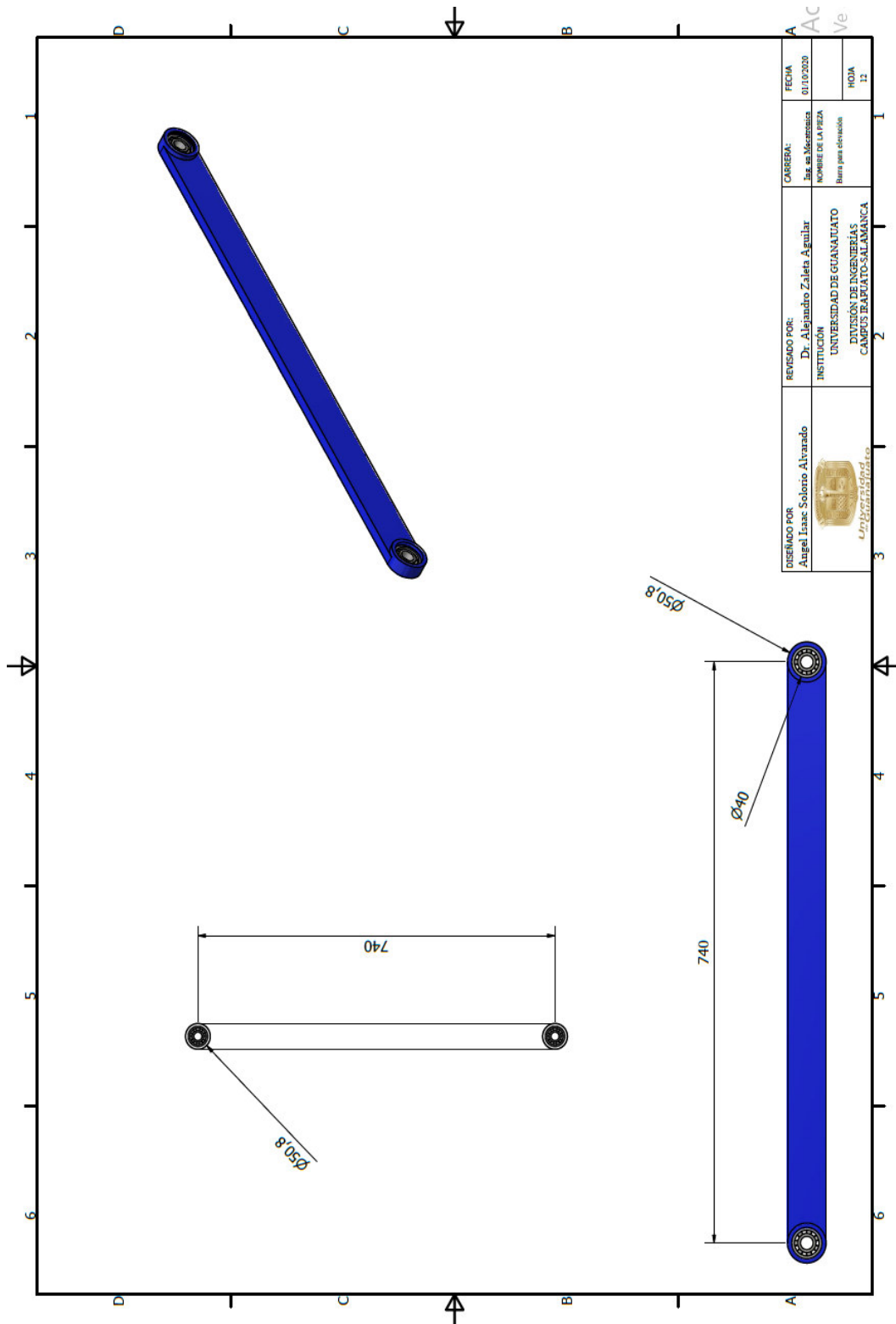


Figura B.11: Plano de Barra para elevación.

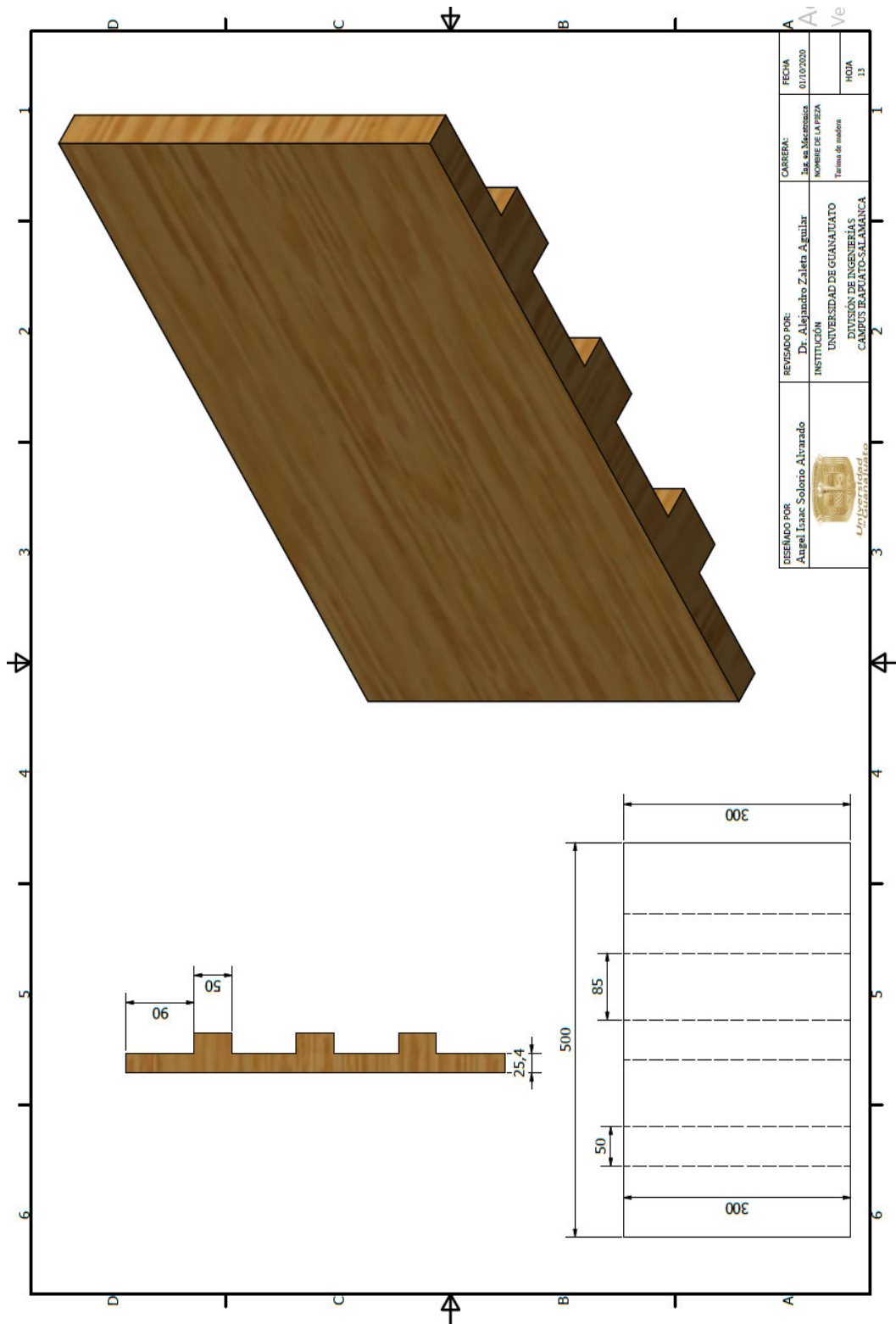


Figura B.12: Plano de Tarima de madera.

APÉNDICE B. PLANOS DE MÁQUINA BLOQUERA

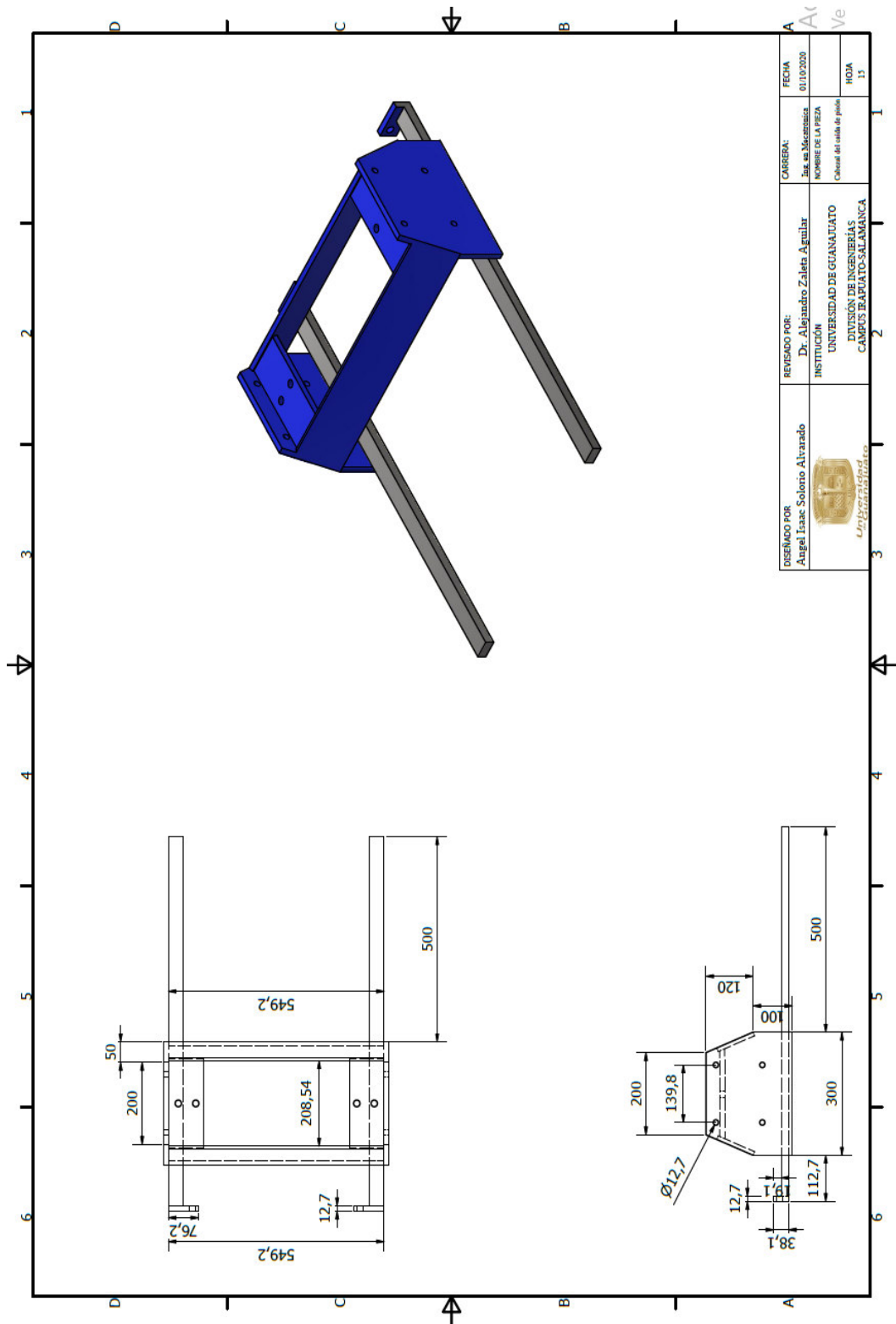


Figura B.13: Plano de Carro del caída de pisón.

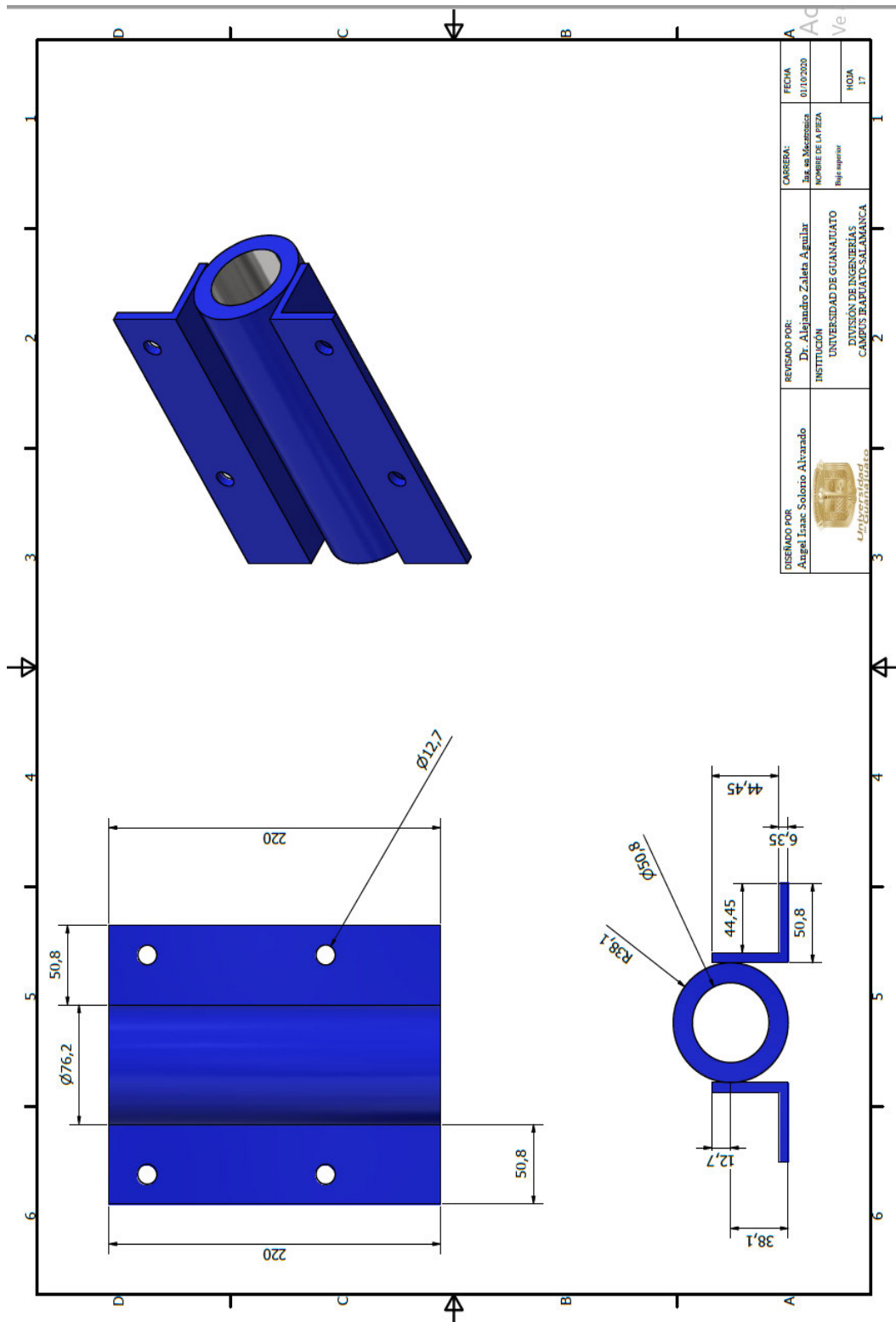


Figura B.14: Plano de Buje superior.

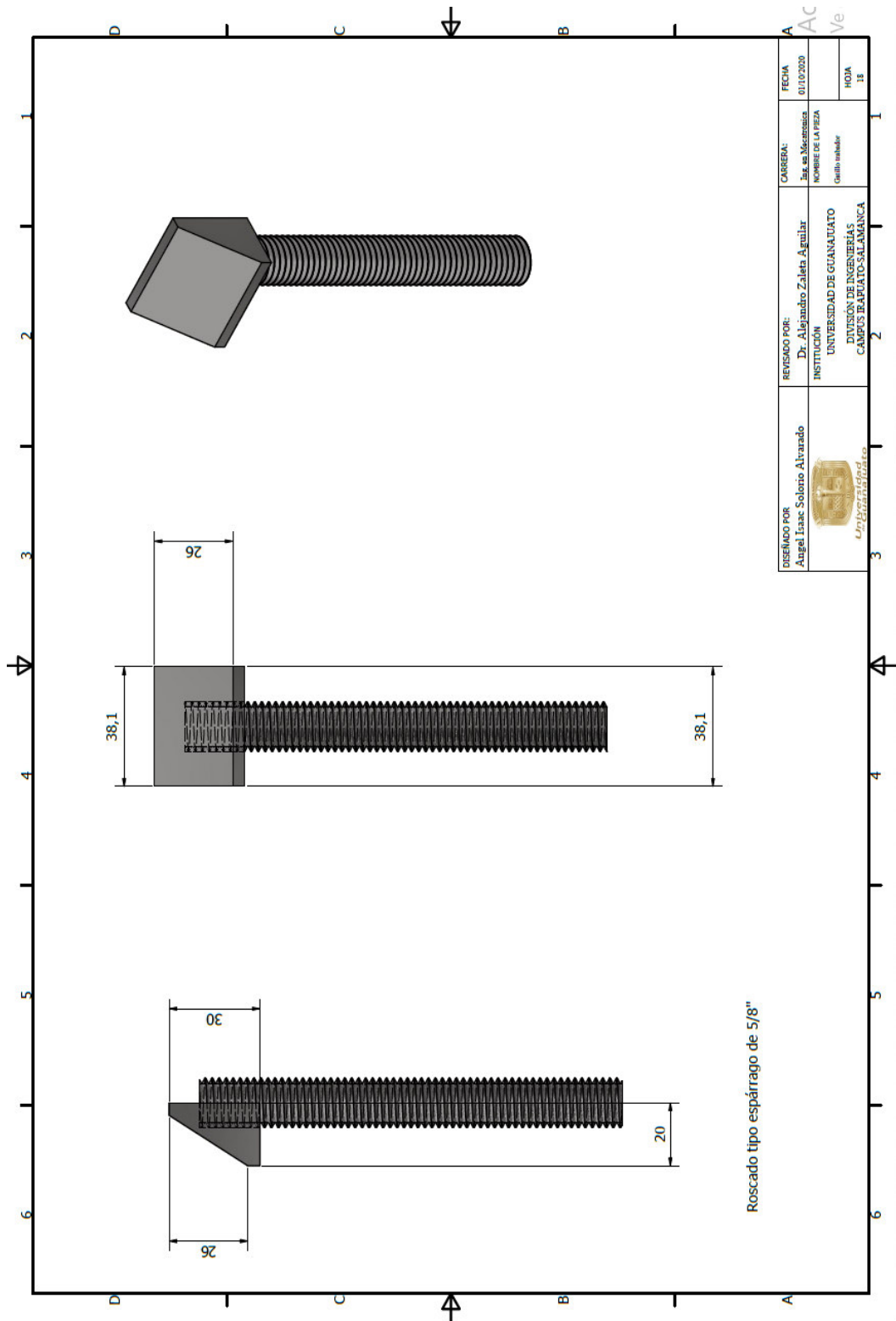


Figura B.15: Plano de gatillo trabador.

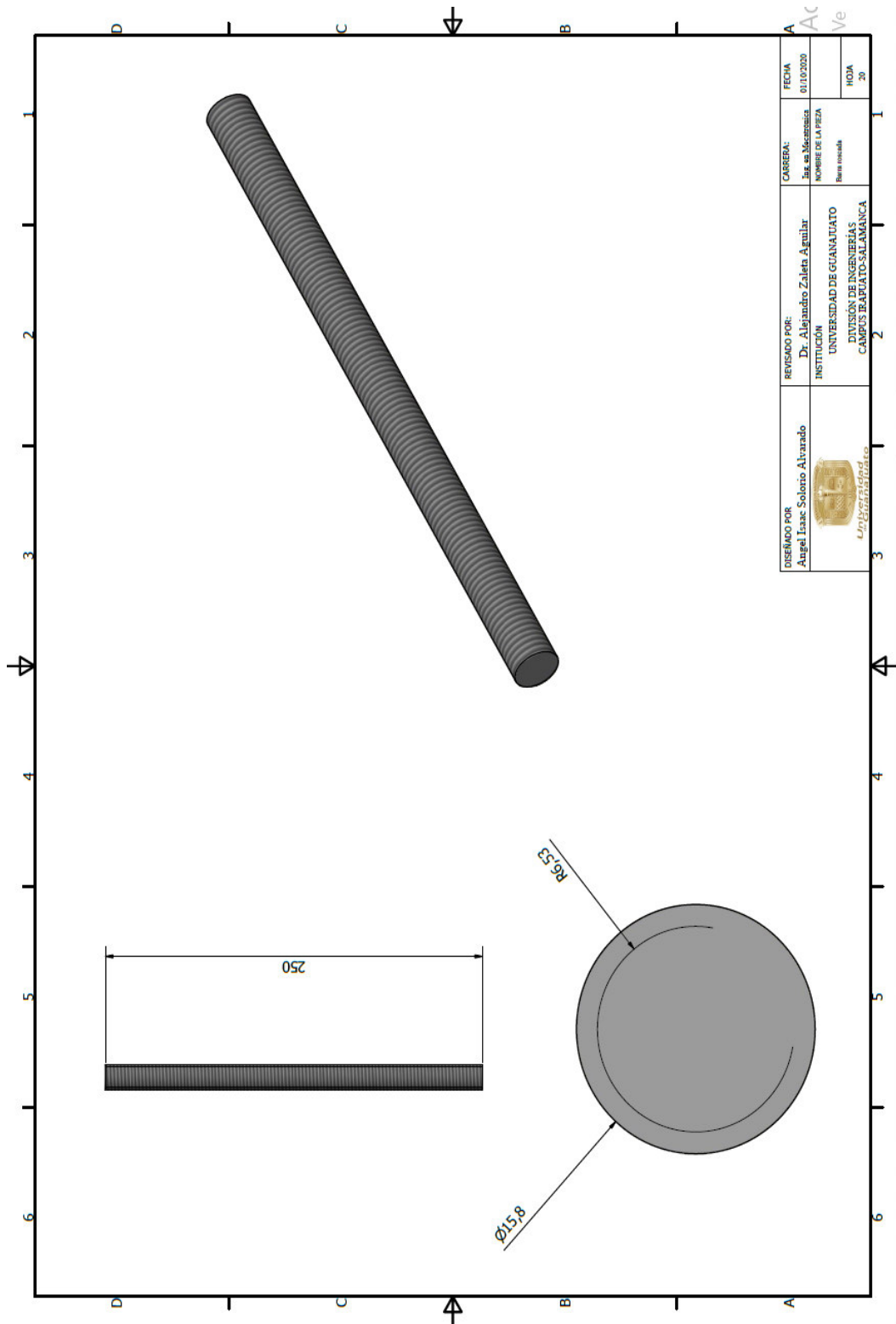


Figura B.16: Plano de barra roscada.

El código utilizado del PLC para el encendido y apagado de motores, bomba y control de los actuadores hidráulicos, se muestra a continuación. Este código es mostrado en diagrama de escalera.

Los códigos se dividen por segmentos y cada segmento corresponde a una activación o control de dispositivos diferentes.

En la Figura C.1, se muestra la tabla de variables con las cuales se hicieron los distintos segmentos para controlar los motores, las bombas y los actuadores hidráulicos.

P1T ▶ PLC_1 [CPU 1214C AC/DC/Rly] ▶ Variables PLC ▶ Variables del P1T [21]							
Variables del P1T							
	Nombre	Tipo de datos	Dirección	Rema...	Acces...	Escrib...	Visibl...
1	START 1	Bool	%I0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
2	STOP 1	Bool	%I0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
3	START 2	Bool	%I0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
4	STOP 2	Bool	%I0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
5	START B	Bool	%I0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
6	STOP B	Bool	%I0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
7	AVANZAR	Bool	%I0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
8	RETROCEDER	Bool	%I0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
9	SENSOR P1 MAS	Bool	%I1.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
10	SENSOR P1 MENOS	Bool	%I1.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
11	Luz verde B	Bool	%M0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
12	Bomba	Bool	%Q0.0	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
13	Luz roja B	Bool	%Q0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
14	Luz verde MV	Bool	%M0.1	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
15	Luz roja MV	Bool	%Q0.2	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
16	Motor V	Bool	%Q0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
17	Luz verde MH	Bool	%M0.3	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
18	Luz roja MH	Bool	%Q0.4	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
19	Motor H	Bool	%Q0.5	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
20	SOL P1 MAS	Bool	%Q0.6	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>
21	SOL P1 MENOS	Bool	%Q0.7	<input type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>	<input checked="" type="checkbox"/>

Figura C.1: Tabla con las variables del PLC.

En la Figura C.2, se muestra el segmento 1 y el código en diagrama de escalera.

Este segmento corresponde a la activación del motor del sistema de vibro-compactación.

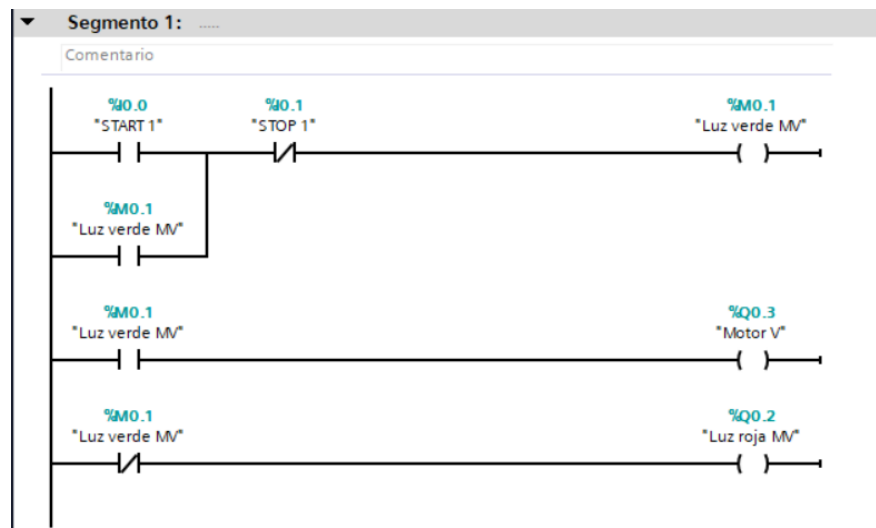


Figura C.2: Código para activación del motor de vibro-compactación.

En la Figura C.3, se puede observar el código del segmento 2 que corresponde a la activación del motor del sistema hidráulico.

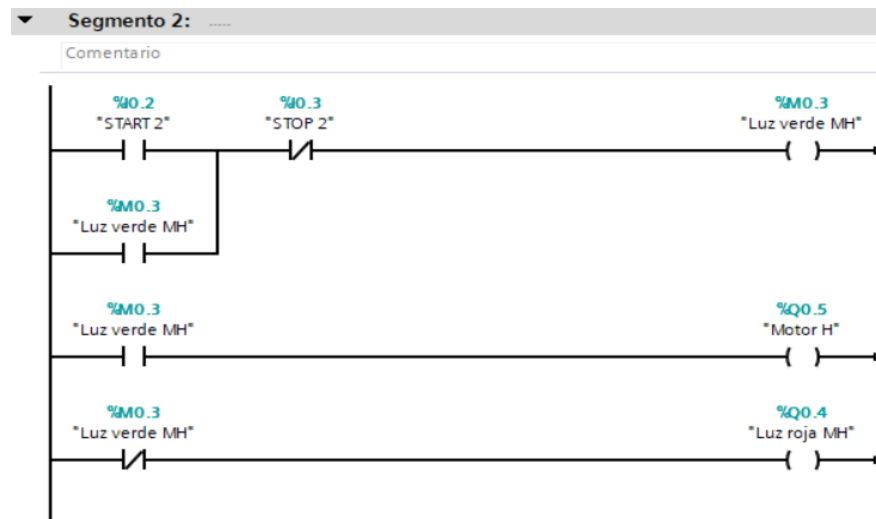


Figura C.3: Código para activación del motor del sistema hidráulico.

La Figura C.4, muestra el código utilizado para el control de encendido y apagado de la bomba hidráulica.

Por último, pero no menos importante, en la Figura C.5, se muestra el código para el control de los actuadores hidráulicos. Cabe hacer la aclaración que este código es para el sistema de compresión, el código para el sistema de desmoldeo es similar,

solamente se cambian el nombre de los solenoides P1+ y P1- por P+ y P- y de igual forma los sensores de final de carrera.

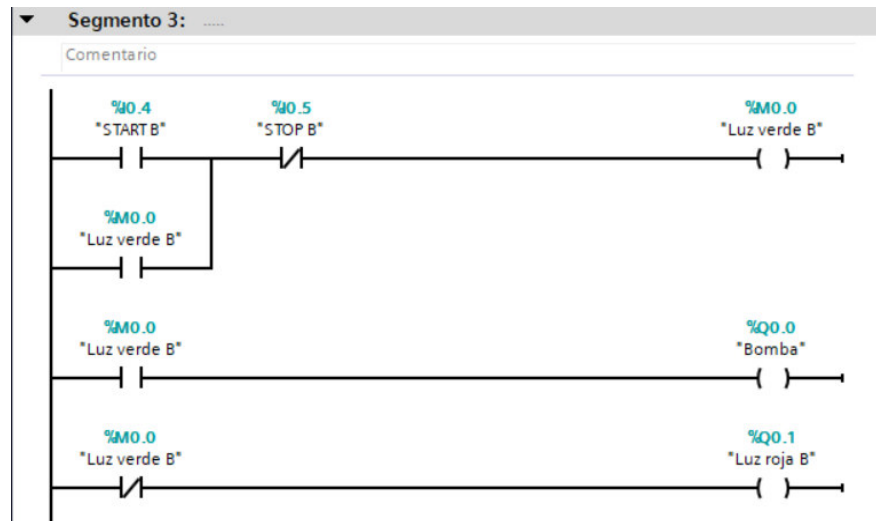


Figura C.4: Código para activación de la bomba hidráulica.

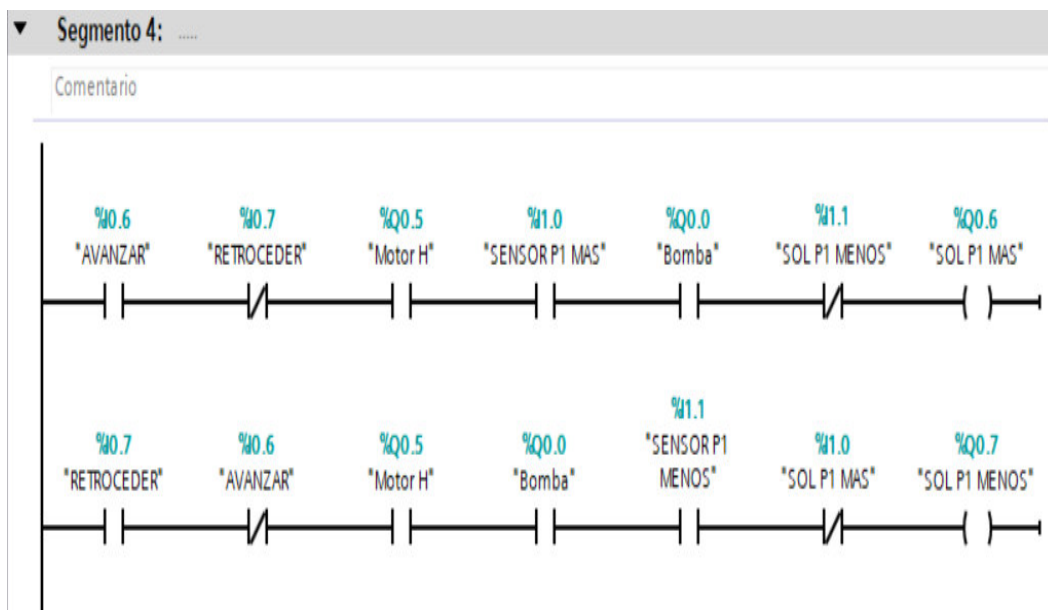


Figura C.5: Código para el control de los actuadores hidráulicos.

- [1] H.Armenta.(2013, Agosto 27).La construcción y las expectativas de crecimiento.*Forbes México*. [En línea]. Disponible en:<https://www.forbes.com.mx/la-construccion-y-las-expectativas-de-crecimiento/>
- [2] Bloqueras.org (s.f).“Bloques de Concreto”. [En línea]. Disponible en:<https://bloqueras.org/bloques-concreto/#:~:text=De%20acuerdo%20a%20la%20historia,1890%20en%20los%20Estados%20Unidos.&text=Actualmente%2C%20la%20elaboraci%C3%B3n%20de%20blocks,hasta%202.000%20piezas%20por%20hora>
- [3] (s.a.). [En línea]. Disponible en:http://catarina.udlap.mx/u_dl_a/tales/documentos/lim/ibarra_f_f/capitulo2.pdf
- [4] J.F.González.(2008, octubre).“Bloques de concreto muy sanos”. *CONSTRUCCIÓN Y TECNOLOGÍA*. [En línea]. Disponible en:<http://www.imcyc.com/ct2008/oct08/sustentabilidad.htm>
- [5] Corporación Silkeborg S.A.(2017,diciembre 29). “Historia Del Bloque De Hormigón”. Disponible en: <http://silkeblock.com/historia-del-bloque-de-hormigon/>
- [6] B.Del Cueto.(2015). “Los mosaicos hidráulicos y los bloques de concreto en el trópico caribeño: su origen, historia y conservación.” *En Actas del Noveno Congreso Nacional y Primer Congreso Internacional Hispanoamericano de Historia de la Construcción: Segovia, 13 a 17 de octubre de 2015*. Instituto Juan de Herrera. p. 509-519.
- [7] Rosell, Jaume y Joan Ramón. (1985). “El Mosaic Hidráulic.” Barcelona: Colegio Oficial de Aparejadores y Arquitectos Técnicos de Barcelona.
- [8] R. Friedel, “Pamela H. Simpson. Barato, rápido y fácil: materiales arquitectónicos imitativos, 1870–1930. Knoxville: University of Tennessee Press, 1999. xii + 215 págs. ISBN 1-57233-037-6, \$ 39,00”, *Enterprise and Society*, vol.1, no.2, pp.473 - 474, Jun., 2015. doi:10.1017/S146722270000077X
- [9] A.Menichetti, “Diseño de Máquina para la Producción de Productos de hormigón Pre-Elaborados. Análisis y Verificación de sus Componentes”, (Proyecto Integrador), Depto. de Ingeniería Mecánica., UNC., Argentina, 2015. pp.20-22. Disponible

- en:<https://rdu.unc.edu.ar/bitstream/handle/11086/2351/Proyecto%20Integrador%20IM%20-%20Maquina%20de%20Bloques%20de%20Hormig%c3%b3n.pdf?sequence=1&isAllowed=y>
- [10] Fractured block and method of making the same, por H. Besser, (1923, Abril 19). *Patente* 1,534,353.
- [11] Concrete-Block-Making Machine, por G.W. Kramer, (1915, Diciembre 21). *Patente* 1,164,726.
- [12] Brick Making Machine, por J.R.T. Clingan y P.J. Sheehan, (1934, Julio 24). *Patente* 1967,608.
- [13] Adobe Making Machine, por V.J. Huffaker y asignación de una parte a A.P. Branch, (1965, Diciembre 28). *Patente* 3,225,409.
- [14] Stripping Mechanism Block Molding Machines, por T.K. Zevely, (1951, Septiembre 4). *Patente* 2,566,787.
- [15] Concrete Block Molding Machines, por H. Sekiguchi, (1966, Octubre 11). *Patente* 3,277,551.
- [16] Block Molding Apparatus, por B.F. Foxen, (1972, Septiembre 26). *Patente* 3,694,128.
- [17] Automatic Block Making Machine, por Q. Booyesen, (2009, Febrero 5). *Patente* US 2009/0035409 A1.
- [18] Automatic Machine for Making concrete blocks, por L.M. Parkhurst, (1925, Diciembre 8). *Patente* 1,564,490.
- [19] Machine for Making Concrete Building Blocks and the Like, por H.W. Evans, (1926, Agosto 17). *Patente* 1,596,165.
- [20] J.A.C Pastran-Culma., P.L. Giraldo-Cocuy. y J.M. González-Morales, “Elaboración del molde en acero para fabricación de bloque de unión mecánica”, (Tesis que para obtener el grado de ingeniero civil), Universidad Cooperativa de Colombia, Facultad de Ingeniería, Villavicencio, Colombia, 2016, p.18.
- [21] Bloqueras.org (s.f). “Máquinas Bloqueras: como funcionan, distintos modelos y precios”. [En línea]. Disponible en:<https://bloqueras.org/>
- [22] M.P. Mosely y K. Kirsch, “Deep vibro techniques”, *Ground Improvement*, 2da. ed. Estados Unidos y Canadá: Spon Press, 2004. cap. 2, pp. 57-92
- [23] KELLER.(s.f). “Vibrocompactación”. [En línea]. Disponible en: <https://www.keller.com.es/experiencia/tecnicas/vibrocompactacion#:~:text=La%20Vibrocompactaci%C3%B3n%20es%20una%20t%C3%A9cnica,con%20un%20vibrador%20en%20profundidad>

- [24] Universidad Autónoma de Nuevo León. *Criterios Estructurales*. [En línea]. Disponible en: <http://arquitectura.uanl.mx/wp-content/uploads/2018/09/CRITERIOS-ESTRUCTURALES.pdf>
- [25] H. Schneider, (1938). *Das Rütteldruckverfahren und seine Anwendungen im Erd- und Betonbau. Beton und Eisen* 37. H. 1.
- [26] D.A. Greenwood, “Mechanical improvement of soils below ground surfaces”, *Proc., Ground Engineering Conf., Institution of Civil Engineers*, 1970. pp. 11-22
- [27] K. Kirsch, “Die Baugrundverbesserung mit Tiefenrüttlern”, *40 Jahre Spezialtiefbau: 1953-1993*, Desarrollos técnicos y legales, Dtisseldorf
- [28] menARD, *Vibrocompactación*. 2016. pp. 1-2. Disponible en: https://www.menard.es/wp-content/uploads/2016/12/Vibrocompactage_Madrid_ESP-HD.pdf
- [29] T.T. Nguyen, “Contribution à l’étude de la formulation et du procédé de fabrication d’éléments de construction en béton de chanvre”, (que para obtener el grado de doctor de la Universidad de Brittany), Dpto. de Ingeniería Civil, Universidad de Bretaña del Sur, Francia, 2010. pp. 70-84. Disponible en: <https://tel.archives-ouvertes.fr/tel-01017510>
- [30] Z. Xing, C. Djelal, Y. Vanhove y H. Kada, “Wood Waste in Concrete Blocks Made by Vibrocompression”, *Springer International Publishing*, vol. 1, no. 2, pp. 223–232, ago., 2015. DOI: 10.1007/s40710-015-0104-4
- [31] O.B. Quiceno-Instructor, “Manual para la Fabricación de Bloques y Adoquines”, FIC-SENA. 1990. Disponible en: https://repositorio.sena.edu.co/bitstream/handle/11404/5008/manual_fabricacion_bloques_adoquines.PDF?sequence=1&isAllowed=y
- [32] C.J. Renedo, I. Fernández-Diego, J. Cerdo-Haya, F. Ortiz-Fernández, “Hidráulica Industrial:Circuitos Hidráulicos”, *Sistemas y Máquinas Fluido Mecánicas*, Universidad de Cantabria. Dpto. de Ingeniería Eléctrica y Energética
- [33] Instituto Alemán de Normalización, *Piezas macizas de hormigón ligero*, DIN 18152
- [34] S. Frederick, “Manual del Ingeniero Civil”, 4ta.ed. México: McGraw-Hill, 1992
- [35] J. Paucar, “Diseño y Construcción de una Bloquera Semiautomática por Vibrocompresión”, Riobamba ESPOCH. 1984
- [36] J.A. Sullivan, *Fluid Power Theory and Application*. 3rd. edición. Carbondale, Illinois. Prentice-Hall, Inc. 1989. pp. 1-23
- [37] Historia del PLC (2017). [En línea]. Disponible en: <http://plcsantiago.blogspot.com/search/label/historia%20del%20plc>

-
- [38] Bartelt TLM. “Industrial Electronics Devices, Systems and Applications” *Delmar Publishers*. 1997. pp. 329–413.
- [39] National Electrical Manufacturers Association (NEMA). Definición de un PLC
- [40] A. Rullán, “Programmable logic controllers versus personal computers for process control”, *Comput Ind Eng*, vol. 33, no. 1-2, pp. 421-4, 1997
- [41] S.L. Herman, B.L. Sparkman, “Electricity and Controls for HVAC/R. 6th. ed. Delmar: Cengage Learning, 2010, pp. 531–60
- [42] E.R. Alphonsus, M.O. Abdullah, “A review on the applications of programmable logic controllers (PLCs)”, *Renewable and Sustainable Energy Reviews*, vol. 60, pp. 1185-1205, jul., 2016, DOI: <https://doi.org/10.1016/j.rser.2016.01.025>
- [43] J.A. Rehg, G.J. Sartori, *Programmable Logic Controllers*, 2nd ed. 2009. pp. 1-599
- [44] F.D. Petruzella, *Programmable Logic Controller*, 4th ed. McGraw-Hill. 2011. pp. 1–396
- [45] Seika, (2019, Agosto 3). “SEIKA Automation”. [En línea]. Disponible en: <https://www.seika.com.mx/5-lenguajes-de-programacion-para-plc/>