

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE  
BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC-CEB)**

**JULIÁN DARÍO BARRERA PINTO  
JUAN GUILLERMO NAVARRO ALSINA**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2014**

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE  
BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC-CEB)**

**JULIÁN DARÍO BARRERA PINTO  
JUAN GUILLERMO NAVARRO ALSINA**

**Trabajo de grado para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO**

**Director  
JABID EDUARDO QUIROGA  
Ingeniero Mecánico**

**UNIVERSIDAD INDUSTRIAL DE SANTANDER  
FACULTAD DE INGENIERÍAS FISICOMECAÑICAS  
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
BUCARAMANGA**

**2014**

## **DEDICATORIA**

A mi madre, por su esfuerzo, su apoyo, sus consejos y por ser el mayor ejemplo de vida que tengo para seguir adelante día a día.

A mi padre, por sus enseñanzas, su incondicionalidad, por ser el hombre de valores que busca hacer de este mundo uno mejor y por su amor infinito con el que crecí en familia.

A mi tío Eufredo Alsina Pacheco, por enseñarme el respeto, la constancia, la paciencia, el trabajo, la humildad y la nobleza que de mi abuela Clara Isabel Pacheco aprendió.

A mi hermano Andrés Alejandro Navarro Alsina, por compartir y alegrar cada instante de nuestras vidas.

A mi tío Iván Alsina Pacheco, por su amor e inagotable lucha por la familia.

***Juan Guillermo Navarro Alsina***

## **DEDICATORIA**

A mis padres por su enorme esfuerzo, amor y apoyo incondicional, por enseñarme lo que el trabajo arduo y la dedicación pueden hacer.

A mis hermanos por brindarme tantos buenos momentos.

A mi familia por creer siempre en mí.

A mi novia por ser tan comprensiva y acompañarme en los buenos y malos momentos.

***Julián Darío Barrera Pinto***

## **AGRADECIMIENTOS**

Al ingeniero Jabid Quiroga por su trabajo en pro de las alternativas verdes, por creer en los desarrollos alternativos, por sus innumerables concejos de vida.

Al señor Eliseo Estupiñan por compartir y enseñarnos su trabajo en suelo cemento y técnicas de tierra.

Al profesor Ricardo Jaimes por sus clases de Diseño Maquinas II en la que diseñamos y construimos una prensa manual base para el desarrollo de este trabajo de grado.

Al señor Álvaro García por sus valiosos concejos y permitirnos trabajar en su taller con dos excelentes operarios y dos grandes personas: Roberto Hernández y Hernán Hernández.

***Juan Guillermo Navarro***

***Julián Darío Barrera***

## CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN .....	26
1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	28
2. JUSTIFICACIÓN .....	32
3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO.....	33
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	33
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS .....	33
4. BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA: TÉCNICAS Y EQUIPOS .....	35
4.1 MATERIALES.....	35
4.1.1 Tierra.....	35
4.1.2 Estabilizante.....	36
4.1.2.1 Cemento portland .....	36
4.1.2.2 La cal.....	38
4.2 PROCESO DE ELABORACIÓN. ....	39
4.2.1 Excavación y transporte.....	39
4.2.2 Triturado y separación del material por granulometría.....	40
4.2.3 Mezclado de la tierra con el aglomerante .....	40
4.2.4 Prensado .....	41
4.2.5 Curado y secado.....	42
4.3 VENTAJAS DE LOS BTC .....	43
4.4 PRENSAS.....	45

4.4.1	Caracterización de las prensas .....	45
4.4.1.1	Presión.....	46
4.4.1.2	Tasa de compresión.....	47
4.4.1.3	Profundidad máxima del molde .....	47
4.4.1.4	Recorrido máximo de la bandeja .....	47
4.4.2	Prensas hidráulicas comerciales .....	47
4.4.2.1	Gracomaq. ....	47
4.4.2.2	Ecomaquinas.....	50
4.4.2.3	Open Source Ecology.....	52
5.	DISEÑO GENERAL DE LA MÁQUINA.....	55
6.	DISEÑO DE LA ESTRUCTURA.....	59
6.1	CÁMARA DE PRENSADO .....	59
6.2	CONJUNTO DE PRENSADO INFERIOR.....	62
6.3	BASE DE LA MÁQUINA .....	63
6.4	CONJUNTO DE PRENSADO SUPERIOR .....	64
6.5	BASE DEL CILINDRO DE PRENSADO .....	66
7.	DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.....	68
7.1	ACCIONES ASOCIADAS AL CIRCUITO HIDRÁULICO .....	68
7.1.1	Llenado de cargador con la masa de arcilla y aglomerantes. ....	68
7.1.2	Vaciado de la masa de arcilla y aglomerantes y descargue de bloques. ....	68
7.1.3	Retracción del cargador.....	69
7.1.4	Prensado y desmoldado .....	69
7.2	DEFINICIÓN DE LA CAPACIDAD Y PARAMETRIZACIÓN DEL SISTEMA..	69
7.3	DIMENSIONAMIENTO DEL CILINDRO DE DOBLE EFECTO PRINCIPAL...71	
7.3.1	Comprobación del diámetro del vástago al pandeo .....	71

<b>7.4 DIMENSIONAMIENTO DE CILINDRO DE DOBLE EFECTO SECUNDARIO.</b>	<b>74</b>
7.4.1 Comprobación del diámetro del vástago	74
<b>7.5 REQUERIMIENTOS DE CAUDAL CILINDRO PRINCIPAL</b>	<b>75</b>
7.5.1 Prensado en dos etapas	76
7.5.2 Desmoldado	76
<b>7.6 REQUERIMIENTOS DE CAUDAL CILINDRO SECUNDARIO</b>	<b>77</b>
7.6.1 Vaciado de la masa de arcilla-aglomerantes y descargue de bloques	77
7.6.2 Retracción del cargador	78
<b>7.7 REQUERIMIENTOS GENERALES DE CAUDAL</b>	<b>78</b>
<b>7.8 SELECCIÓN DE LA BOMBA</b>	<b>79</b>
7.8.1 Caudal requerido	80
<b>7.9 CALCULO DE POTENCIA DEL MOTOR:</b>	<b>81</b>
<b>7.10 ELEMENTOS REQUERIDOS PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO</b>	<b>82</b>
<b>7.11 NORMALIZACIÓN DE MANGUERAS Y ACCESORIOS</b>	<b>84</b>
<b>7.12 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS</b>	<b>85</b>
7.12.1 Venteo	85
7.12.2 Descenso rápido	87
7.12.3 Compactación a alta presión	89
7.12.4 Desmoldado	91
7.12.5 Vaciado de la masa de arcilla y aglomerantes y descargue de bloques	93
7.12.6 Retracción del cargador	95
<b>7.13 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE</b>	<b>99</b>
<b>8. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL</b>	<b>102</b>
<b>8.1 FUNCIONES</b>	<b>102</b>
8.1.1 Energización del tablero de control	102
8.1.2 Arrancar el motor	102

8.1.3	Selección de modo .....	103
8.1.3.1	Manua.....	104
8.1.3.2	Automático .....	105
8.1.4	Parada de emergencia.....	105
8.2	ELEMENTOS REQUERIDOS PARA EL SISTEMA DE CONTROL .....	106
8.3	PROGRAMACIÓN DEL PLC. ....	106
9.	CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA MÁQUINA .....	108
9.1	CÁMARA DE PRENSADO.....	108
9.2	BASE DE LA MÁQUINA .....	110
9.3	BANCADA DE PRENSADO INFERIOR.....	112
9.3.1	Portamatrices inferior.....	112
9.3.2	Acople matriz inferior .....	112
9.3.3	Matriz inferior. ....	112
9.4	BANCADA DE PRENSADO SUPERIOR .....	113
9.4.1	Portamatrices superior.....	113
9.4.2	Matriz superior .....	114
9.5	BASE CILINDRO DE PRENSADO .....	115
9.6	ALINEACIÓN DE ELEMENTOS MÓVILES .....	116
9.7	TOLVA.....	117
9.8	CARGADOR.....	118
9.9	UNIDAD DE POTENCIA.....	118
9.9.2	Estructura.....	119
10.	PRUEBAS Y RESULTADOS .....	121
10.1	PRUEBAS DE CAPACIDAD .....	121
10.2	ENSAYO DE COMPRESIÓN .....	122
10.3	ENSAYO DE FLEXIÓN .....	123
10.4	ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA .....	124

**11. CONCLUSIONES .....126**

**12. RECOMENDACIONES.....127**

**BIBLIOGRAFÍA .....128**

**ANEXOS.....130**

## LISTA DE FIGURAS

	pág.
<b>Figura 1.</b> Ladrillo obtenido mediante la técnica de tierra comprimida .....	29
<b>Figura 2.</b> BTC con diferente fuerza de compresión .....	30
<b>Figura 3.</b> Falla en el acabado del BTC.....	30
<b>Figura 4.</b> Falla en el ladrillo por desbalance del mecanismo.....	31
<b>Figura 5.</b> Excavación y transporte.....	39
<b>Figura 6.</b> Máquinas para trituración y separación .....	40
<b>Figura 7.</b> Mezcladora .....	41
<b>Figura 8.</b> Proceso de prensado en una CINVA-RAM .....	42
<b>Figura 9.</b> BTC salido de la prensa.....	42
<b>Figura 10.</b> Proceso de curado.....	43
<b>Figura 11.</b> Prensa hidráulica de accionamiento manual alternativa 1. ....	48
<b>Figura 12.</b> Cargue alternativa 1 .....	49
<b>Figura 13.</b> Prensado alternativa 1 .....	49
<b>Figura 14.</b> Descargue alternativa 1 .....	50
<b>Figura 15.</b> Alternativa 2. ....	50
<b>Figura 16.</b> Cargue alternativa 2.....	51
<b>Figura 17.</b> Prensado alternativa 2. ....	51
<b>Figura 18.</b> Descargue alternativa 2. ....	52
<b>Figura 19.</b> Alternativa 3 .....	53

<b>Figura 20.</b> Cargue alternativa 3.....	53
<b>Figura 21.</b> Prensado alternativa 3. ....	54
<b>Figura 22.</b> Descargue alternativa 3. ....	54
<b>Figura 23.</b> Máquina modelada en Solidworks .....	55
<b>Figura 24.</b> Esquema de prensado. ....	56
<b>Figura 25.</b> Sistema de cargado .....	57
<b>Figura 26.</b> Factor de seguridad de la cámara de prensado,.....	60
<b>Figura 27.</b> Deformación obtenida en la cámara de prensado. ....	61
<b>Figura 28.</b> Factor de seguridad de la cámara de prensado producto del cargado	62
<b>Figura 29.</b> Factor de seguridad del conjunto de prensado inferior. ....	63
<b>Figura 30.</b> Deformación del conjunto de prensado inferior.....	63
<b>Figura 31.</b> Factor de seguridad de la base de la máquina .....	64
<b>Figura 32.</b> Deformación obtenida en la base de la máquina .....	64
<b>Figura 33.</b> Factor de seguridad del conjunto de prensado superior .....	65
<b>Figura 34.</b> Deformación obtenida en el conjunto de prensado superior .....	65
<b>Figura 35.</b> Factor de seguridad del conjunto de prensado superior producto del ascenso de los bloques .....	66
<b>Figura 36.</b> Factor de seguridad de la base del cilindro de prensado.....	67
<b>Figura 37.</b> Deformación de la base del cilindro principal.....	67
<b>Figura 38.</b> Llenado del cargador .....	68
<b>Figura 39.</b> Vaciado de la mezcla y descargue de bloques .....	68
<b>Figura 40.</b> Retracción del cargador. ....	69
<b>Figura 41.</b> Prensado y desmoldado. ....	69
<b>Figura 42.</b> Tamaños de cilindros normalizados. ....	74

<b>Figura 43.</b> Descenso y desmoldado.....	77
<b>Figura 44.</b> Vaciado de la masa de arcilla.....	78
<b>Figura 45.</b> Retracción del cargador.....	78
<b>Figura 46.</b> Sistema de bomba doble.....	79
<b>Figura 47.</b> Caudales etapa de venteo.....	86
<b>Figura 48.</b> DCL del cilindro etapa descenso rápido.....	87
<b>Figura 49.</b> Caudales etapa de descenso rápido.....	87
<b>Figura 50.</b> DCL del cilindro etapa de compactación a alta presión.....	89
<b>Figura 51.</b> Caudales etapa de compactación a alta presión.....	89
<b>Figura 52.</b> DCL cilindro etapa de desmoldado.....	91
<b>Figura 53.</b> Caudales etapa de desmoldado.....	91
<b>Figura 54.</b> Perdidas etapa de desmoldado.....	92
<b>Figura 55.</b> DCL cilindro secundario etapa de vaciado de la masa de arcilla.....	93
<b>Figura 56.</b> Caudales etapa de vaciado de la masa de arcilla.....	93
<b>Figura 57.</b> DCL cilindro secundario etapa de retracción del cargador.....	95
<b>Figura 58.</b> Caudales etapa de retracción del cargador.....	96
<b>Figura 59.</b> Flujos máxicos del tanque.....	100
<b>Figura 60.</b> Dimensiones del tanque.....	101
<b>Figura 61.</b> Esquema de conexión para el arranque estrella-triángulo.....	103
<b>Figura 62.</b> Construcción de la cámara de prensado.....	109
<b>Figura 63.</b> Cámara de prensado terminada.....	110
<b>Figura 64.</b> Base de la máquina.....	111
<b>Figura 65.</b> Acople matriz inferior.....	112

<b>Figura 66.</b> Matriz inferior. ....	113
<b>Figura 67.</b> Portamatrices superior. ....	114
<b>Figura 68.</b> Matriz superior. ....	115
<b>Figura 69.</b> Base del cilindro de prensado.....	116
<b>Figura 70.</b> Preensamblaje de la máquina para la alineación de los elementos móviles.....	117
<i><b>Figura 71.</b> Base del cilindro de prensado.....</i>	117
<b>Figura 72.</b> Construcción de la tolva.....	118
<b>Figura 73.</b> Construcción del tanque .....	119
<b>Figura 74.</b> Estructura de la unidad de potencia.....	120
<b>Figura 75.</b> Ensayo de compresión.....	123
<b>Figura 76.</b> Ensayo de flexión.....	124

## LISTA DE TABLAS

	pág.
<b>Tabla 1.</b> Clasificación de las prensas .....	45
<b>Tabla 2.</b> Duración de las operaciones. ....	70
<b>Tabla 3.</b> Duración de las etapas de prensado .....	70
<b>Tabla 4.</b> Distancias recorridas por operación.....	70
<b>Tabla 5.</b> Longitud equivalente para columnas .....	72
<b>Tabla 6.</b> Requerimientos generales de caudal.....	79
<b>Tabla 7.</b> Duración de las operaciones según el caudal nominal de la bomba. ....	81
<b>Tabla 8.</b> Elementos requeridos para el sistema hidráulico. ....	82
<b>Tabla 9.</b> Esquema del sistema hidráulico. ....	83
<b>Tabla 10.</b> Velocidades críticas en tuberías. ....	84
<b>Tabla 11.</b> Caudales en las etapas del sistema.....	84
<b>Tabla 12.</b> Diámetros normalizados. ....	84
<b>Tabla 13.</b> Perdidas etapa de venteo. ....	85
<b>Tabla 14.</b> Perdidas etapa de descenso rápido.....	88
<b>Tabla 15.</b> Perdidas etapa de compactación a alta presión. ....	90
<b>Tabla 16.</b> Perdidas etapa de vaciado de la masa de arcilla.....	94
<b>Tabla 17.</b> Perdidas etapa de retracción del cargador. ....	96
<b>Tabla 18.</b> Trabajo útil y calor generado por etapa.....	98
<b>Tabla 19.</b> Calor cedido al aceite por etapa. ....	99

<b>Tabla 20.</b> Nomenclatura empleada para la estructuración del programa. ....	104
<b>Tabla 21.</b> Condiciones necesarias para energizar los solenoides. ....	104
<b>Tabla 22.</b> Elementos requeridos para el sistema de control. ....	106
<b>Tabla 23.</b> Resultados de la prueba de capacidad. ....	121
<b>Tabla 24.</b> Resultados ensayo a la compresión. ....	122
<b>Tabla 25.</b> Resultados ensayo de flexión ....	124
<b>Tabla 26.</b> Resultados ensayo de absorción de agua. ....	125

## LISTA DE ANEXOS

	<b>pág.</b>
<b>ANEXO A. MANUAL DE MONTAJE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO .....</b>	<b>130</b>
<b>ANEXO B. PLANOS DE LA MÁQUINA.....</b>	<b>147</b>
<b>ANEXO C. PLANO GENERAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL .</b>	<b>162</b>
<b>ANEXO D. GRAFCET .....</b>	<b>164</b>
<b>ANEXO E. PROGRAMACIÓN DEL PLC .....</b>	<b>167</b>

## NOMENCLATURA

### NOTACIÓN

$f$  = Frecuencia de Producción de BTC

$C \left[ \frac{Btc}{dia} \right]$  = Capacidad de la máquina

$N_t \left[ \frac{horas}{turno} \right]$  = Tiempo de un turno

$T \left[ \frac{s}{Btc} \right]$  = Periodo

$N_{Bc}[Btc]$  = Número de Btc en un ciclo

$t_{ciclo}[s]$  = Tiempo del ciclo

$F_w[Ton]$  = Fuerza de Compactación

$\gamma \left[ \frac{Ton}{Btc} \right]$  = Fuerza de compactación por BTC

$N[Btc]$  = Número de BTC fabricados por Ciclo

$P[psi]$  = Presión de compactación

$F[Lbf]$  = Fuerza de trabajo

$A_p[in^2]$  = Area del pistón

$d_p[in]$  = Diametro del pistón

$A_a[in^2]$  = Area anular

$d_v[in]$  = Diametro del vástago

$V_p[m/s]$  = Velocidad de avance por el lado pisto

$V_a \left[ \frac{m}{s} \right]$  = Velocidad de avance por el lado vástago

$\dot{Q}_p[m^3/s]$  = Caudal por el lado piston

$\dot{Q}_a[m^3/s]$  = Caudal por el lado vastago

$\Delta y[m]$  = Carrera

$\Delta t_p[s]$  = Tiempo de prensado en una etapa

$\Delta t_{dr}[s]$  = Tiempo de desenso rápido

$\Delta t_{cap}[s]$  = Tiempo de compactacion a alta presion

$\Delta t_d[s]$  = Tiempo de desmoldado

$\Delta t_v[s]$  = Tiempo de vaciado de arcilla y aglomerantes y descargue de bloques

$\Delta t_v[s]$  = Tiempo de retracción del cargador

$T_o[N * m]$  = Torque Teórico

$T_R[N * m]$  = Torque Real

$Q_b[Gpm]$  = Caudal Real

$Q_{Nb}[Gpm]$  = Caudal Teórico

$\eta_{mb}$  = [Eficiencia Mecánica]

$\eta_{vb}$  = [Eficiencia Volumétrica]

$T_f$  [Temperatura del fluido]

$T_a$  [Temperatura ambiente]

## RESUMEN

### TÍTULO:

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA (BTC-CEB)\*.**

### AUTORES:

BARRERA PINTO, JULIÁN DARÍO; NAVARRO ALSINA, JUAN GUILLERMO\*\*

### PALABRAS CLAVE:

Máquina hidráulica, Bloques de tierra, CAD-CAE, Sistemas hidráulicos, PLC, Suelo Cemento.

### DESCRIPCIÓN

El desarrollo de éste proyecto de grado tiene como finalidad la construcción de una máquina hidráulica para la fabricación de bloques de tierra comprimida, que permita dar solución a los problemas encontrados en prensas manuales, tales como fallas en los acabados, fuerzas de compactación desiguales, baja productividad entre otros. El resultado del proyecto es una máquina de funcionamiento hidráulico que provee una fuerza de compactación de 30 toneladas, dos bloques por prensado, con una productividad de 300 bloques por hora, automatizada por un PLC que permite establecer dos modos de trabajo, además se dispone de la flexibilidad para cambiar la geometría del bloque (forma y dimensiones).

En el proceso de diseño se utilizó la herramienta CAD-CAE SolidWorks, que permite modelar y simular los diferentes elementos estructurales de la máquina, para los elementos hidráulicos fueron empleados modelamientos matemáticos de ingeniería que permiten hacer la selección del sistema hidráulico, así como la fabricación del reservorio. Los componentes eléctricos de maniobra y control fueron seleccionados a partir de los parámetros de funcionamiento del motor eléctrico y de las electroválvulas direccionales del sistema de potencia fluida así como los requerimientos de funcionamiento de la máquina.

La máquina fue construida en su mayoría en acero estructural ASTM-A36, y se emplearon procesos de fresado para las placas que forman la cámara de prensado, torneado para las piezas cilíndricas que requieren cierta precisión y soldadura con electrodos E7018 y E6013, la cual fue aplicada por personal capacitado y competente.

---

\* Trabajo de grado.

\*\*Facultad de ingenierías físico-mecánicas, Escuela de ingeniería mecánica, director: Ing. Jabid Quiroga.

## ABSTRACT

### TITLE:

**DESIGN AND CONSTRUCTION OF A MACHINE FOR PRODUCING COMPRESSED EARTH BLOCKS (CEB-BTC).\***

### AUTHORS:

BARRERA PINTO, JULIÁN DARÍO; NAVARRO ALSINA, JUAN GUILLERMO\*\*

### KEYWORDS:

Hydraulic press, Earth block, CAD-CAE, Hydraulic systems, PLC, Compaction force.

### DESCRIPTION

The development of this degree project aims to build a hydraulic machine for the production of compressed earth blocks, which allows to solve the problems found in manual presses, such as flaws in the finished, uneven compaction forces, low productivity among others. The result of the project is a hydraulically operated machine that provides a compaction force of 30 ton, two blocks by pressing, with a productivity of 300 blocks per hour, automated by a PLC that allows for two working modes also available flexibility to change the geometry of the block (shape and dimensions).

In the design process it was used the CAD-CAE tool SolidWorks to model and simulate the different structural elements of the machine, for the hydraulic mathematical and engineering modelling were used to allow the selection of the hydraulic system and the reservoir manufacture. Electrical switching and control components were selected from the operating parameters of the electric motor and the directional solenoid valves of the fluid power system as well as the performance requirements of the machine.

The machine was built mostly in structural steel ASTM-A36, and milling processes were used for the plates forming the press chamber, late operations for cylindrical parts that require some precision and welding processes using electrodes E7018 and E6013, which was applied by trained and competent personnel.

---

\*DegreeWork

\*\*Facultad de ingenierías físico-mecánicas, Escuela de ingeniería mecánica, director: Ing. Jabid Quiroga.

## INTRODUCCIÓN

El creciente avance del sector de la construcción en el país implica también un aumento en la demanda de los productos base del sector, así como una forma de producción más limpia y eficiente. En la década de los 50 se desarrolló en Colombia la técnica de tierra comprimida, y desde entonces se ha venido desarrollando en otros países que ahora son exponentes en la fabricación de bloques de tierra comprimida, los cuales son una alternativa que logra optimizar los recursos en comparación con los ladrillos cocidos, que abarcan la gran mayoría del sector. La problemática principal de la manufactura de bloques de tierra comprimida radica en la construcción de un sistema de producción en línea que disminuya los costos y tiempos de fabricación consumidos por el proceso, pues no hay disponibilidad en el país de una máquina que satisfaga la amplia demanda del producto.

Este proyecto de grado presenta una solución a los problemas mencionados, en cual se diseñó y fabricó una máquina hidráulica de 15 caballos de fuerza, para la fabricación de bloques de tierra comprimida, con una producción de 300 bloques por hora y que permite variar el tamaño y la geometría del bloque, además de la facilidad de un modo de trabajo en secuencia automática así como manual, que flexibilizan el proceso productivo.

El trabajo de grado se llevó a cabo siguiendo la metodología de la investigación, y esta descrito en 9 capítulos. En la primera sección se realiza un planteamiento del problema, estableciendo los objetivos propuestos. En la segunda sección se dan las generalidades de la técnica de tierra comprimida así como su proceso productivo y profundizando en las prensas comerciales disponibles en el mercado haciendo un análisis crítico de sus sistemas y modos de operación. Los capítulos 3, 4, 5 y 6 describen en general la máquina y su proceso de diseño, el cual se separó en diseño

de la estructura, diseño del sistema hidráulico y el diseño del sistema eléctrico y de control. En el séptimo capítulo se mencionan los procesos de construcción y de montaje de la máquina. En el capítulo 8 se exponen las pruebas y resultados realizados tanto a la máquina como a los bloques que se produjeron. Finalmente se presentan las conclusiones y observaciones.

## 1. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

Las diferentes técnicas constructivas masivas en Colombia no resuelven integralmente el déficit de vivienda rural y urbana, es decir construcciones sismo-resistentes, sanas, estéticas, confortables, ecológicas y económicas. Nacientes tecnologías han permitido el desarrollo de nuevos materiales y sistemas constructivos sustentables, como mamposterías a base del reciclaje de cartón, plásticos, cenizas, escombros, fibras, madera, resinas, etc. implementando además energías limpias, techos verdes, tratamiento de aguas o actividades agrícolas en zonas urbanas contribuyendo en alguna medida a la solución de la problemática.

Tradicionalmente en el país han existido diferentes sistemas de construcción a base de tierra, que se han caracterizado por su belleza natural, confort y durabilidad en ciudades coloniales u hoteles, como también por baja calidad, baja estética, poca durabilidad y más propensas a plagas y enfermedades en barrios periféricos y zonas rurales donde mayormente se construyen por factores económicos. El bajo nivel tecnológico e industrial ha centrado el uso de las técnicas de tierra a unos pocos sectores del comercio como el residencial campestre o el ecoturismo quienes han retomado antiguas técnicas coloniales e indígenas a base de tierra como el bareheque, la tapia pisada, los adobes y superadobe, campos cuyo interés ha sido mostrar a turistas extranjeros y nacionales parte de la tradición cultural e integrar las obras civiles con el paisaje.

Dentro del grupo de sistemas constructivos a base de tierra se encuentran las técnicas de compactación, por ejemplo, la tapia pisada y los CEB (Compressed Earth Block) o BTC (bloques de tierra comprimida), convirtiéndose estos últimos en una creciente alternativa a nivel mundial por sus múltiples beneficios:

- Bajos costos:
  - ❖ Ahorro hasta de un 40% en mampostería.
  - ❖ Ahorro en el mortero de pega.
  - ❖ Ahorro en pañetes, estucos y pintura.

- Sistema modular: permite fácil construcción y menores tiempos de obra.
- Confort: aislamiento térmico y acústico. Adaptación a climas cálidos y fríos.
- Sismo resistencia.
- Alta estética.
- Alta durabilidad.
- Bajo impacto ambiental.

**Figura 1.** Ladrillo obtenido mediante la técnica de tierra comprimida



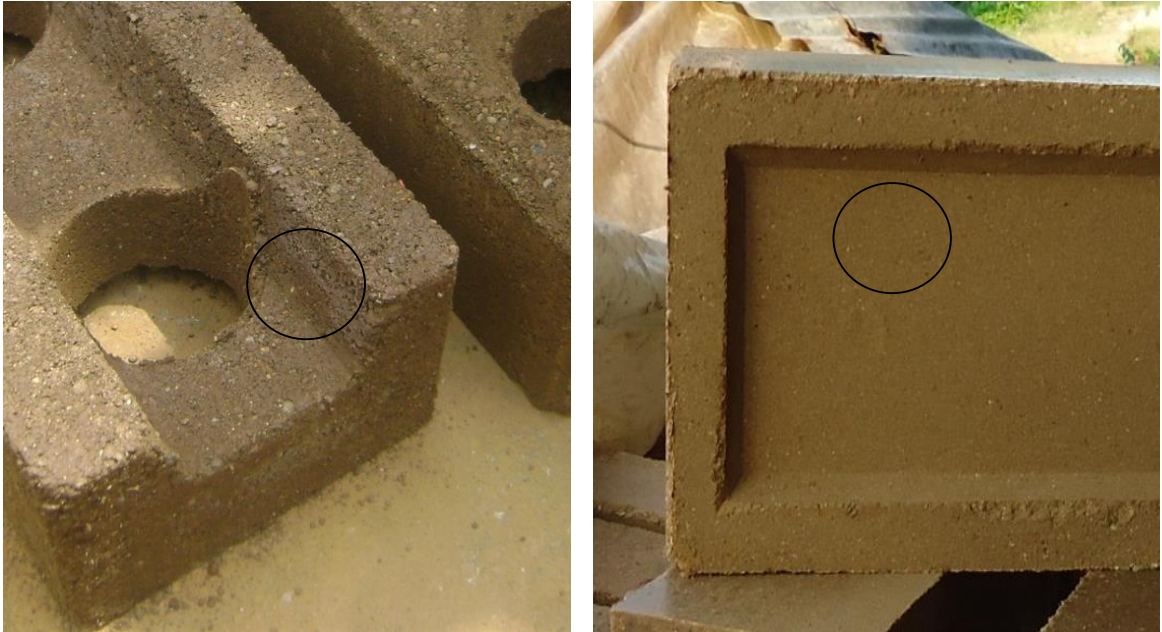
Fuente: [http://www.bomnegocio.com/goias/grande\\_goiania\\_e\\_anapolis/tijolos\\_ecologicos\\_clase\\_a\\_14736527.htm](http://www.bomnegocio.com/goias/grande_goiania_e_anapolis/tijolos_ecologicos_clase_a_14736527.htm)

Actualmente, muchas fábricas operan bajo una línea de producción manual, considerando a las prensas mecánicas una alternativa de baja inversión inicial, fácil de operar, fácil de transportar, buena calidad del BTC y fácil mantenimiento, pero con ciertas limitantes como:

- Baja productividad (500 BTC, en turno de 8 horas, dos operarios).
- Sobrecosto final del BTC (La mano de obra se convierte entre el 20-25% del costo total).
- Nivel de presión media (6-10 [ton], la presión aplicada durante de la fabricación está supeditada a la fuerza del operario).

- Calidad variable (Una presión de fabricación variable, se traduce en resistencia a la compresión dispersa).

**Figura 2.** BTC con diferente fuerza de compresión



- Estética media (Las toleración de fabricación de la piezas deben permitir un deslizamiento fácil, en el juego entre las parte móviles se acumula material que adhiere partes del ladrillo, disminuyendo su finura en los acabados).

**Figura 3.** Falla en el acabado del BTC.



- Estabilidad dimensional media (El cargue del material para el prensado, no se distribuye uniformemente creando punto más densos que otros al interior de la matriz que desbalancean el mecanismo de barras moldeándose un ladrillos en forma de cuña).

**Figura 4.** Falla en el ladrillo por desbalance del mecanismo.



- Mayor cantidad de aglomerante para la estabilización (Con el nivel de presión que es posible alcanzar con la prensa de tipo mecánico, se requiere de mayor cantidad de aglomerante para conseguir resistencias a la compresión superiores o iguales a los sistemas de mampostería tradicional).

## 2. JUSTIFICACIÓN

Es necesario implementar un mecanismo para la producción en serie de BTC que incremente el número de unidades de alta calidad fabricadas por operario, con procesos más homogéneos y eficientes, para aumentar el nivel de vida de la población bajando costos, tiempos de obra y emisiones de gases de efecto invernadero.

La carencia de máquinas y fábricas productoras de BTC en Colombia y su fuerte crecimiento en otros países como Brasil, India, Perú, Venezuela y Argentina da una oportunidad para incursionar en el sector productor de maquinaria y constructor de vivienda.

Aprovechando los recursos tecnológicos y su constante avance, se hace posible la construcción de una máquina que permita satisfacer dichas necesidades, partiendo de que Colombia es altamente potencial por sus recursos (65% de la tierra es apta para la fabricación de BTC) y capital humano, en la ejecución de proyectos y desarrollos de ingeniería.

### **3. OBJETIVOS DEL TRABAJO DE GRADO**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Contribuir a la misión de la Universidad Industrial de Santander dando solución a diferentes necesidades de la sociedad y desarrollando proyectos que integren áreas de conocimiento de Ingeniería Mecánica, mediante el diseño y construcción de una máquina para la fabricación de BTC - CEB (Bloques de tierra comprimida – Earth Block Compressed) que proporcione una solución integral a los sectores pequeños y medios de la construcción en Colombia.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Realizar el modelado del prototipo de máquina para la fabricación de BTC-CEB mediante técnicas de diseño asistido por computador (SolidWorks y ANSYS).
- Diseñar y construir un prototipo de máquina para la fabricación de BTC-CEB, de acuerdo a los siguientes requerimientos técnicos (ver figura 5):
  - ❖ Potencia total máxima: 20 [hp]
  - ❖ Cantidad mínima de BTC fabricados: 300 [BTC/hora]
  - ❖ Flexibilidad para variar el espesor del BTC: de 50 [mm] a 150 [mm]
  - ❖ Fuerza mínima de compactación por BTC: 15 [Ton]
  - ❖ Número mínimo de BTC fabricados por prensado: 2 [Unidades/Carrera]
  - ❖ Alimentación manual a través de una tolva.
- Automatizar el sistema mediante un controlador programable.

- Probar la calidad del BTC fabricado mediante ensayos de compresión, resistencia a la flexión y absorción de humedad. Corroborar las características de la máquina en cuanto a productividad (capacidad de 300 BTC/hora), prensado (fuerza de 15 toneladas) y flexibilidad en la producción (diferentes formas en los ladrillos).
- Diseñar un manual de operaciones, montaje, procedimientos y mantenimiento.

## 4. BLOQUES DE TIERRA COMPRIMIDA: TÉCNICAS Y EQUIPOS

La tierra es utilizada en la construcción de muros aplicando diversas técnicas, para la fabricación de adobes esta es moldeada en una formaleta con el agua suficiente que aumente la cohesión entre partículas y elimine porosidades, un tapial es formado mediante el apisonamiento de la tierra en cajones de madera, los BTC podrían considerarse como el avance tecnológico del tapial pues el material es compactado no con pisones sino en una prensa, posterior al secado podrán ser utilizados de la misma manera que los adobes, los ladrillos de arcilla cocida o los bloques de cemento. En relación a la tapia pisada este tipo de técnica presenta similares ventajas, entre ellas podemos mencionar la posibilidad de escalonar la producción en un largo periodo de tiempo, la disminución de fisuras en el muro ya que la contracción se efectúa durante el secado de cada bloque y una mayor flexibilidad durante el diseño arquitectónico y de construcción.

### 4.1 MATERIALES

**4.1.1 Tierra.** La tierra es el material base de la fabricación de BTC, sus características y las condiciones del área deben ser evaluadas antes de la fabricación de los bloques de tierra. En un clima seco, por ejemplo, se emplean bloques de tierra diferentes a aquellos usados en climas templados, lluviosos o zonas tropicales. No toda la tierra es apta para cualquier tipo de construcción. El material base, sin embargo, requerido para la manufactura de bloques de tierra es una tierra que contenga una mínima cantidad de limo y arcilla que faciliten la cohesión. Debe considerándose óptima si presenta las siguientes características granulométricas:

- Gravas en proporción del [15% -20%]
- Arenas en proporción del [40%-70%]
- Limos en proporción del [15%-30%]
- Arcilla en proporción del [20%-30%]

La manufactura de bloques de buena calidad, requiere el uso de tierra que contenga grava y arena fina para el cuerpo del bloque, junto con limo y arcilla para unir las partículas de arena. Un tipo apropiado de estabilizante debe agregarse para disminuir la expansión lineal que toma lugar cuando el agua es agregada a la muestra de tierra. El estabilizante tiene otros beneficios como se describirá en la sección posterior.

**4.1.2 Estabilizante.** Tener un material bueno o elaborarlo son los principios fundamentales en la fabricación de bloques de tierra comprimida, esto asegura la calidad del material aumentando sus propiedades físico-mecánicas. También es válido la incorporación de aditamentos para lograr el mismo fin.

Las sustancias más utilizadas en nuestro entorno son el cemento y la cal, empleados muchos años atrás, sobre todo la cal, que en muchos lugares del mundo hace parte de antiguas construcciones.

**4.1.2.1 Cemento portland.** El aporte de cemento, permite obtener un material con propiedades mejoradas y fuerte en la interacción con el agua, actuando significativamente en las características mecánicas sobre todo en arenas y gravillas. No ocurre igual para materiales arcillosos.

El cemento vuelve irreversible la ganancia de resistencia por el apisonamiento. Se puede concluir que el cemento crea uniones más resistentes en las partículas más gruesas de los suelos como las arenas, aun cuando éstas están en presencia de agua, conservando así las bondades de la compactación. Sin embargo una granulometría incorrecta y una mala compactación pueden hacer ineficaz la adición del cemento.

Los cementos ordinarios portland o similares son suficientes y usar cementos mucho más sofisticados, es decir, con altas resistencias, es contradictorio debido a que se pierden las ventajas de las construcciones en tierra como su bajo costo y una menor contaminación al interior y exterior de las obras, además estos cementos

no representan en comparación a los más económicos mejoras sustanciales en las propiedades físicas del material.

Los suelos requieren una determinada cantidad de estabilizante dependiendo de las estructuras internas que tengan así como del tamaño de sus partículas. Buenos resultados pueden ser obtenidos con porcentajes en peso de entre 6% y 9%, aunque en algunos suelos solo se requiere el 3% en general con este intervalo se logran excelentes resultados, También cabe mencionar que los resultados más óptimos se tienen en suelos de naturaleza arenosa.

**Efecto sobre el material estabilizado.** Las mejoras en las propiedades del material varían según la cantidad de cemento que se adicione. El aporte del 5 a 8% de cemento produce una mejora significativa en la resistencia a la compresión.

El material estabilizado tiene la característica de disminuir la importancia de la contracción en el secado y de la expansión con la humedad, al adicionar un 5% de cemento, la contracción lineal total es inferior al 1% dependiendo del suelo, lo que disminuye los riesgos por fisuración; mayores cantidades de cemento no generan una disminución adicional a la contracción; también los suelos estabilizados con cemento adquieren una especial resistencia a los cambios de humedad.

El cemento mejora la resistencia de los suelos a la erosión producida por diferentes fenómenos como la lluvia. Un elemento de material estabilizado o no, resiste más a la lluvia cuando este contiene granos gruesos, la granulometría es fundamental ante la acción de la lluvia sobre un bloque.

Es necesario para tener una excelente estabilización realizar un buen mezclado de los componentes; los elementos finos no deben estar aglomerados en terrones o nódulos, su tamaño debe ser menor a 20 mm. Se necesita un secado previo prestando una especial atención a la disociación de los elementos finos, el agua necesaria para la fabricación del bloque se dará al finalizar la etapa del mezclado.

Un curado de 14 días es indispensable y uno de 28 es conveniente, a pesar de la heterogeneidad en el comportamiento de los suelos, se almacenará en un sitio húmedo protegido del sol y del viento evitando un secado rápido en la superficie desembocando en grietas.

**4.1.2.2 La cal.** El proceso de estabilización con cal consiste en adicionar cal viva o hidratada al suelo, la cal actúa sobre las partículas de arcilla del suelo, modificando los enlaces internos de las partículas, adquiriendo estructuras de tipo flocular; mientras que los iones de calcio conforman puentes entre las partículas o fuerzas de tracción y la interacción arcilla-cal forma elementos cristalinos que ayudan en la cementación de los granos del suelo, se requiere un periodo de almacenamiento ya que este fenómeno se aprecia días más tarde.

La cal se produce en la cocción de piedra caliza pura, estas conforman las principales cales usadas en la estabilización. Existen en el entorno dos tipos de cales:

- La cal viva ( $\text{CaO}$ ) producida en la cocción de piedra caliza, su uso está limitado por las condiciones de almacenamiento y de manipulación; este material es abrasivo y debe ser manipulado con precaución y resguardado para evitar la humedad hasta su uso, la cal viva en contacto con el agua se calienta hasta temperaturas de  $150^\circ\text{C}$ , presenta algunas ventajas como la absorción de agua para su hidratación en suelos húmedos, aporta mayor cantidad de iones calcio para la unión de las partículas.
- La cal apagada ( $\text{CaOH}$ )<sub>2</sub> se obtiene directamente de la hidratación de la cal viva, es usada en la estabilización y no presenta los inconvenientes de manipulación de la cal viva.

**Efectos sobre el material estabilizado.** Algunos porcentajes de cal adicionados en un suelo desembocan en un cambio de la estructura interna de estos modificando sus propiedades mecánicas, este se torna menos plástico y la resistencia a la compresión en suelos ricos en caolinita aumenta a mediano y largo plazo, los suelos

estabilizados en cal y con pequeña proporción de materia orgánica pueden ser similares en resistencia a los estabilizados en cemento.

El mezclado de la cal con el suelo debe hacerse con cuidado para obtener una mezcla homogénea, cuando se trate de suelos muy plásticos la mezcla debe hacerse en un tiempo de dos o cuatro días con el fin de dejar la cal para ablandar lo terrones de suelo, la cal provoca un crecimiento durante el moldeado que causan una caída en la resistencia. En bajos contenidos de cal como el 2%, la compactación es inmediata, contraria a los suelos con alto contenido de cal caso en el cual se deberá agregar de 2 a 6 horas previas a la compactación.

La resistencia a la compresión en el tiempo se ve favorecida debido al surgimiento de minerales producto de la reacción entre la cal y las arcillas, este fenómeno se prolonga durante varias semanas.

#### **4.2 PROCESO DE ELABORACIÓN.**

Una vez caracterizada la tierra y los aglomerantes a usar, se inicia la debida fabricación que consta de los siguientes procesos:

**4.2.1 Excavación y transporte.** Si la tierra cumple con las cualidades se procede con el proceso de excavación. Los escombros y el material retirado en el proceso de cimentación de las edificaciones tienen alto potencial para utilización y fabricación de BTC en obra.

**Figura 5.** Excavación y transporte



**4.2.2 Triturado y separación del material por granulometría.** Para lograr la mezcla uniforme de los minerales, agua y el estabilizante, los terrones de más de 200 mm de diámetro deben romperse luego de la excavación. Los granos con una estructura homogénea, como grava o piedras, deben quedar intactas, y aquellas que tengan una estructura compuesta deben separarse, de tal manera que al menos el 50% de los granos tengan menos de 50 mm de diámetro. En la siguiente imagen se aprecian las máquinas para llevar a cabo dicho proceso.

**Figura 6.** Máquinas para trituración y separación



Fuente: <http://ecomaquinas.com.br/tijolo-ecologico-como-produzir>

**4.2.3 Mezclado de la tierra con el aglomerante.** Los materiales secos (tierra y estabilizante) deben ser mezclados primero hasta que se adquiere un color homogéneo, para luego agregar agua y continuar mezclando hasta que se obtiene una mezcla homogénea. El mezclado puede ser realizado sobre una superficie dura, con picas, azadones o palas. Si el estabilizante agregado es cal, es aconsejable que la mezcla permanezca un tiempo antes del prensado, para permitir que las partículas de tierra se humedezcan. Si se emplea cemento como estabilizante, se debe usar un mezclador tan pronto como sea posible. Las máquinas empleadas

para realizar la mezcla son provistas de palas o aspas para mover la mezcla separadamente del contenedor, de no ser así la mezcla húmeda tenderá a pegarse en las paredes. En la **Figura 7** se ilustra una mezcladora empleada para la elaboración de BTC.

**Figura 7.** Mezcladora



Fuente: <http://ecomaquinas.com.br/tijolo-ecologico-como-produzir>

**4.2.4 Prensado.** La compresión de la tierra es la operación principal del proceso productivo de BTC, sin embargo, la calidad final del bloque dependerá en gran medida del resto de las fases, tanto las anteriores (elección de la tierra, componentes, preparación y mezcla) como las posteriores a su paso por la prensa (curado, secado, stockaje y transporte). Las características principales de las prensas se exponen más adelante.

**Figura 8.** Proceso de prensado en una CINVA-RAM



**Figura 9.** BTC salido de la prensa.



#### **4.2.5 Curado y secado.**

El BTC se puede fisurar al trabajar con él si no se da un proceso de curado de 15 a 20 días. Este proceso se lleva a cabo en estivas.

**Figura 10.** Proceso de curado.



Fuente: <http://www.gracomaq.net>

#### **4.3 VENTAJAS DE LOS BTC**

La técnica de los bloques de tierra comprimida presenta numerosas ventajas sobre los bloques cocidos tradicionales, desde el punto de vista económico, de construcción, ambiental y térmico por nombrar solo algunos, por lo que se convierte en eficaz alternativa ante las necesidades actuales de los consumidores. Algunas de las ventajas más evidentes se muestran a continuación.

- Es una tecnología de construcción amigable con el ecosistema. Su proceso de fabricación es a través de prensado mecánico, a diferencia de los ladrillos tradicionales que se elaboran mediante cocción en hornos, los cuales consumen combustibles fósiles y generan emisión de gases como el CO<sub>2</sub>, que contaminan el ambiente. En el proceso de fabricación de los BTC, tampoco se realizan vertimientos de residuos o sedimentos a los afluentes, lo que si sucede en el proceso de fabricación de los ladrillos cocidos tradicionales.
- Las construcciones elaboradas con BTC son superiores a las hechas a base de concreto y madera, en términos de beneficios para la salud, accesibilidad, durabilidad y eficiencia energética. Para la fabricación de los BTC se utiliza en

promedio entre 5% y 10% de cemento, lo que reduce costos y ayuda a la preservación de los recursos naturales.

- La tierra, materia prima para la elaboración de los BTC, es abundante y de fácil consecución. En la mayoría de los casos, la tierra se obtiene de la misma explanación o banqueo que se realiza en el sitio en el cual se va a construir, disminuyendo los costos por disposición final de esta tierra.
- La salud, comodidad y durabilidad que ofrecen las edificaciones hechas en BTC son superiores a cualquier otro tipo de construcción.
- Debido a su masa térmica, viviendas o espacios fabricados en BTC proporcionan un sistema natural de calentamiento y enfriamiento, incrementando el confort para los habitantes.
- Este sistema constructivo puede aplicarse tanto para grandes como para pequeñas construcciones.
- Debido al acabado estético de los BTC, no se hace necesario el uso de revoques o estucos, disminuyendo costos por concepto de acabados.

Los sistemas arquitectónicos que usan este material además de incorporar estética mejoran las condiciones interiores de confort. La inercia térmica de este material o la capacidad de almacenar energía dentro de su estructura para restituirla más tarde, lo hace propicio para ser utilizado con éxito en diferentes condiciones climáticas. En las tierras frías un muro de 30 centímetros de espesor con un peso de 400 Kg/m<sup>2</sup>, tiene la capacidad de producir un desfase térmico de 10 horas. Algunas horas después de que se oculta el sol, los muros empiezan a restituir el calor que se ha ganado durante el día. Este proceso dura 10 horas y garantizan agradables temperaturas al interior del proyecto. Por otra parte, su bajo coeficiente de transmisión térmica,  $K= 1.13W/(K.m)$ , lo hacen de cierta manera térmicamente aislante y evita que el calor acumulado al interior se pierda fácilmente a través de los muros.

- Eficiencia energética: en el proceso de fabricación de un ladrillo cocido se emplea una energía equivalente a la fabricación de 300 BTCs. Un metro cubico de tierra

curada emite 0.114 [Tn] de CO<sub>2</sub> frente a 2.5 [Tn] de CO<sub>2</sub> de un metro cubico de ladrillo cocido.

A pesar de todas las ventajas descritas el factor económico prima mayoritariamente sobre el ecológico, desarrollar tecnología que supla sus principales desventajas desde la alta capacidad de producción, alta calidad de fabricación y alta estética, permitirá a los pequeños y medianos fabricantes y constructores competir a nivel nacional con excelencia y bajos costos.

#### 4.4 PRENSAS

Actualmente existen en la industria de la cerámica numerosas prensas para la fabricación de los bloques, algunas pueden ser utilizadas para la tierra estabilizada, otras han sufrido transformaciones y finalmente otras han sido diseñadas para la fabricación de bloques en tierra, aún quedan algunas que potencialmente pueden ser adaptadas para este uso.

##### 4.4.1 Caracterización de las prensas

Las características principales de las prensas facilitan la clasificación que se muestra a continuación:

**Tabla 1.** Clasificación de las prensas

<b>Máquinas para la producción de BTC.</b>		
<b>Según su fuente de energía</b>	Manual	En este caso el apisonamiento lo hacen una o varias personas por medio de un sistema de palanca o pistón.
	Mecánico	El apisonamiento se lleva a cabo por medio de una palanca o pistón accionado por un motor a gasolina, diésel o eléctrico.
	Hidráulico	La energía del motor se transmite a la bandeja de compactación por un sistema hidráulico.

<b>Modos de compresión</b>	Presión estática	El apisonamiento se realiza por el acercamiento lento entre las dos superficies entre las cuales se encuentra la tierra que es retenida lateralmente.
	Presión dinámica	La compactación se obtiene por un apisonamiento de la tierra en un molde. La presión ejercida sobre el bloque no se controla fácilmente.
<b>Producción (jornal de 8 horas)</b>	Baja	Es el caso de prensas manuales cuyo rendimiento varía en función de la organización del campamento, en este caso la producción se encuentra entre 300 a 1200 bloques por día.
	Media	Las prensas hidráulicas móviles tienen una producción de 2000 a 2800 bloques por día, ellas controlan el ritmo de producción a través de una rotación automática de los moldes.
	Alta	Las prensas mecánicas tienen producciones elevadas pues ellas han sido diseñadas para moldear la tierra en estado plástico, en este estado la compactación es más rápida que cuando se trabaja con tierra seca.
	Muy alta	Las prensas hidráulicas sofisticadas derivadas de la producción industrial de ladrillos sílicocalcáreos trabajan a una alta producción, estas prensas requieren de infraestructura importante y de un personal altamente calificado.

Fuente: Influencia de las Propiedades Física del Material Tierra para la Elaboración de Bloques de Tierra Comprimidos.

Como características adicionales se puede nombrar:

**4.4.1.1 Presión.** Una buena parte de la presión en la prensa se pierde por las transmisiones, los rozamientos y la elasticidad del material. Las presiones de compactación de 7 a 10 Kg/cm<sup>2</sup> pueden ser suficientes pero son mínimas, las presiones de 20 a 40 Kg/ cm<sup>2</sup> son excelentes; presiones superiores a este intervalo son superfluas y generan un despilfarro de energía y pueden presentar en los bloques fisuras que reducen sustancialmente las propiedades mecánicas, la presión

del proceso de producción se obtiene de un promedio estadístico con un trabajador que labora durante 8 horas.

**4.4.1.2 Tasa de compresión.** La relación entre el volumen de una tierra esponjada y el de la tierra compactada es teóricamente 1.65. La tasa de compresión, representando la relación entre el volumen del molde vacío y el volumen del bloque producido, debe ser en todo caso superior a 1.65. Este es un valor mínimo y toda máquina con una relación inferior requerirá un apisonamiento previo manual de la tierra esponjada. Una tasa de dos es ideal, cabe anotar que la mayoría de prensas manuales o mecánicas tienen una relación inferior a 1.65 requiriéndose entonces una pre compactación, por ello es preferible las prensas con tapas abatibles que las giratorias ya que en ellas se realiza una compactación previa, mientras en las prensas con tapa giratoria limpia el exceso de tierra sin tasarla requiriendo una compactación previa.

**4.4.1.3 Profundidad máxima del molde.** Es la distancia máxima entre la tapa cerrada y la bandeja de compresión en reposo, esta disminución restada del recorrido de la bandeja da el espesor máximo del bloque a producir. Para la fabricación de baldosas o tejas, se puede introducir una pieza de madera para reducir la profundidad del molde a fin de obtener una tasa de compresión aceptable.

**4.4.1.4 Recorrido máximo de la bandeja.** En las prensas manuales y mecánicas este recorrido no puede ser regulado, el hecho de no descender la palanca hasta su tope crea la ilusión de regulado de recorrido de la bandeja. El esfuerzo de compresión máximo se produce al final del recorrido, los producidos de esta forma serán menos resistentes que los otros. En las prensas hidráulicas la altura de recorrido se puede regular fácilmente.

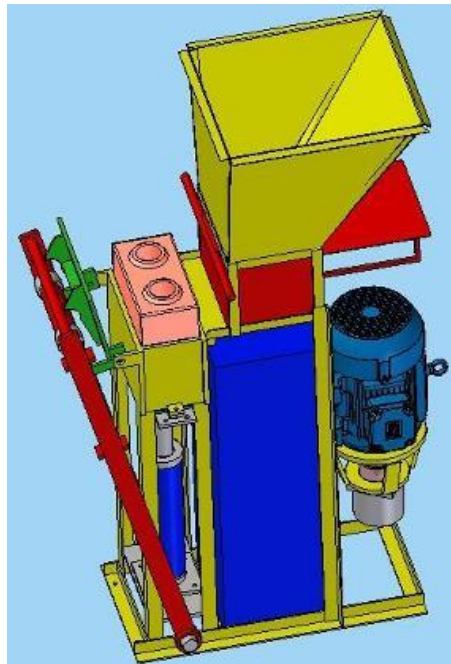
**4.4.2 Prensas hidráulicas comerciales.** A continuación se presenta tres tipos de prensas hidráulicas disponibles en el mercado, con su descripción.

#### **4.4.2.1 Gracomaq.**

Prensa hidráulica de accionamiento manual: Es una versión hidráulica de la prensa Cinva-Ram, compacta con equipo hidráulico, pero sus funciones como el llenado

del molde con el cargador y la apertura de la tapa son manuales. El control del equipo hidráulico se hace mediante un mando manual sobre la válvula, la cual controla un solo actuador hidráulico. La máquina se fabrica con motor eléctrico monofásico o trifásico y con motor Diésel o a gasolina, para plantas móviles. (Gracomaq, 2013)

**Figura 11.** Prensa hidráulica de accionamiento manual alternativa 1.



Fuente: Gracomaq.

- Cargue: El material estabilizado es depositado en la tolva, posteriormente el dosificador es movido hacia adelante, llenando la cámara de prensado.

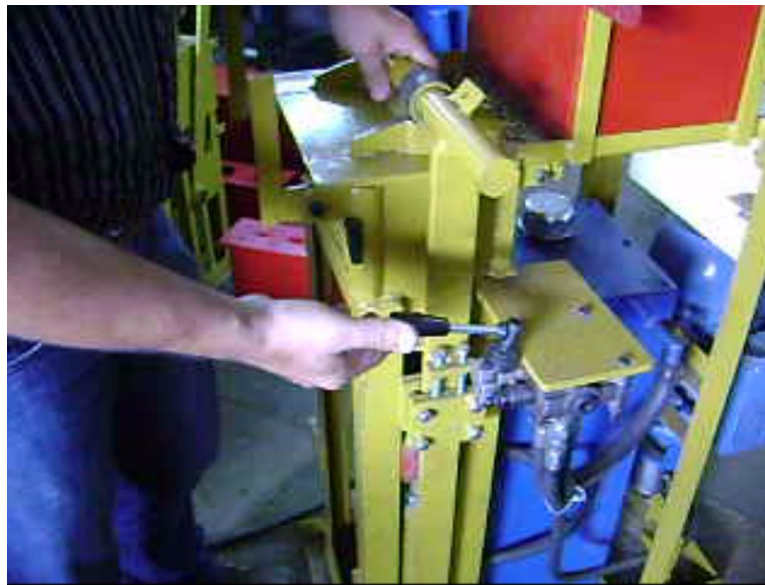
**Figura 12. Cargue alternativa 1**



Fuente: Gracomaq.

- Prensado: Se cierra y asegura la tapa de la cámara de prensado, se acciona el cilindro hidráulico hasta alcanzar la presión de compactación.

**Figura 13. Prensado alternativa 1**



Fuente: Gracomaq.

- Descargue: Se levanta la tapa, y el ladrillo es eyectado por el cilindro hidráulico, cuando este termina su carrera. El operario finalmente retira el producto terminado.

**Figura 14.** Descargue alternativa 1



Fuente: Gracomaq.

**4.4.2.2 Ecomaquinas.** Prensa de lados rectos hidráulica semiautomática: Permite mayor rapidez en la caja cargadora, movida por un pistón hidráulico dando precisión en el ciclo de cargamento del compuesto para ser prensado en la Caja Molde. Desliza sobre las guías inferiores de acero tratado y superior en nylon siendo este material auto lubricante y con bajo coeficiente de fricción posibilitando movimientos mecánicos livianos y silenciosos, aumentando la vida útil. (Ecomaquinas, 2013)

**Figura 15.** Alternativa 2.



Fuente: Ecomaquinas.

- Cargue hidráulico: posibilita que con un simple movimiento en la palanca de una válvula direccional sea hecho el cargamento del compuesto en la cámara de prensado, añadiendo rapidez a la producción. Además al hacerse el cargue del material, la matriz inferior que estaba situada en posición de descargue, es devuelta a la posición de cargado, mediante unas barras situadas en la caja dosificadora que mueven un par de trinquetes.

**Figura 16.** Cargue alternativa 2.



Fuente: Ecomaquinas.

- Prensado: Este se lleva a cabo por el portainsertos superior, el cual baja desde su posición superior, hasta ejercer la compactación.

**Figura 17.** Prensado alternativa 2.



Fuente: Ecomaquinas.

- Descargue: Una vez se ha finalizado la compactación, el portainsertos superior sube, junto con el par de trinquetes que están ahora en contacto con el portainsertos inferior, por lo tanto los dos portainsertos se mueven como uno solo. Posteriormente el operario retira el ladrillo de la máquina.

**Figura 18.** Descargue alternativa 2.



Fuente: Ecomaquinas.

**4.4.2.3 Open Source Ecology.** Prensa hidráulica, con cargue y descargue hidráulico, automatizada. Produce un ladrillo por prensado. Este tipo de prensa solo fabrica un ladrillo sin relieves, todas sus superficies son completamente planas, pues el mecanismo no permite introducir insertos para hacer diferentes modelos. La ventaja es el tiempo de producción, el cual se ve reducido considerablemente.

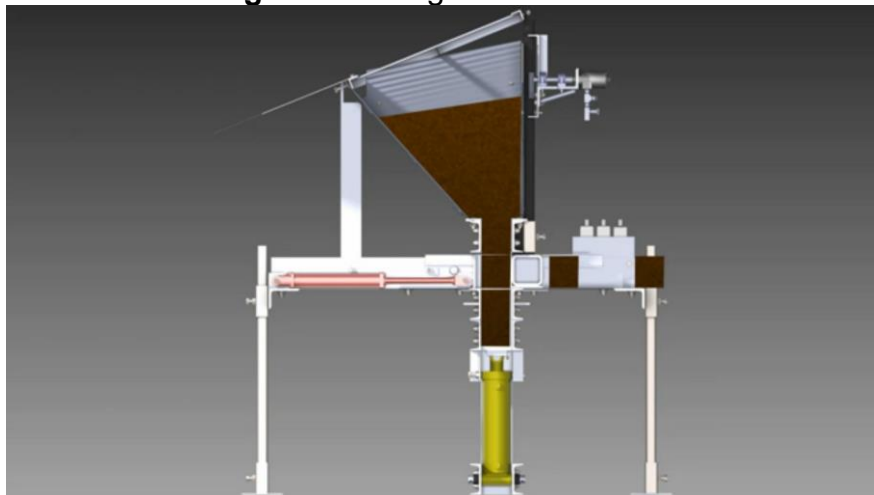
**Figura 19. Alternativa 3**



Fuente: Open Source Ecology.

- Cargado: La tolva está situada encima de la cámara de prensado y la caja dosificadora y la tolva se alinean, permitiendo un cargado rápido.

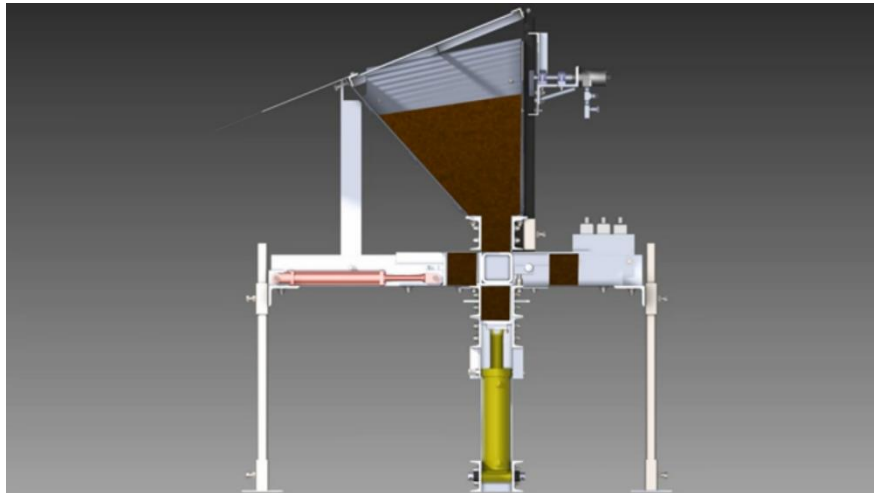
**Figura 20. Cargue alternativa 3.**



Fuente: Open Source Ecology.

- Prensado: la caja dosificadora se mueve hacia atrás, cerrando el paso del material y sellando la cámara de prensado. El pistón en la parte inferior inicia su fase ascendente, comprimiendo el material.

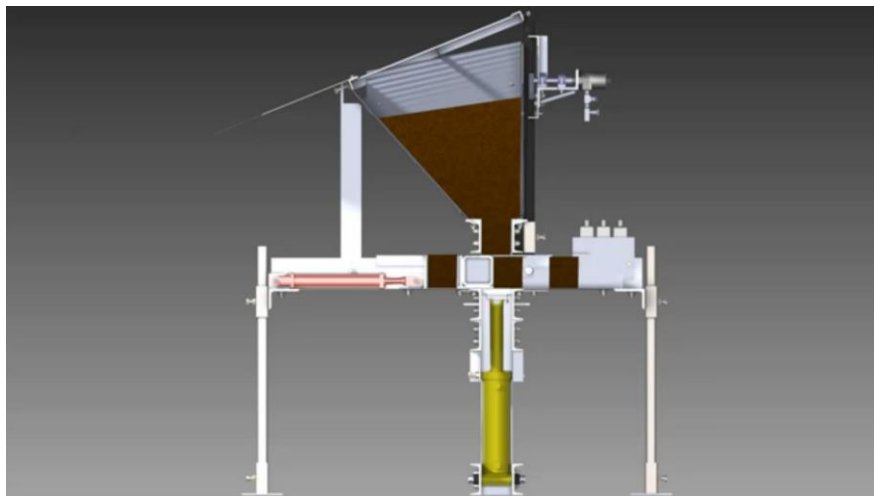
**Figura 21.** Prensado alternativa 3.



Fuente: Open Source Ecology.

- Descargue: Al terminar la compresión, la caja dosificadora se retrae aún más, permitiendo al ladrillo subir. Una vez está en el punto superior, la caja dosificadora inicia la fase de carga de la cámara de prensado y la evacuación del ladrillo al mismo tiempo.

**Figura 22.** Descargue alternativa 3.

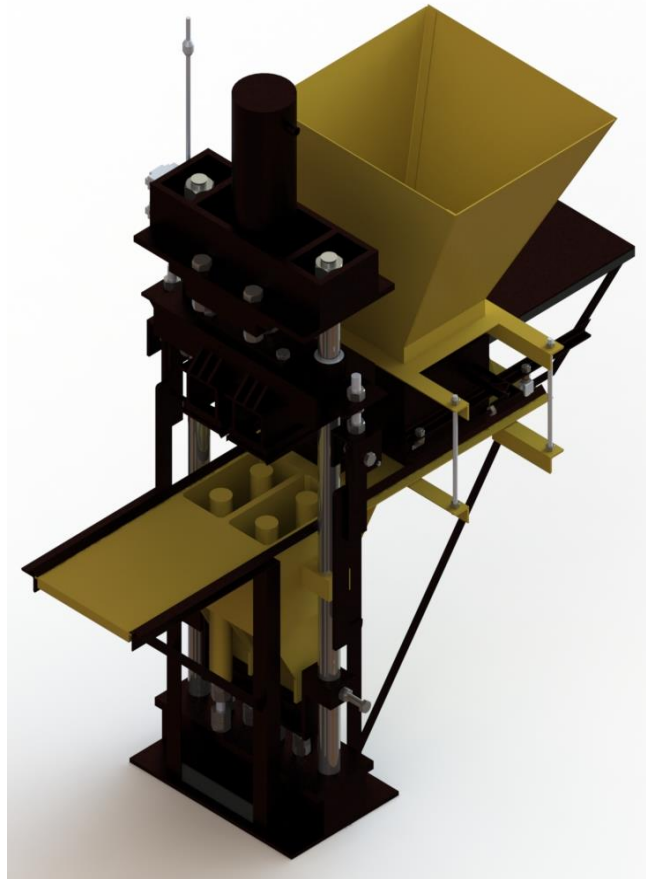


Fuente: Open Source Ecology

## 5. DISEÑO GENERAL DE LA MÁQUINA

La máquina consta de 6 subsistemas, que en conjunto realizan el cargado, prensado y descargue del BTC de la máquina.

**Figura 23.** Máquina modelada en SolidWorks

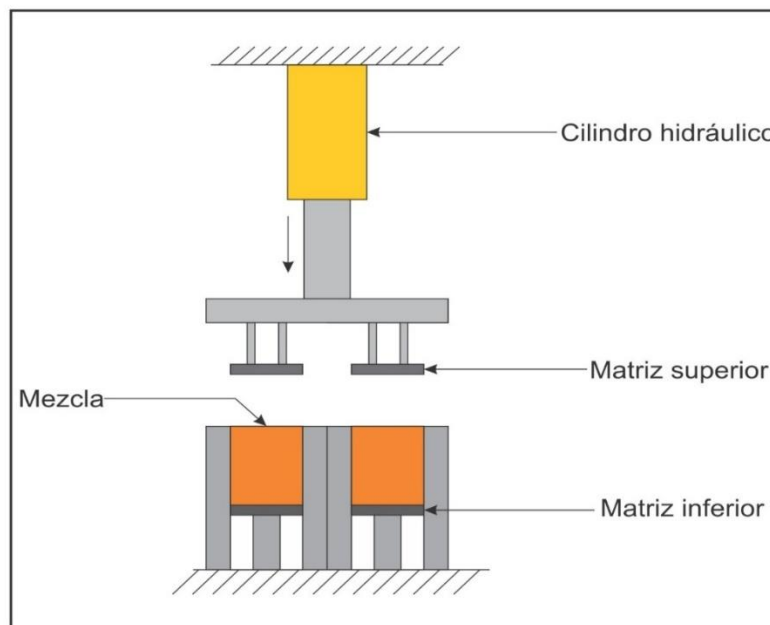


Dichos subsistemas son:

- **Subsistema estructural.** El armazón que dará soporte a la máquina es diseñado de tal forma que permita la flexibilidad de la producción, mediante el cambio de insertos y la variación del tamaño del ladrillo, sin perder la rigidez necesaria para el correcto funcionamiento. Diseñada con materiales rígidos, y de buena maquinabilidad. Se dispone de pintura antioxidante para el acabado, aumentando así la vida útil de la máquina.

- **Subsistema hidráulico.** Aporta la presión para conseguir la compresión necesaria, y efectuar las tareas de cargue y descargue. Para ello se requiere de actuadores, preactuadores y sensórica. Para desarrollar la fuerza de prensado se requiere de un cilindro de doble efecto, donde el lado pistón efectúa la compresión y el lado vástago eyecta los BTC. Se emplean también cilindros de doble efecto para hacer el cargado del material, y la descarga del adobe. Para controlar el movimiento de los actuadores se hará uso de válvulas direccionales y reguladoras de caudal, además para controlar la fuerza de prensado se hará uso de reguladoras de presión (incluyendo válvulas de alivio). Finalmente para proveer la presión de trabajo se emplea una bomba de engranajes.

**Figura 24.** Esquema de prensado.



- **Subsistema de potencia.** La potencia hidráulica es conseguida por medio de un motor eléctrico, este debe ser capaz de proveer la potencia requerida para alcanzar

la presión y el caudal requerido en el sistema hidráulico, la cual no debe superar los 20 [HP]. El motor es acoplado a la bomba hidráulica por medio de un acople flexible, que reduzca las vibraciones mecánicas.

- **Subsistema de carga y descargue.** El ladrillo es extraído de la cámara de prensado a través del portainsertos inferior, que por medio de un sistema de trinquete se mueven solidarias al portainsertos superior. El cargador tiene doble propósito, debe efectuar la acción de cargado de la cámara de prensado al mismo tiempo que evacua el BTC previamente prensado, así se disminuirán los tiempos de producción, además de mover el trinquete para desacoplar los portainsertos superior e inferior. El cargador se llena con material procesado mediante una tolva.

**Figura 25.** Sistema de cargado



Fuente: Ecomaquinas.

- **Subsistema eléctrico y de control.** Este subsistema controla y protege el funcionamiento del motor eléctrico y de los actuadores hidráulicos, para asegurar el funcionamiento correcto y eficiente de la máquina. Consiste en un panel de control, con los dispositivos requeridos para el arranque del motor en estrella-triángulo, y

los accionadores de las válvulas direccionales. Esto implica el uso de contactores, relés, temporizadores y un controlador.

## 6. DISEÑO DE LA ESTRUCTURA

Para el diseño estructural se tienen en cuenta los requisitos geométricos y las condiciones de presión solicitados a los BTC, además de la flexibilidad demandada para la producción de 300 ladrillos por hora. Dichos requisitos son:

- Tamaño de ladrillo de 30X15[cm] y de altura variable entre 15 a 7,5 [cm].
- Presión aplicada a las caras de 3.26 [MPa].
- Dos BTC por ciclo.

La máquina se divide entonces en 5 partes:

- Cámara de prensado.
- Conjunto de prensado inferior.
- Base de la máquina.
- Conjunto de prensado superior.
- Base del cilindro de prensado.

### 6.1 CÁMARA DE PRENSADO

Hace la función de matriz para los BTC, sometida a la presión máxima de 3.27 [MPa] en las caras internas, soportando también a la tolva y la caja dosificadora. Se emplea acero estructural ASTM A-36 con una resistencia a la fluencia de 250 [MPa]. Como se mencionó en el numeral 2.3.1.2 la tasa de compresión mínima es de 1.65, de aquí se obtiene la profundidad de la cámara de prensado como:

$$PCP = H_{max} * 1.65$$

Donde

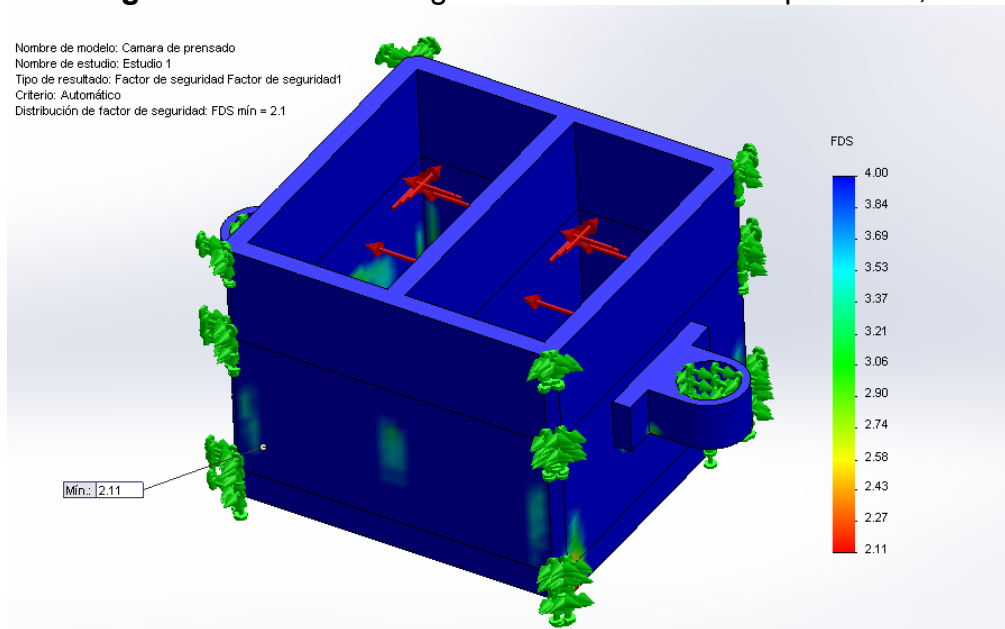
$$PCP = \textit{Profundidad de la cámara de prensado}$$

$$H_{max} = \textit{altura del ladrillo más grande}$$

Para el ladrillo más grande, de 15 [cm] de altura, la profundidad de la cámara de prensado es de 24.75 [cm]. Es necesario dejar espacio para que la matrices inferiores se puedan deslizar, por lo tanto la profundidad final es de 28 [cm]

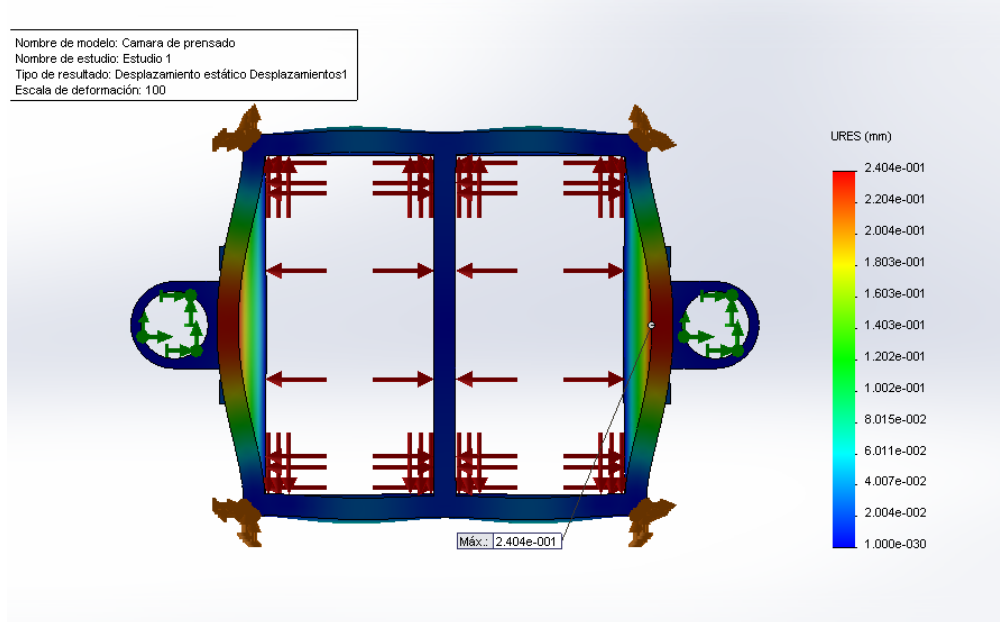
Para el diseño de la cámara de prensado se asume una presión de 4.36 [MPa], mayor a la nominal, y distribuida en los 15 cm inferiores debido a que la presión es máxima cuando el cilindro hidráulico ha finalizado su recorrido, dando como resultado un espesor de  $\frac{3}{4}$  [in] con un factor de seguridad mínimo de 2.1.

**Figura 26.** Factor de seguridad de la cámara de prensado,



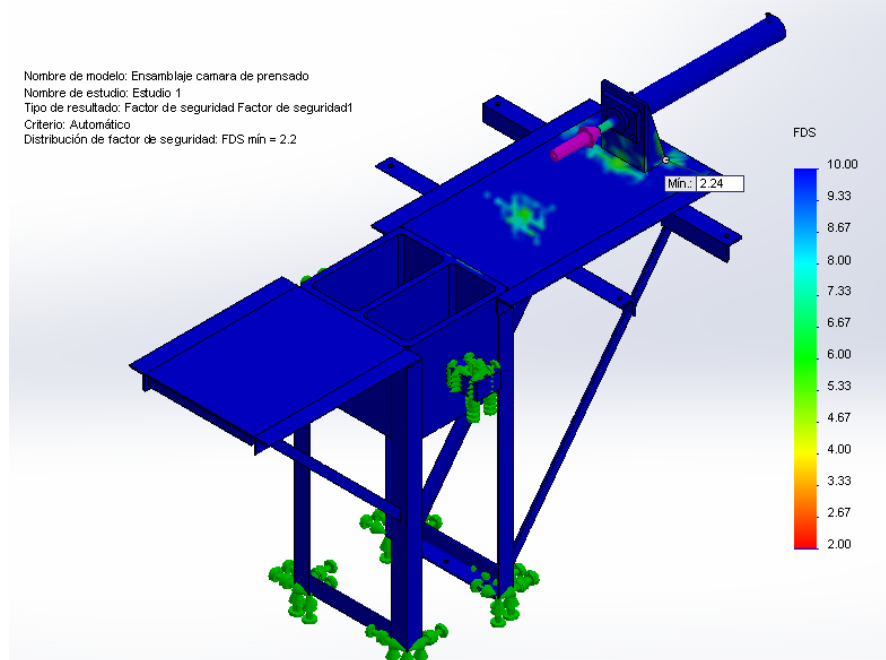
Además la deformación máxima obtenida es de 0.24 [mm] como se ve en siguiente figura:

**Figura 27.** Deformación obtenida en la cámara de prensado.



Adicionalmente, a la cámara de prensado se le agregan patas, ángulo de 2" de ¼" de espesor, para soportarla a una altura de 86 [cm], cómoda para que el operario pueda retirar los BTC desde una bandeja ubicada en parte posterior de la máquina. A las patas se añaden un tramo del mismo ángulo en sentido transversal, para ser anclada con tornillos a la base de la máquina. Otra bandeja es ubicada en parte anterior de la máquina y tiene como objetivo soportar la tolva, el paso del cargador y el cilindro secundario. Dicho cilindro implica una carga máxima de una tonelada, y el peso de la tolva totalmente llena es de máximo 100 kilos. El factor de seguridad obtenido es de 2.3.

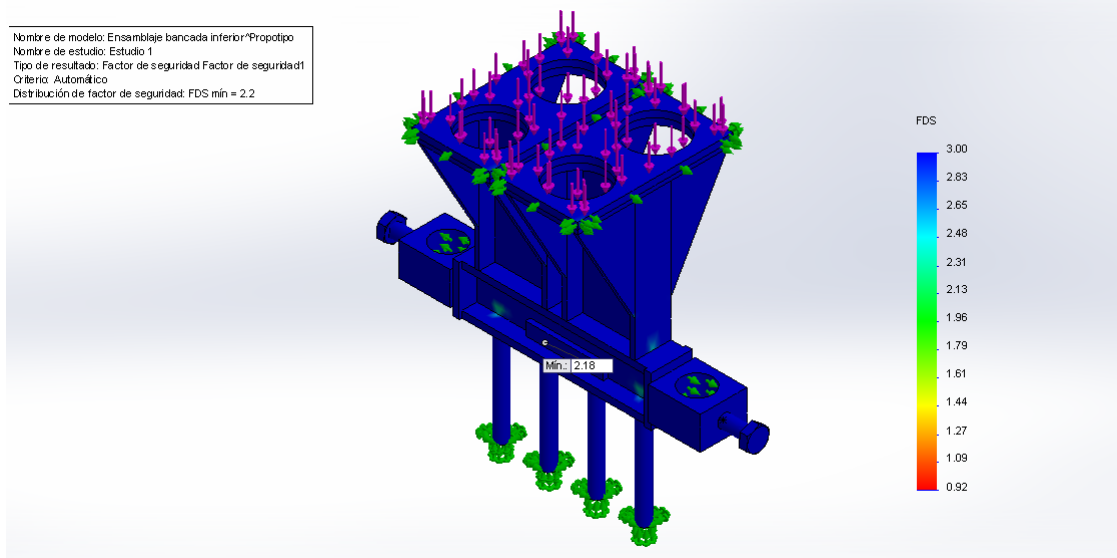
**Figura 28.** Factor de seguridad de la cámara de prensado producto del cargado



## 6.2 CONJUNTO DE PRENSADO INFERIOR

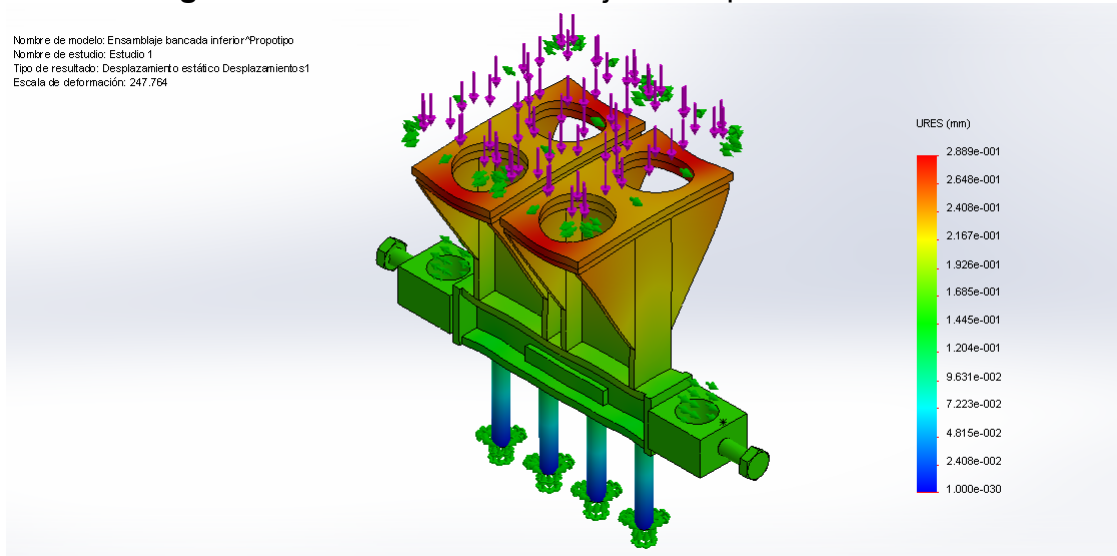
Consiste en el ensamblaje de los insertos, el portainsertos y el elevador. Los insertos dan forma al BTC, son de una lámina de  $\frac{1}{2}$  in de espesor en acero A-36, reciben una presión máxima de 3.27 [MPa], pero son diseñados con una presión de 4.36 [MPa], ligeramente superior. Los insertos son atornillados al portainsertos, conformado por otra lamina de  $\frac{1}{2}$  in y una columna con refuerzos laterales que aumentan el factor de seguridad y la rigidez del conjunto. Finalmente el portainsertos es soldado al elevador el cual es una viga en I con dos prolongaciones laterales y cojinetes de desplazamiento lineal, por donde pasaran las barras cromadas. El conjunto se apoya sobre 4 tornillos grado 8 de una pulgada de diámetro y con una longitud de 7 pulgadas, los cuales se atornillan a la base inferior y permiten cambiar la altura del BTC. Se obtiene un factor de seguridad mínimo de 2.2.

**Figura 29.** Factor de seguridad del conjunto de prensado inferior.



La máxima deformación obtenida es de 0.28 [mm]

**Figura 30.** Deformación del conjunto de prensado inferior.

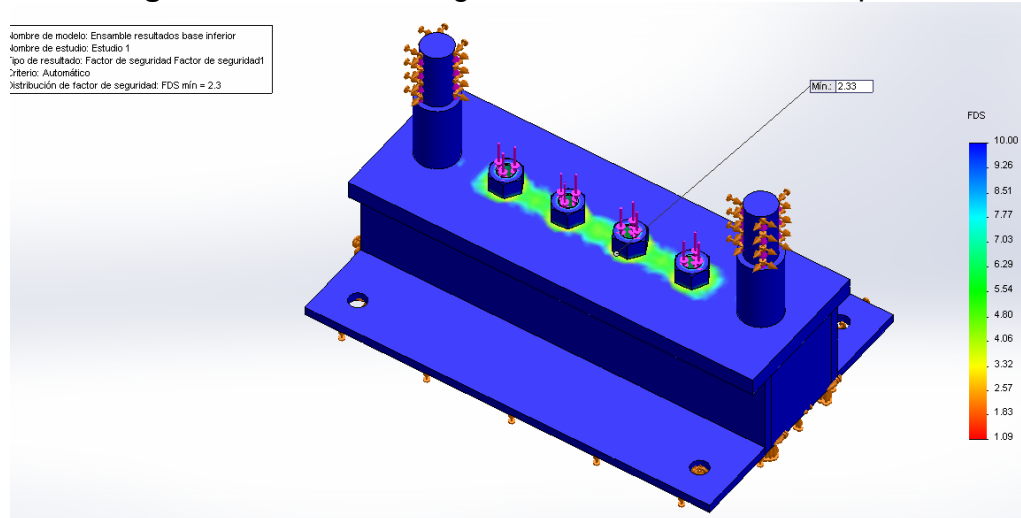


### 6.3 BASE DE LA MÁQUINA

Deberá soportar a las barras cromadas, de 6 cm de diámetro sometidas a tracción, fijadas mediante tuercas en su parte inferior y a los tornillos que permiten variar la altura del BTC, sometidas a compresión. La base estará anclada por 4 tornillos al suelo. El material empleado es acero ASTM A-36, dando como resultado una placa

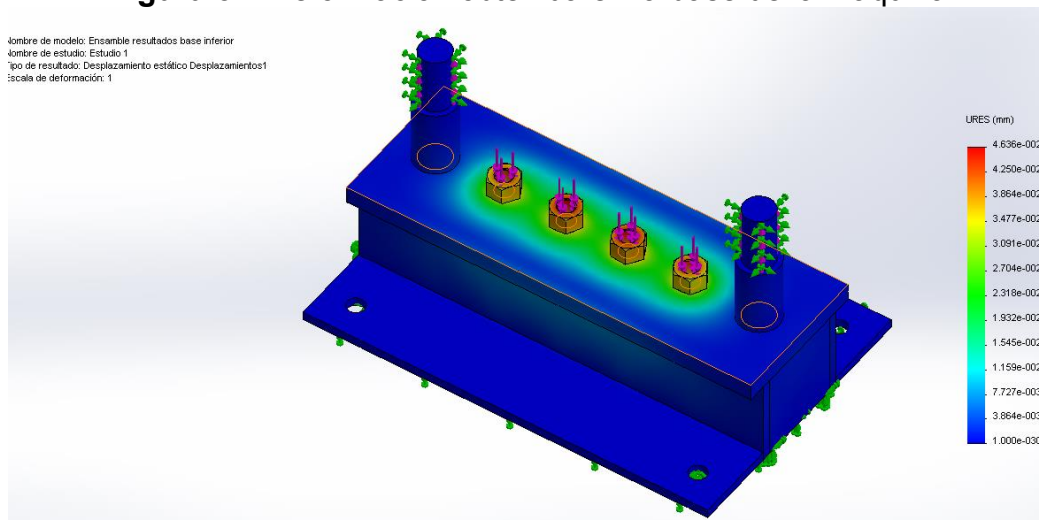
de acero de 1 in de espesor con refuerzos inferiores que mejoran la confiabilidad del diseño, obteniendo un factor de seguridad de 2.3.

**Figura 31.** Factor de seguridad de la base de la máquina



La máxima deformación obtenida es de 0.046 [mm]

**Figura 32.** Deformación obtenida en la base de la máquina

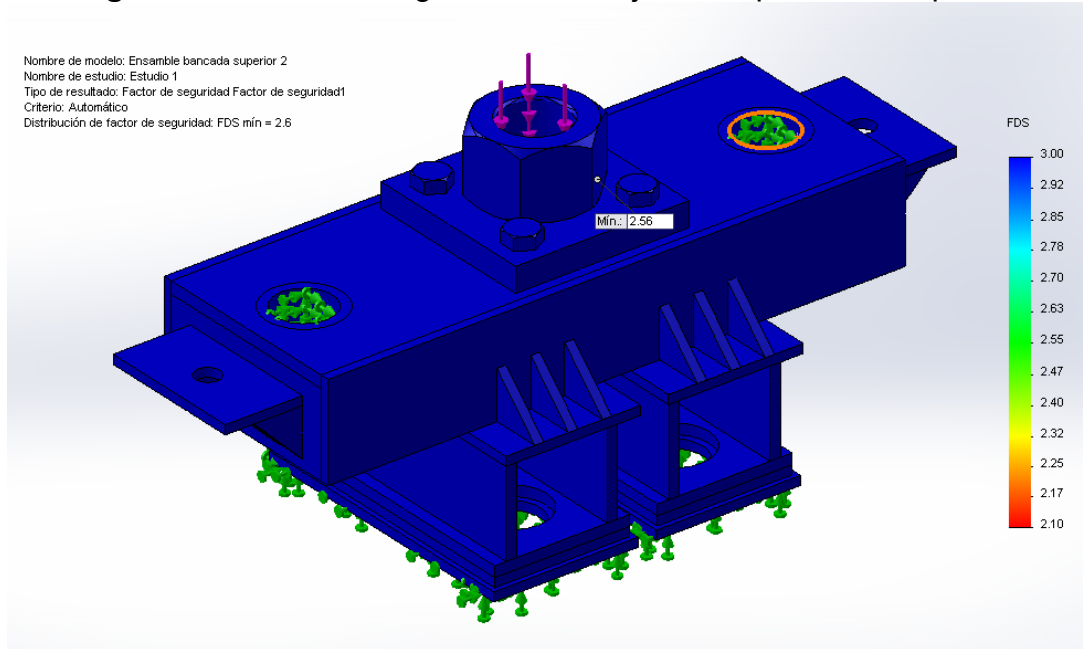


## 6.4 CONJUNTO DE PRENSADO SUPERIOR

Es el conjunto que le da forma a la cara superior del BTC, hecha de acero ASTM A-36, con las matrices soldadas a la bancada, reforzadas con nervios. La bancada es acoplada al cilindro hidráulico, por lo cual recibe la fuerza máxima de 30 toneladas

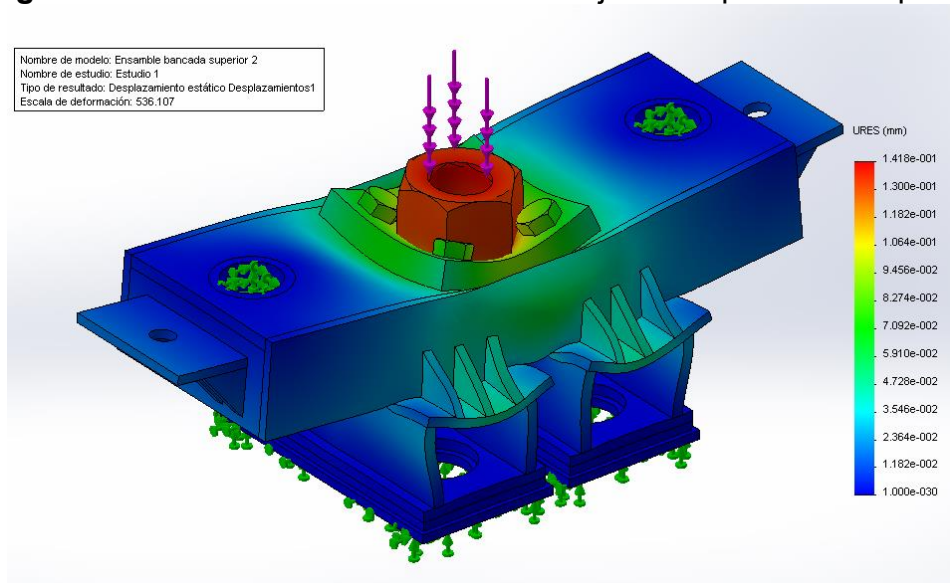
en el momento del prensado. Internamente esta reforzada con dos laminas transversales en las secciones críticas. El conjunto alcanza un factor de seguridad mínimo de 2.56.

**Figura 33.** Factor de seguridad del conjunto de prensado superior



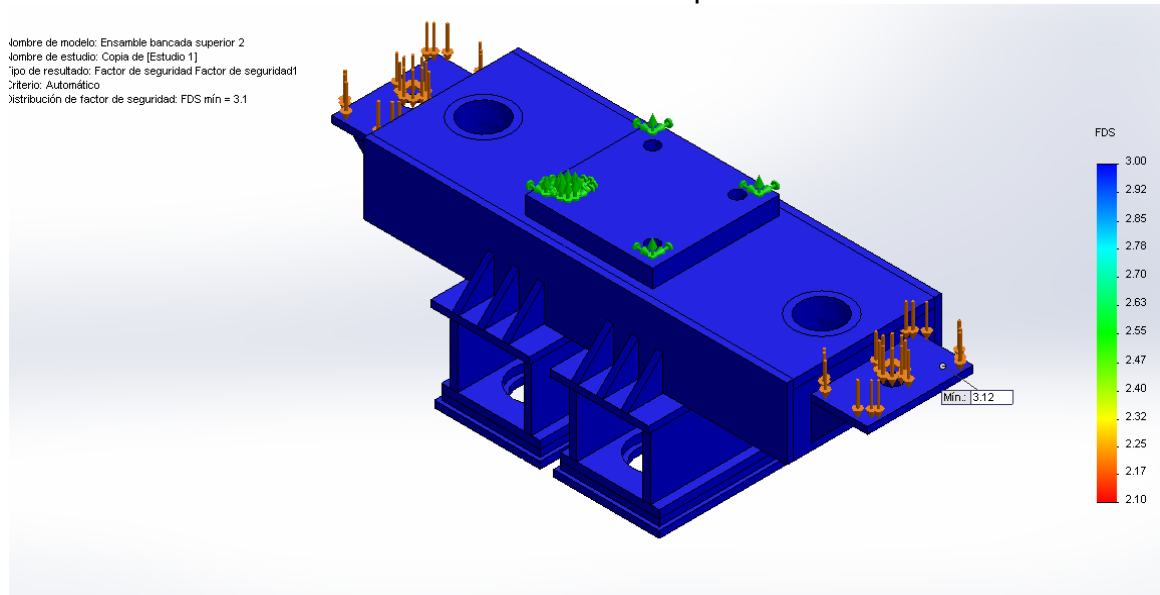
La máxima deformación obtenida es de 0.141 [mm]

**Figura 34.** Deformación obtenida en el conjunto de prensado superior



Adicionalmente el conjunto de prensado superior hace la función expulsar el BTC acabado de la cámara de prensado a través de un sistema de trinquete que es atornillado a los soportes laterales de la bancada superior. Debido a que el material es prensado con 3,26[MPa] de presión, la presión remanente hace que extraer el BTC requiera una fuerza considerable, dicha fuerza es estimada en 2 toneladas. El factor de seguridad mínimo para este caso es de 3.12.

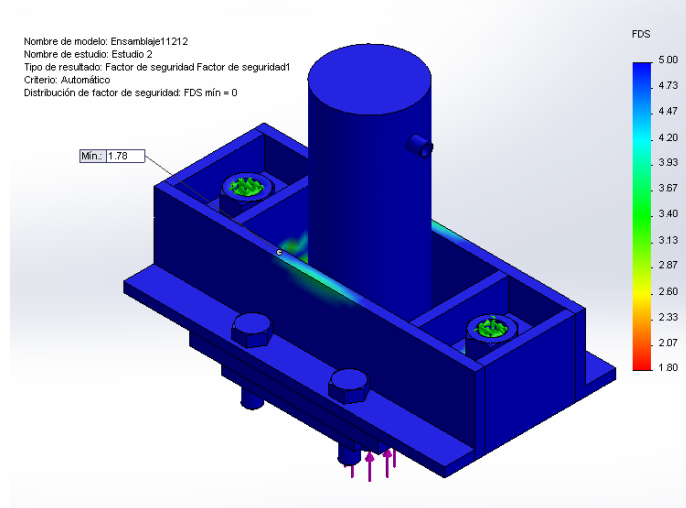
**Figura 35.** Factor de seguridad del conjunto de prensado superior producto del ascenso de los bloques



## 6.5 BASE DEL CILINDRO DE PRENSADO

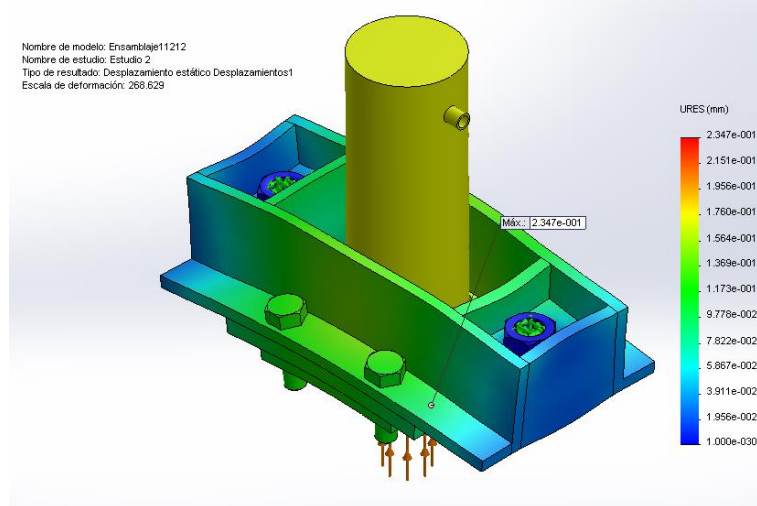
El cilindro de prensado junto con las barras cromadas va atornillado a la base del cilindro, sirviendo estas últimas como apoyo del conjunto, sometidas a tracción. Dado que el cilindro ejerce una fuerza de prensado de 30 toneladas los espesores de los elementos son considerables para obtener la resistencia y rigidez deseadas. El material empleado es acero A-36, salvo dos pequeñas placas donde se atornillaran las barras cromadas, las cuales son de acero 1045. Con éste diseño se obtiene un factor de seguridad mínimo de 1.8.

**Figura 36.** Factor de seguridad de la base del cilindro de prensado



La deformación máxima de 0.23 [mm] como se observa en la siguiente figura.

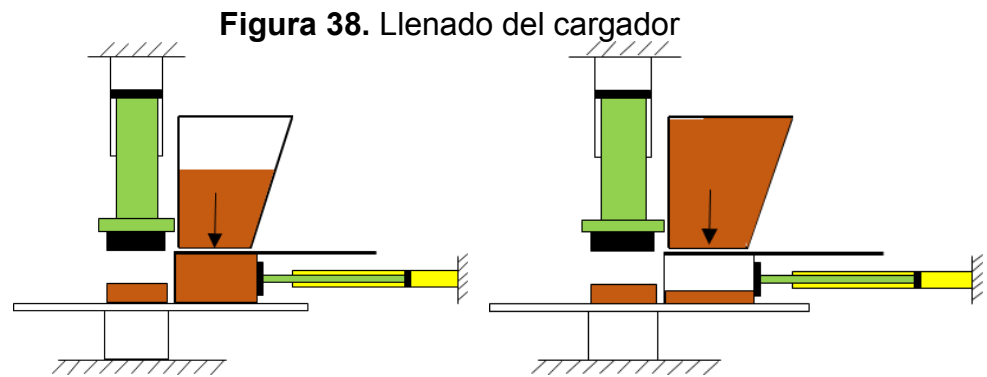
**Figura 37.** Deformación de la base del cilindro principal.



## 7. DISEÑO DEL SISTEMA HIDRÁULICO.

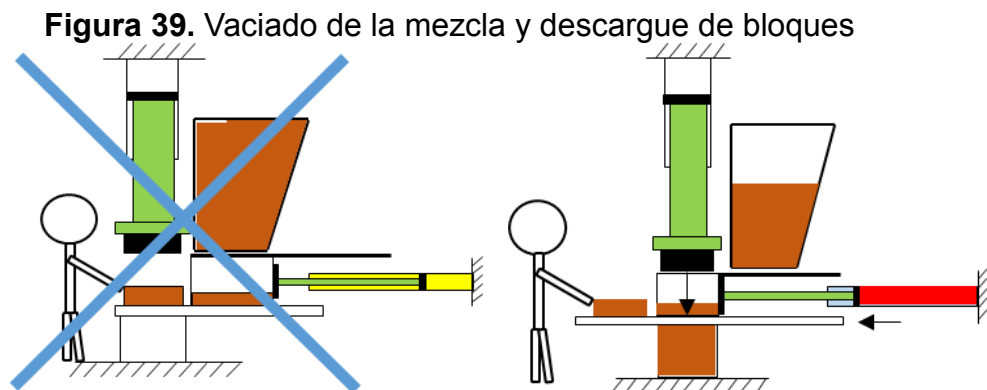
### 7.1 ACCIONES ASOCIADAS AL CIRCUITO HIDRÁULICO

**7.1.1 Llenado de cargador con la masa de arcilla y aglomerantes.** se consta de un sistema de alimentación por tolva en el que el cargador acoplado al cilindro secundario es llenado por gravedad.

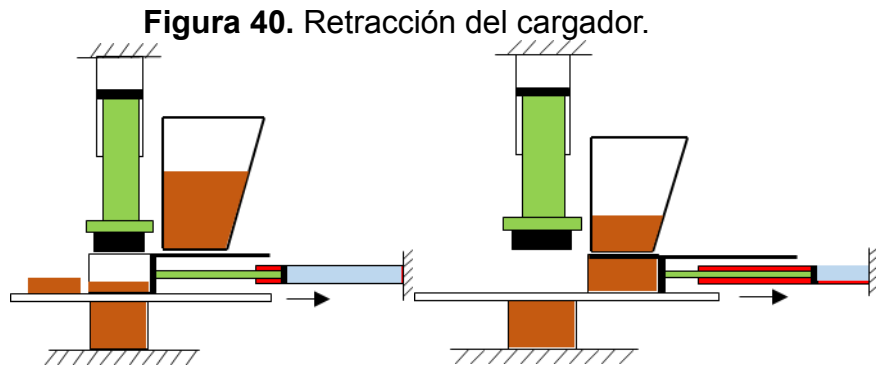


**7.1.2 Vaciado de la masa de arcilla y aglomerantes y descargue de bloques.**

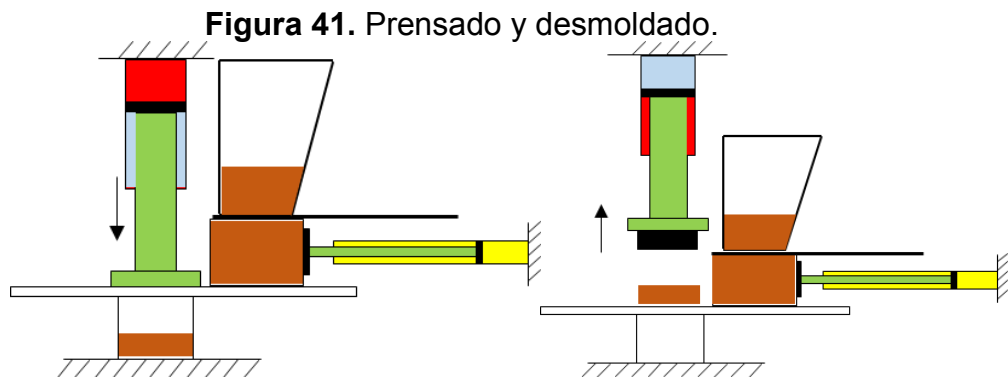
Gracias a este sistema se elimina el tiempo muerto en el que el operario saca los bloques de la cámara de prensado, de esta nueva forma los bloques son servidos en una plataforma de la cual el operario los retira, simultáneamente se realiza el vaciado de la arcilla y los aglomerantes en la cámara de prensado.



**7.1.3 Retracción del cargador.** Después del vaciado el cargador retorna a su posición inicial donde es nuevamente llenado y espera hasta la terminación del prensado.



**7.1.4 Prensado y desmoldado.** En esta tarea el BTC es formado por la acción de una fuerza de compresión distribuida sobre la masa de arcilla y aglomerantes en la matriz ejercida por los insertos sobre los que actúa el cilindro de doble efecto principal, terminado el prensado por medio de un mecanismo de trinquete en el ascenso los bloques son desmoldados.



## 7.2 DEFINICIÓN DE LA CAPACIDAD Y PARAMETRIZACIÓN DEL SISTEMA

El tiempo requerido para alcanzar una productividad de 2500 bloques en un turno de 8 horas y con 2 BTC por prensado es de 23,04 [s].

Un ciclo de fabricación de dos bloques entonces debe tener una duración máxima de 23,04 segundos, dispuestos de acuerdo a la **Tabla 2**:

**Tabla 2.** Duración de las operaciones.

<b>Operación</b>	<b>Tiempo máximo</b>
<i>Prensado</i>	10,5 [s]
<i>Desmoldado</i>	6[s]
<i>Vaciado de la masa de arcilla y aglomerantes y descargue de bloques</i>	4,5[s]
<i>Retracción del cargador</i>	2[s]

La operación de prensado se realiza en dos etapas las cuales se estima que se realizan en los tiempos dispuestos en la **Tabla 3**:

**Tabla 3.** Duración de las etapas de prensado

<b>Prensado</b>	<b>Tiempo máximo</b>
<i>Descenso Rápido</i>	6[s]
<i>Compactación a alta presión</i>	4,5[s]

Además se establecen las distancias recorridas por el cilindro principal y secundario dispuestas en la siguiente tabla:

**Tabla 4.** Distancias recorridas por operación.

<b>Operación</b>	<b>Carrera</b>
<i>Descenso Rápido</i>	30 [cm]
<i>Compactación a alta presión</i>	10[cm]
<i>Desmoldado</i>	40[cm]
<i>Vaciado de la masa de arcilla y aglomerantes y descargue de bloques</i>	55[cm]
<i>Retracción del cargador</i>	55[cm]

### 7.3 DIMENSIONAMIENTO DEL CILINDRO DE DOBLE EFECTO PRINCIPAL.

Dadas unas proporciones adecuadas de aglomerantes y suelo, la calidad del BTC pasa a ser función de la fuerza de compactación y otros factores como humedad, días de curado, luminosidad, etc., fabricantes de prensas como Gracomaq S.A.S de Colombia y Eco Máquinas Ind. Com. Imp. Ltda. de Brasil ofrecen en sus catálogos máquinas de 6 [Ton/BTC], 12 [Ton/BTC] y 18 [Ton/BTC] respectivamente en su orden de mayores costos y mejores resultados en las pruebas mecánicas realizadas a los bloques. Ensayos realizados con prensas de 6[Ton/BTC] permitieron obtener 6,726 [MPa] de resistencia a la compresión lo cual cumple la norma NBR 10834/94 con valor límite permisible de 2 [MPa], otros ensayos han demostrado que el aumento de la presión de fabricación mejora las propiedades mecánicas determinando un nivel óptimo entre 9-18[Ton/BTC] para bloques con un área de 450[cm<sup>2</sup>], por lo que se diseñó a partir de 15 [Ton/Btc] que corresponde en el mercado a prensas de alta gama.

$$F_w = \gamma * N [Ton]$$

$$F_w = 15 \left[ \frac{Ton}{Btc} \right] * 2[Btc] = 30 [Ton]$$

Para la aplicación correspondiente, se tiene:

$$P = \frac{F}{A_p} [psi]$$

$$A_p = \frac{\pi * d_p^2}{4} [in^2]; P = \frac{F}{\frac{\pi * d_p^2}{4}} [psi]; F = P * \frac{\pi * d_p^2}{4} [Lbf]$$

Con un diámetro de pistón de 6 pulgadas se obtiene:

$$F = 2500[psi] * \frac{\pi * (6)^2}{4} = 70,68 * 10^3[Lbf] * \left[ \frac{0,4536kgf}{Lbf} \right] = 32,12 * 10^3[Kgf]$$

$$F = 32,12[Ton] \geq F_w$$

**7.3.1 Comprobación del diámetro del vástago al pandeo.** Para comprobar si el diámetro del vástago de 3 pulgadas soporta la carga de compresión, se debe determinar primero si éste actúa como una columna larga o corta, para esto se

compara la relación de esbeltez con la constante de la columna, si la relación de esbeltez es mayor que la constante se habla de una columna larga, de lo contrario será una columna corta. La relación de esbeltez está determinada por:

$$R_{esbeltez} = \frac{L_{equivalente}}{r_{min}}$$

$$r_{min} = \sqrt{\frac{I_{min}}{A_v}} [m]$$

Donde los criterios para longitud equivalentes son:

**Tabla 5.** Longitud equivalente para columnas

Condiciones de apoyo	Longitud equivalente
Empotrado - Empotrado	0,5L
Empotrado - Pivotado	0,7L
Pivotado - Pivotado	1L
Empotrado - Libre	2L

Fuente: Mott, Robert L. 2006. *Diseño de elementos de máquinas*.

Para este caso la condición de apoyo es empotrado, por lo tanto se tiene:

$$L_{equivalente} = 0,5L$$

$$L = \text{Carrera cilindro Principal} = 0,4 [m]$$

Reemplazando los valores:

$$I_{min} = \frac{\pi * r^4}{4} = \frac{\pi * d^4}{64} [in^4] = \frac{\pi * 3^4}{64} [in^4] = 3,976[in^4] * \left[\frac{2,54cm}{in}\right]^4 = 165,5 [cm^4]$$

$$A_v = \pi * \frac{d_v^2}{4} [m^2] = \pi * \frac{3^2}{4} [in^2] * \left[\frac{2,54cm}{in}\right]^2 = 45,6 [cm^2]$$

$$r_{min} = \sqrt{\frac{165,5}{45,6}} [cm] = 1,91 [cm] * \left[\frac{m}{100cm}\right] = 0,0191 [m]$$

$$R_{esbeltez} = \frac{L_{equivalente}}{r_{min}} = \frac{0,5 * 0,4 [m]}{0,0191 [m]} = 10,5$$

La expresión para la constante de la columna es:

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * E}{S_y}}$$

Con:

$$S_y = 310 [Mpa] \text{ Acero AISI - SAE 1045}$$

$$E = 210 [Gpa]$$

$$C_c = \sqrt{\frac{2 * \pi^2 * 210000[Mpa]}{310[Mpa]}} = 115,63$$

Como  $R_{esbeltez} < C_c$  la columna es corta, entonces se emplea la fórmula general de J.B. Johnson (Columnas Cortas):

$$P_{cr} = A_v * S_y * \left[ 1 - \frac{S_y * \left( \frac{L_{equivalente}}{r_{min}} \right)^2}{4 * \pi^2 * E} \right]$$

$$P_{cr} = 45,6[cm^2] * \left[ \frac{m}{100cm} \right]^2 * 310[Mpa] * \left[ 1 - \frac{310[Mpa] * \left( \frac{0,5 * 0,4[m]}{0,0191[m]} \right)^2}{4 * \pi^2 * 210000[Mpa]} \right]$$

$$P_{cr} = 1,41 * 10^6[N] * \left[ \frac{Kgf}{9,81N} \right] = 143500[Kgf] = 143,5[Ton]$$

La carga permisible está dada por:

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N}$$

Con:

$$N = 3 [\text{Factor de seguridad}]$$

$$P_a = \frac{143,5 [Ton]}{3} = 47,84[Ton]$$

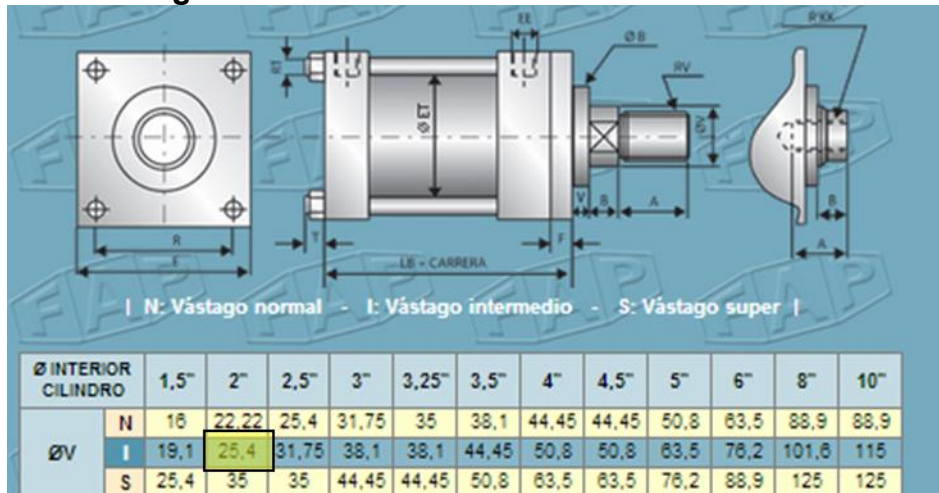
La carga permisible  $P_a < F_w$  es menor que la carga de trabajo de 30[Ton] con lo cual las dimensiones del cilindro cumplen los requerimientos técnicos y de resistencia.

## 7.4 DIMENSIONAMIENTO DE CILINDRO DE DOBLE EFECTO SECUNDARIO.

Resultados de ensayos de fabricación en una prensa manual con sistema de carga por tolva y cargador se encontró que se requiere un fuerza entre los 20-80 [Kgf] dependiendo del grado de humedad de la mezcla, las dimensiones seleccionadas están dadas más por criterios en la facilidad para la fabricación del cilindro por la tubería bruñida y ejes calibrados en el mercado, ya que esta fuerza se logra con una presión baja y un diámetro de pistón pequeño.

Estos son tamaños normalizados para cilindros hidráulicos:

**Figura 42.** Tamaños de cilindros normalizados.



Fuente: <http://faphidraulica.com.ar/new/CilindrosHidraulicosCHT.htm>

Se selecciona entonces los diámetros del pistón y del vástago para el cilindro secundario.

$$d_p = 2[in]$$

$$d_v = 1[in]$$

**7.4.1 Comprobación del diámetro del vástago al pandeo.** Se sigue el mismo procedimiento que el realizado para el cilindro principal. Además la condición de apoyo se asume también como empotrado.

$$I_{min} = 2,043 [cm^4]$$

$$L = \text{Carrera cilindro Secundario} = 0,55 [m]$$

$$A_v = 5,067 [cm^2]$$

$$r_{min} = 6,35 * 10^{-3} [m]$$

$$R_{esbeltez} = 43,3$$

$$C_c = 115,63$$

Como  $R_{esbeltez} < C_c$  la columna es corta, entonces se emplea la fórmula general de J.B. Johnson para columnas cortas:

$$P_{cr} = 14,89 [Ton]$$

Carga permisible:

$$P_a = \frac{P_{cr}}{N}$$

Con:

$$N = 3 [\text{Factor de seguridad}]$$

$$P_a = \frac{14,89 [Ton]}{3} = 4,96 [Ton]$$

La carga permisible  $P_a < F_w$  es menor que la carga de trabajo de 0,08[Ton] con lo cual las dimensiones del cilindro cumplen los requerimientos técnicos y de resistencia.

## 7.5 REQUERIMIENTOS DE CAUDAL CILINDRO PRINCIPAL

Se estiman los requerimientos de caudal que permitirán seleccionar la bomba y el motor eléctrico que accionará el sistema. El cilindro principal se encarga del prensado, el cual se realiza en dos etapas y el desmoldado del bloque, los cuales se deben realizar en el tiempo estipulado en la sección 5.2. El caudal se define como:

$$\dot{Q} = V * A \left[ \frac{m^3}{s} \right]; \dot{Q}_p = V_p * A_p \left[ \frac{m^3}{s} \right]; \dot{Q}_a = V_a * A_a \left[ \frac{m^3}{s} \right]$$

$$V_p = V_a \left[ \frac{m}{s} \right]; V_p = \frac{A_p}{\dot{Q}_p} \left[ \frac{m}{s} \right]; V_a = \frac{A_a}{\dot{Q}_a} \left[ \frac{m}{s} \right]$$

Se calculan las áreas del lado pistón y del lado vástago para el cilindro principal:

$$A_p = \pi * \frac{d_p^2}{4} = \pi * \frac{6^2}{4} = 28,27 [in^2] * \left[ \frac{2,54cm}{in} \right]^2 = 182,387 [cm^2] * \left[ \frac{m}{100cm} \right]^2$$

$$A_p = 0,0182387 [m^2]$$

$$A_a = \pi * \frac{d_p^2}{4} - \pi * \frac{d_v^2}{4} = \pi * \frac{6^2}{4} - \pi * \frac{3^2}{4} = 28,27[in^2] - 7,07[in^2] = 21,2[in^2] * \left[ \frac{2,54cm}{in} \right]^2$$

$$A_a = 136,78[cm^2] * \left[ \frac{m}{100cm} \right]^2 = 0,013678 [m^2]$$

**7.5.1 Prensado en dos etapas.** Se lleva a cabo un descenso rápido que dura 6 segundos y con un desplazamiento de 30 cm, con lo que se obtiene la velocidad y el caudal del descenso rápido, ver **Figura 43**:

$$V_1 = \frac{\Delta y}{\Delta t_{dr}} \left[ \frac{m}{s} \right] = \frac{0,3[m]}{6 [s]} = 0,05 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$\dot{Q}_{p1} = V_1 * A_p \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 0,05 \left[ \frac{m}{s} \right] * 0,0182387 [m^2]$$

$$\dot{Q}_{p1} = 0,912 * 10^{-3} \left[ \frac{m^3}{s} \right] * \left[ \frac{60s}{min} \right] * \left[ \frac{264,2gal}{m^3} \right] = 14,45[Gpm]$$

El prensado como tal se realiza en 4,5 segundos, y con una distancia recorrida de 10 cm, se obtiene la velocidad y por tanto el caudal del prensado a alta presión.

$$V_2 = \frac{\Delta y}{\Delta t_{cap}} \left[ \frac{m}{s} \right] = \frac{0,1[m]}{4,5 [s]} = 0,0222 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$\dot{Q}_{p2} = V_2 * A_p \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 0,0222 \left[ \frac{m}{s} \right] * 0,0182387 [m^2]$$

$$\dot{Q}_{p2} = 0,405 * 10^{-3} \left[ \frac{m^3}{s} \right] * \left[ \frac{60s}{min} \right] * \left[ \frac{264,2gal}{m^3} \right] = 6,42[Gpm]$$

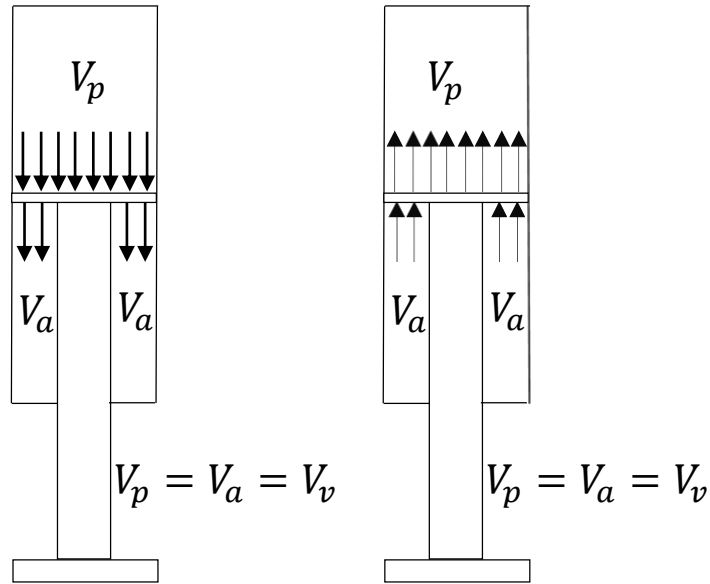
**7.5.2 Desmoldado.** Implica el ascenso del cilindro principal, el cual debe recorrer una distancia de 40 cm en 6 segundos, con lo que se obtiene el caudal de ascenso:

$$V = \frac{\Delta y}{\Delta t_d} \left[ \frac{m}{s} \right] = \frac{0,4[m]}{6 [s]} = 0,0666 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$\dot{Q}_a = V * A_a \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 0,0666 \left[ \frac{m}{s} \right] * 0,013678 [m^2]$$

$$\dot{Q}_a = 0,912 * 10^{-3} \left[ \frac{m^3}{s} \right] * \left[ \frac{60s}{min} \right] * \left[ \frac{264,2gal}{m^3} \right] = 14,45[Gpm]$$

**Figura 43.** Descenso y desmoldado.



## 7.6 REQUERIMIENTOS DE CAUDAL CILINDRO SECUNDARIO

El cilindro secundario se encarga del cargado del material base para la fabricación de los bloques y del descargado de los mismos ya prensados. Se calculan las áreas del lado pistón y del lado vástago para el cilindro principal:

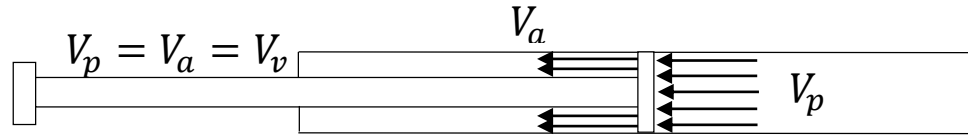
$$A_p = \pi * \frac{d_p^2}{4} = \pi * \frac{2^2}{4} = 3,1416 [in^2] * \left[ \frac{2,54cm}{in} \right]^2 = 20,27 [cm^2] * \left[ \frac{m}{100cm} \right]^2 = 2,027 * 10^{-3} [m^2]$$

$$A_a = \pi * \frac{d_p^2}{4} - \pi * \frac{d_v^2}{4} = \pi * \frac{2^2}{4} - \pi * \frac{1^2}{4} = 3,1416[in^2] - 0,785[in^2] = 2,356[in^2] * \left[ \frac{2,54cm}{in} \right]^2 = 15,2[cm^2] * \left[ \frac{m}{100cm} \right]^2 = 1,52 * 10^{-3} [m^2]$$

$$\beta = \frac{A_p}{A_a} = 4/3$$

**7.6.1 Vaciado de la masa de arcilla-aglomerantes y descargue de bloques.** Se realiza el avance del cilindro secundario, debe recorrer una distancia de 55 cm en un tiempo de 4,5 segundos.

**Figura 44.** Vaciado de la masa de arcilla.



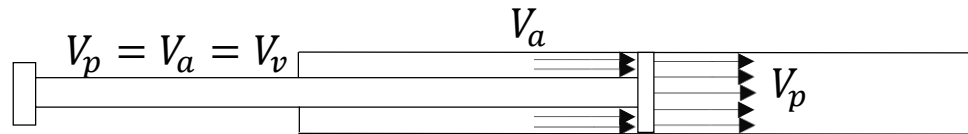
$$V = \frac{\Delta y}{\Delta t_v} \left[ \frac{m}{s} \right] = \frac{0,55[m]}{4,5 [s]} = 0,1222 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$\dot{Q}_p = V * A_a \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 0,1222 \left[ \frac{m}{s} \right] * 2,027 * 10^{-3} [m^2] = 0,248 * 10^{-3} \left[ \frac{m^3}{s} \right] * \left[ \frac{60s}{min} \right] * \left[ \frac{264,2gal}{m^3} \right]$$

$$\dot{Q}_p = 3,93[Gpm]$$

### 7.6.2 Retracción del cargador.

**Figura 45.** Retracción del cargador.



$$V = \frac{\Delta y}{\Delta t_r} \left[ \frac{m}{s} \right] = \frac{0,55[m]}{2 [s]} = 0,275 \left[ \frac{m}{s} \right]$$

$$\dot{Q}_a = V * A_a \left[ \frac{m^3}{s} \right] = 0,275 \left[ \frac{m}{s} \right] * 1,52 * 10^{-3} [m^2] = 0,418 * 10^{-3} \left[ \frac{m^3}{s} \right] * \left[ \frac{60s}{min} \right] * \left[ \frac{264,2gal}{m^3} \right]$$

$$\dot{Q}_a = 6,63[Gpm]$$

## 7.7 REQUERIMIENTOS GENERALES DE CAUDAL

Se enlistan los caudales que se obtuvieron en la sección anterior, para el cilindro principal y secundario, estos determinaran la duración de las distintas tareas que se deben llevar a cabo. Para el cilindro secundario es necesaria una regulación de caudal, la cual se hace con una válvula de aguja que estrangula el flujo, el caudal de operación deberá estar en el rango de control de la válvula.

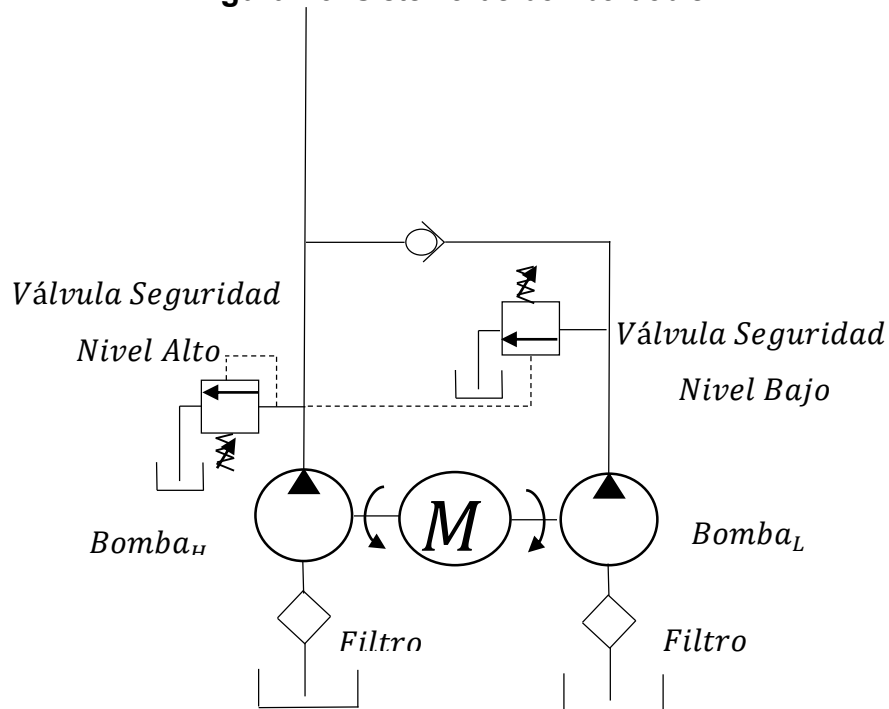
**Tabla 6.** Requerimientos generales de caudal.

<b>Operación</b>	<b>Caudal requerido</b>	
Descenso rápido	14,45[Gpm]	
Prensado	6,42[Gpm]	
Desmoldado	14,45[Gpm]	<b>Caudal regulado a la salida <math>Q_v = Q_p * \beta</math></b>
Vaciado de la masa de arcilla y aglomerantes y descargue de bloques	3,93[Gpm]	2,95 [Gpm]
Retracción del cargador	6,63[Gpm]	8,84 [Gpm]

### 7.8 SELECCIÓN DE LA BOMBA

Se seleccionó un sistema con dos bombas de desplazamiento fijo (sistema de alta y baja): En este sistema el ciclo de presando se da en dos etapa uno de descenso rápido y otro de compactación a alta presión, sin regulación de caudal en las operaciones de prensado y desmoldado.

**Figura 46.** Sistema de bomba doble.



**7.8.1 Caudal requerido.** El mayor requerimiento de caudal está dado por los ciclos de descenso rápido y desmoldado de 14,45 [Gpm] el cual corresponde a la etapa de baja presión. Debido a que la operación de compactación a alta presión no es regulada en este sistema se definen 6,42 [Gpm] como la etapa de alta presión.

En un sistema de alta y baja, los caudales de las dos bombas se suman en la etapa de baja presión y en la etapa de alta presión una de las bombas es descargada a tanque, entonces:

$$\dot{Q}_{Bomba1} + \dot{Q}_{Bomba2} \geq 14,45 \text{ [Gpm]}$$

$$\dot{Q}_{Bomba1} \geq 6,42 \text{ [Gpm]}$$

Para tamaños nominales de 7[Gpm] y 8[Gpm] a 1800 [rpm] tenemos:

$$\dot{Q}_{Bomba1} + \dot{Q}_{Bomba2} = 15 \text{ [Gpm]}$$

$$\dot{Q}_{Bomba1} = 7 \text{ [Gpm]}$$

Con el caudal nominal de las bombas se recalculan los tiempos de duración de las operaciones.

- Tiempo de desmoldado:

$$\Delta t_d = \frac{\Delta y}{V} = \frac{\Delta y * A_a}{\dot{Q}_a} = \frac{0,4[m] * 0,013678 \text{ [m}^2\text{]}}{15 \text{ [Gpm]} * \left[ \frac{\text{min}}{60\text{s}} \right] * \left[ \frac{\text{m}^3}{264,2\text{gal}} \right]} = 5,78$$

- Tiempo de descenso rápido:

$$\Delta t_{dr} = \frac{\Delta y}{V} = \frac{\Delta y * A_p}{\dot{Q}_p} = \frac{0,3[m] * 0,0182387 \text{ [m}^2\text{]}}{15 \text{ [Gpm]} * \left[ \frac{\text{min}}{60\text{s}} \right] * \left[ \frac{\text{m}^3}{264,2\text{gal}} \right]} = 5,78$$

- Tiempo de compactación a alta presión:

$$\Delta t_{cap} = \frac{\Delta y}{V} = \frac{\Delta y * A_p}{\dot{Q}_p} = \frac{0,1[m] * 0,0182387 \text{ [m}^2\text{]}}{7 \text{ [Gpm]} * \left[ \frac{\text{min}}{60\text{s}} \right] * \left[ \frac{\text{m}^3}{264,2\text{gal}} \right]} = 4,13$$

- Los tiempos de vaciado de masa de arcilla-aglomerantes, descargue y retracción del cargador, se consiguen mediante la regulación de caudal, por lo que no es necesario recalcular la duración de estas operaciones.

**Tabla 7.** Duración de las operaciones según el caudal nominal de la bomba.

<b>Operación</b>	<b>Tiempo</b>
Descenso Rápido	5,78 [s]
Prensado	4,13 [s]
Desmoldado	5,78[s]
Vaciado de la masa de arcilla y aglomerantes y descargue de bloques	4,5[s]
Retracción del cargador	2[s]
<b>Ciclo de 2 BTC</b>	<b>22,19[s]</b>

Total de BTC fabricados:

$$BTC = \frac{8[\text{horas}] * 60 \left[ \frac{\text{min}}{\text{hora}} \right] * 60 \left[ \frac{\text{s}}{\text{min}} \right] * 2 \left[ \frac{\text{Btc}}{\text{Ciclo}} \right]}{22,19 \left[ \frac{\text{s}}{\text{Ciclo}} \right]} = 2595$$

## 7.9 CALCULO DE POTENCIA DEL MOTOR:

Descenso rápido:

$$\Delta P = P + \Delta P_{\text{perdidas}} = 700 [\text{Psi}] + 300[\text{Psi}] = 1000[\text{Psi}]$$

$$HP = \frac{\dot{Q}[\text{Gpm}] * \Delta P[\text{Psi}]}{1714 * \eta_{Tb}} = \frac{15[\text{Gpm}] * 1000[\text{Psi}]}{1714 * 0,828} = 10,57 [\text{Hp}]$$

Compactación a alta presión:

$$\Delta P = P + \Delta P_{\text{perdidas}}$$

$$P = \frac{F_w}{A_p} = \frac{30000[\text{Kgf}]}{0,0182387 [\text{m}^2]} * \left[ \frac{9,81\text{N}}{\text{Kgf}} \right] = 16,136[\text{Mpa}] * \left[ \frac{145\text{Psi}}{\text{Mpa}} \right] = 2339,72 [\text{Psi}]$$

Se asumen unas perdidas en accesorios y mangueras de 300 [Psi] valor comúnmente encontrado en la práctica para sistemas con pasos por electroválvulas direccionales de 3 posiciones y 4 vías.

$$\Delta P_{perdidas} = 300 \text{ [Psi]}$$

$$\Delta P = P + \Delta P_{perdidas} = 2339,72 \text{ [Psi]} + 300 \text{ [Psi]} = 2639,72 \text{ [Psi]}$$

$$HP = \frac{\dot{Q} \text{ [Gpm]} * \Delta P \text{ [Psi]}}{1714 * \eta_{Tb}} = \frac{7 \text{ [Gpm]} * 2639,72 \text{ [Psi]}}{1714 * 0,828} = 13,02 \text{ [Hp]}$$

En el mercado se encuentran motores trifásicos con una potencia nominal de 15 [Hp] el cual es adecuado para la aplicación.

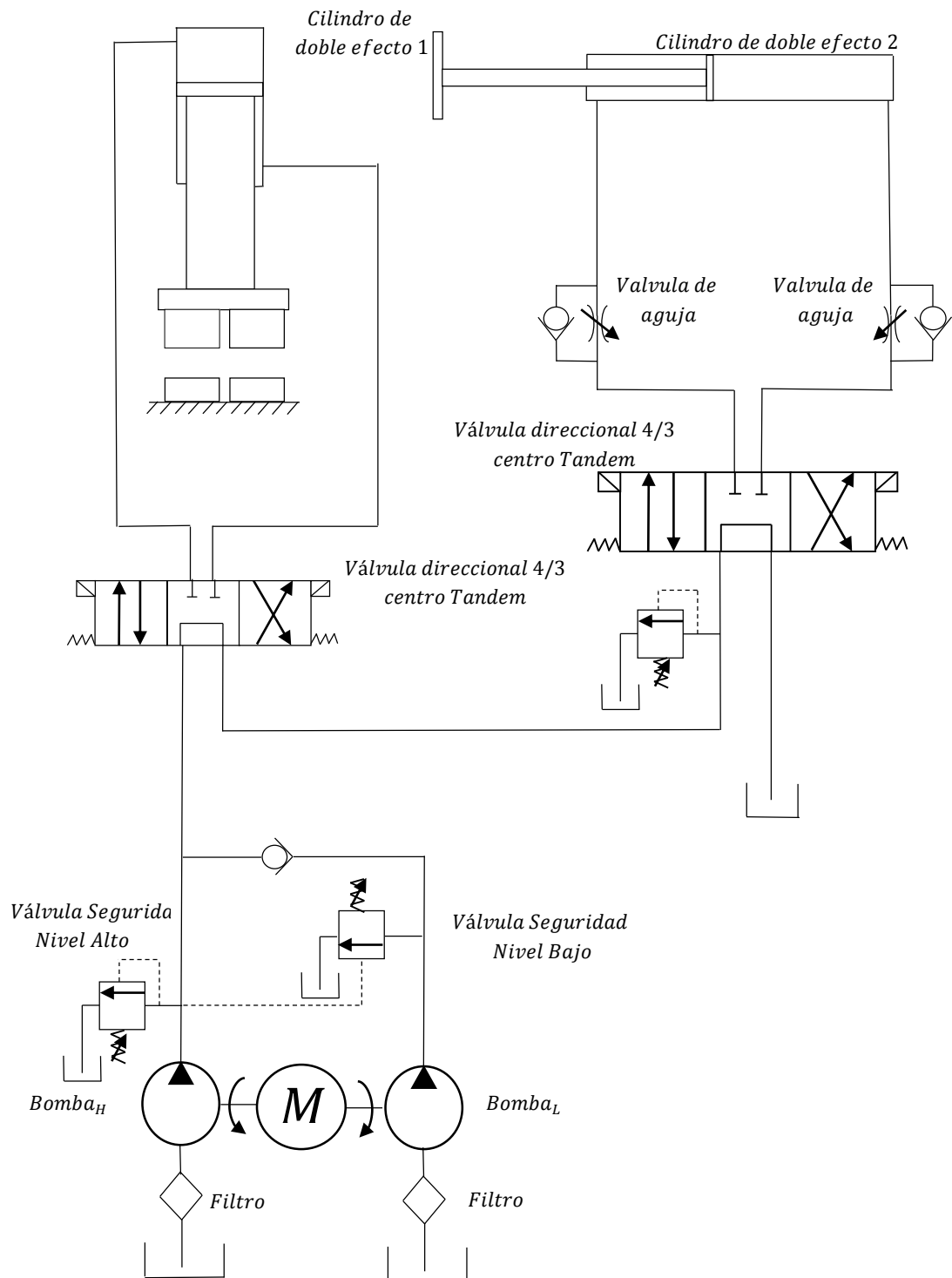
## 7.10 ELEMENTOS REQUERIDOS PARA EL SISTEMA HIDRÁULICO

Se seleccionaron los elementos mostrados en la **Tabla 8** con el costo de cada ítem.

**Tabla 8.** Elementos requeridos para el sistema hidráulico.

<b>Elementos</b>	<b>Costo</b>
<i>Motor Eléctrico 15[Hp]</i>	\$ 1.504.000,00
<i>Bomba de dos etapas-7-8[Gpm]-1800[rpm]-3500[psi]</i>	\$ 2.347.000,00
<i>1-Válvulas de Alivio-3/4"</i>	\$ 125.000,00
<i>Sistema de alta y baja-3/4"</i>	\$ 596.000,00
<i>Cilindro Principal-Pistón 6"-Vatago 3" – Carrera 400[mm]</i>	\$ 2.441.800,00
<i>Cilindro Secundario-Pistón 2"-Vatago 1" – Carrera 550[mm]</i>	\$ 642.640,00
<i>2- Válvulas Direccionales-Centro Tándem -Cetop 5-Solenoide 220[VAC]</i>	\$ 540.671,36
<i>2-Regidores de Caudal-3/4"</i>	\$ 195.200,00
<i>Otros Accesorios (Filtros, visores, manómetros, manguera, racores, etc.)</i>	\$ 1.000.000,00
<i>Tanque, Tablero de control, Estructura</i>	\$ 10.000.000,00
<b>TOTAL</b>	<b>\$ 19.392.311,36</b>

**Tabla 9.** Esquema del sistema hidráulico.



## 7.11 NORMALIZACIÓN DE MANGUERAS Y ACCESORIOS

El dimensionamiento de las mangueras y accesorios está condicionado por la velocidad del fluido en su interior, la cual se calcula de la siguiente manera:

$$v \left[ \frac{m}{s} \right] = \frac{1,273 * Q \left[ \frac{m^3}{s} \right]}{D^2 [m^2]}$$

Estas son las velocidades críticas recomendadas en sistemas de potencia fluida:

**Tabla 10.** Velocidades críticas en tuberías.

<i>Tipo de tubería</i>	<i>Velocidad [m/s]</i>
Tubería de presión	6
Tubería de succión	1,2
Tubería de retorno	3

Tenemos:

**Tabla 11.** Caudales en las etapas del sistema.

<i>Etapas</i>	<i>Caudal [Gpm]</i>
Caudal a baja presión	15
Caudal a alta presión	7
Aspiración bomba 1	8
Aspiración bomba 2	7

Diámetros normalizados:

**Tabla 12.** Diámetros normalizados.

<i>Tipo</i>	<i>Diámetro[in]</i>	<i>Diámetro[m]</i>
Tubería de presión	3/4"	0,01905
Tubería de retorno	7/8"	0,022225
Aspiración bomba 1	1"	0,0254
Aspiración bomba 2	7/8"	0,022225

## 7.12 ANÁLISIS DE PÉRDIDAS

Los objetivos del análisis de pérdidas es encontrar la fuerza de compactación final, la fuerza que puede hacer el cargador y el calor. Como bien sabemos no toda la energía es transformada en trabajo útil:

$$\dot{W} * \eta = \dot{W}_{util} + HP_{calor}$$

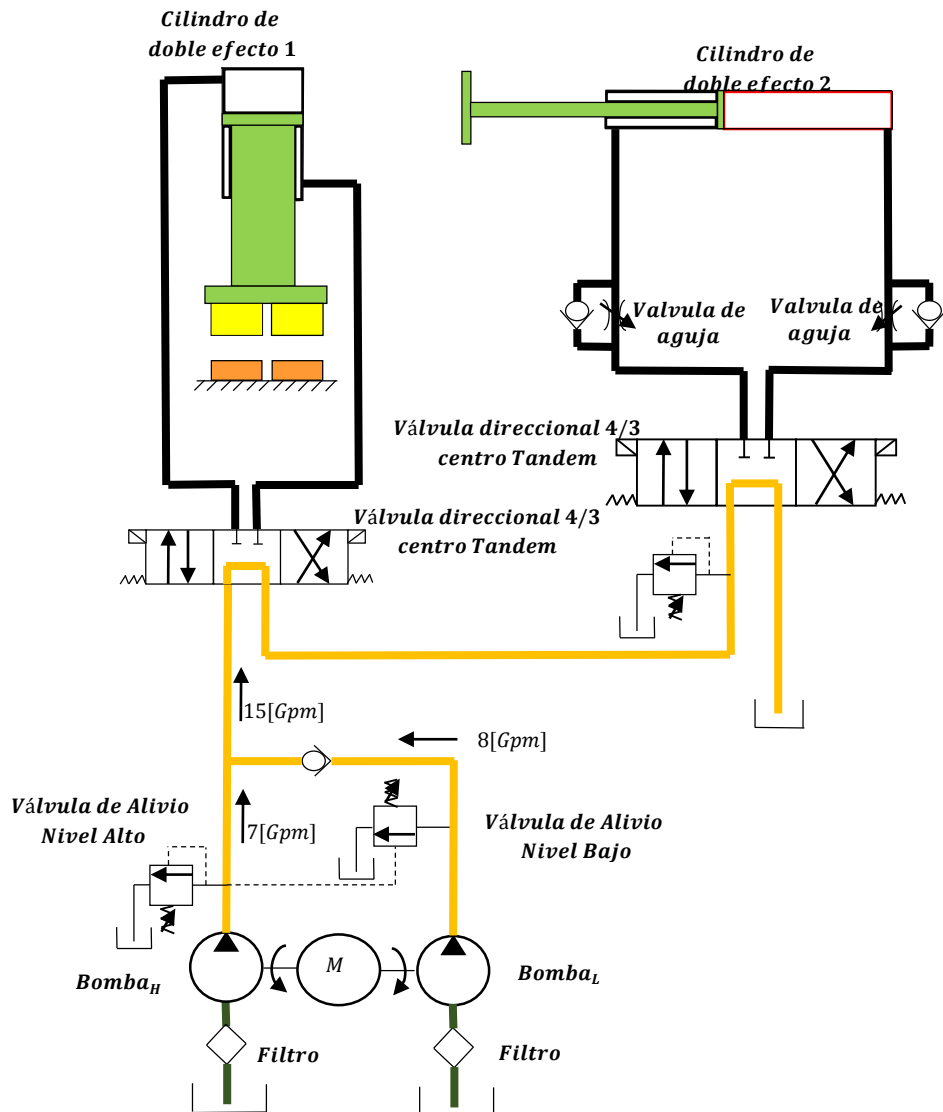
Parte de la potencia se transforma en calor debido a caídas de presión en válvulas y accesorios.

### 7.12.1 Venteo.

**Tabla 13.** Perdidas etapa de venteo.

<b>Bomba de baja</b>		
<b>Caída</b>	<b>Cantidad</b>	<b><math>\Delta P</math> [Psi]</b>
$\Delta P_{Cheque1/2"}$ (8 Gpm)	1	15
$\Delta P_{P-T}$ (15 Gpm)	2	80
$\Delta P_{Acoplamiento3/4"}$ (15 Gpm)	12	104,4
$\Delta P_{Acoplamiento1/2"}$ (8 Gpm)	8	92,8
<i>Total</i>		292,2
<b>Bomba de alta</b>		
$\Delta P_{P-T}$ (15 Gpm)	2	80
$\Delta P_{Acoplamiento3/4"}$ (15 Gpm)	12	104,4
$\Delta P_{Acoplamiento1/2"}$ (7 Gpm)	4	40
<i>Total</i>		224,4

Figura 47. Caudales etapa de venteo.



$$HP_{calor} = \frac{\dot{Q}_H * \Delta P_H + \dot{Q}_L * \Delta P_L}{1714}$$

$$HP_{calor} = \frac{7 * 224,4 + 8 * 292,2}{1714} = 2,28[Hp]$$

### 7.12.2 Descenso rápido.

Figura 48. DCL del cilindro etapa descenso rápido

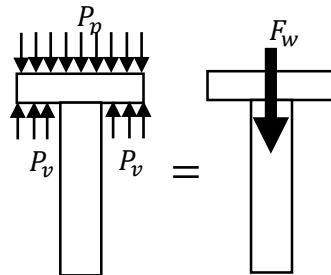
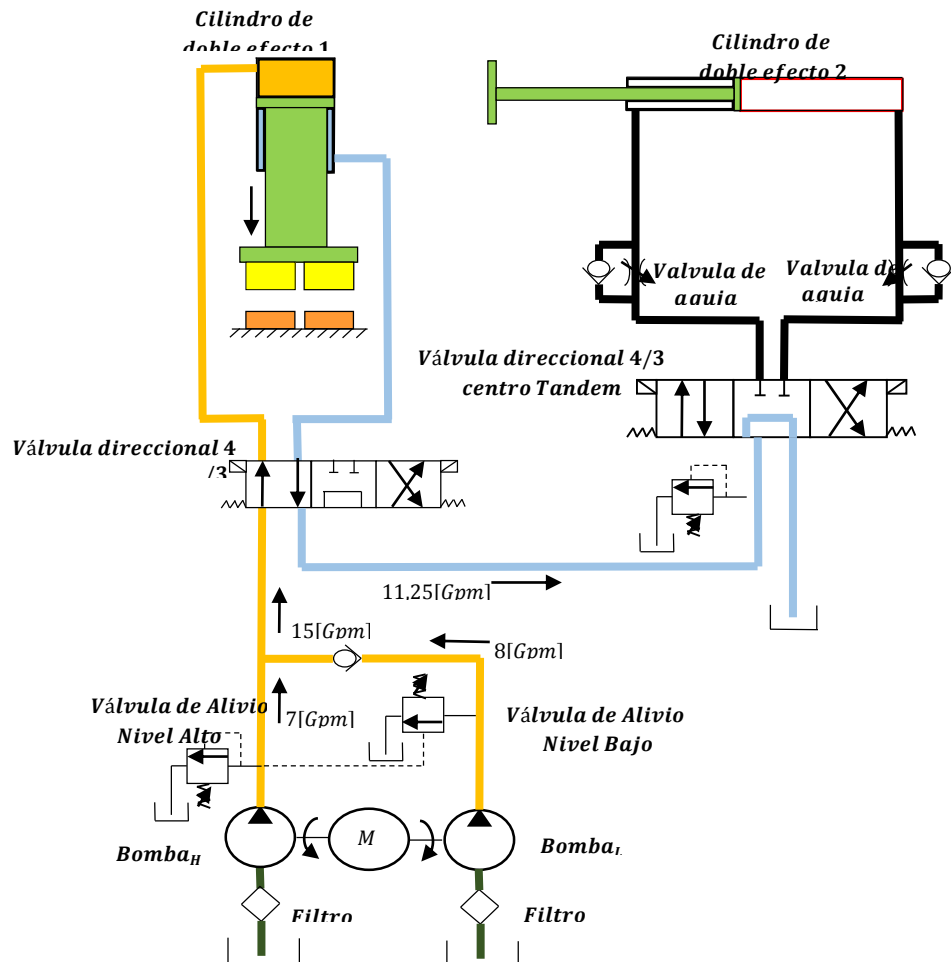


Figura 49. Caudales etapa de descenso rápido.



**Tabla 14.** Perdidas etapa de descenso rápido.

<b>Accesorios lado pistón</b>		
<b>Caída</b>	<b>Cantidad</b>	<b><math>\Delta P</math> [Psi]</b>
$\Delta P_{P-A}(15 \text{ Gpm})$	1	65
$\Delta P_{Acoplamiento 3/4"}(15 \text{ Gpm})$	4	34,8
$\Delta P_{Manguera 3/4"}(15 \text{ Gpm})$	1	17,02
<b>Total</b>		<b>116,82</b>
<b>Accesorios lado vástago</b>		
$\Delta P_{P-T}(11,25 \text{ Gpm})$	1	25
$\Delta P_{T-B}(11,25 \text{ Gpm})$	1	30
$\Delta P_{Acoplamiento 3/4"}(11,25 \text{ Gpm})$	12	87
$\Delta P_{Manguera 3/4"}(11,25 \text{ Gpm})$	1	12,67
<b>Total</b>		<b>154,67</b>
<b>Bomba de baja</b>		
<b>Caída</b>	<b>Cantidad</b>	<b><math>\Delta P</math> [Psi]</b>
$\Delta P_{Cheque 1/2"}(8 \text{ Gpm})$	1	15
$\Delta P_{Acoplamiento 1/2"}(8 \text{ Gpm})$	8	92,8
<b>Total</b>		<b>107,8</b>
<b>Bomba de alta</b>		
$\Delta P_{Acoplamiento 1/2"}(7 \text{ Gpm})$	4	40
<b>Total</b>		<b>40</b>

$$\dot{W} * \eta_{Tb} = \dot{W}_{\text{Descenso Rapido}} + HP_{\text{Calor}} = \frac{P_p * \dot{Q}}{1714} + \frac{\dot{Q}_H * \Delta P_H + \dot{Q}_L * \Delta P_L + \sum Q_i * \Delta P_i}{1714}$$

$$\begin{aligned} & \dot{W}_{\text{Descenso Rapido}} + HP_{\text{calor}} \\ &= \frac{P_p * 15[\text{Gpm}]}{1714} \\ &+ \frac{7[\text{Gpm}] * 40[\text{Psi}] + 8[\text{Gpm}] * 107,8[\text{Psi}] + 15[\text{Gpm}] * 116,82[\text{Psi}] + 11,25[\text{Gpm}] * 154,67[\text{Psi}]}{1714} \\ &= 15[\text{Hp}] * 0,828 \end{aligned}$$

$$\dot{W}_{\text{Descenso Rapido}} + HP_{\text{calor}} = \frac{P_p * 15[\text{Gpm}]}{1714} + 2,7[\text{Hp}] = 12,42[\text{Hp}]$$

$$P_p = 1110[\text{Psi}]$$

$$\begin{aligned} F_w &= P_p * A_p - P_v * A_a = 1110 \left[ \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} \right] * 28,17[\text{in}^2] - 154,67 \left[ \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} \right] * 21,2[\text{in}^2] \\ &= 27,990 * 10^3[\text{Lbf}] \left[ \frac{0,4536\text{kgf}}{\text{Lbf}} \right] = 12,7[\text{Ton}] \end{aligned}$$

### 7.12.3 Compactación a alta presión.

Figura 50. DCL del cilindro etapa de compactación a alta presión.

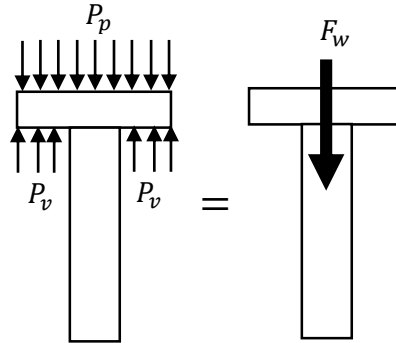
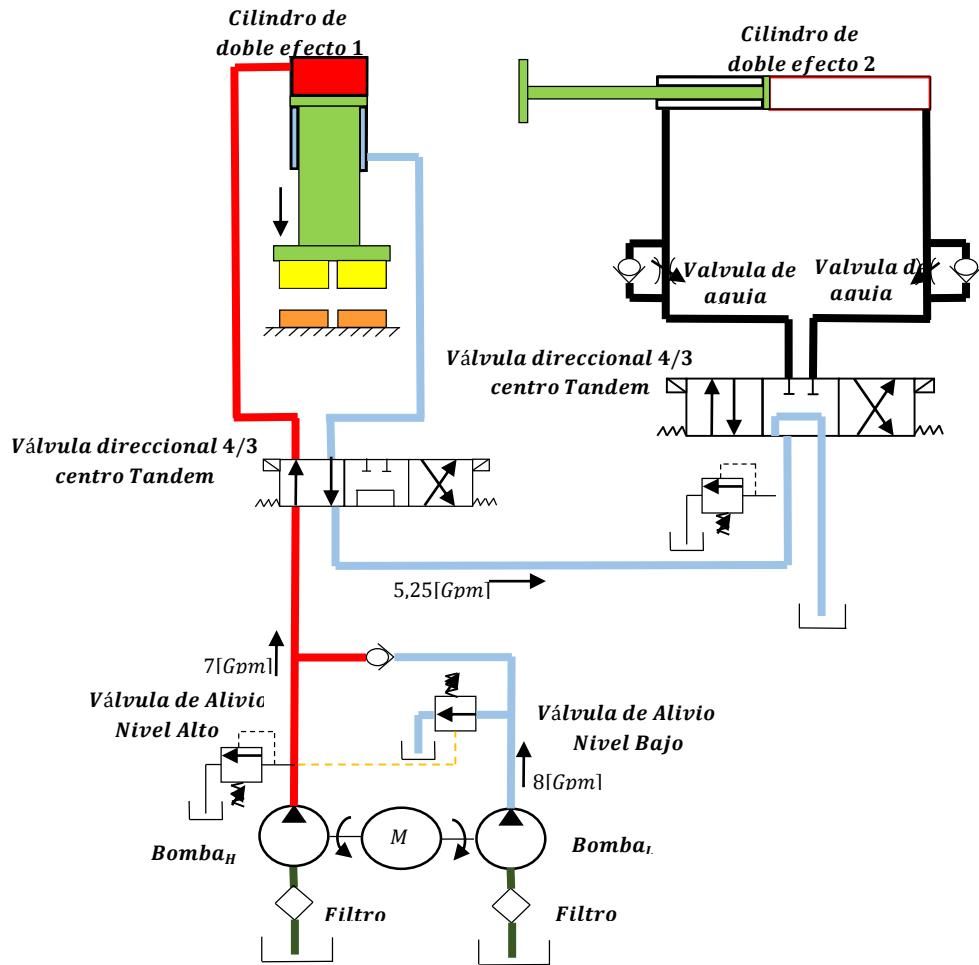


Figura 51. Caudales etapa de compactación a alta presión.



**Tabla 15.** Perdidas etapa de compactación a alta presión.

<b>Accesorios lado pistón</b>		
<b>Caída</b>	<b>Cantidad</b>	<b><math>\Delta P</math> [Psi]</b>
$\Delta P_{P-A}(7 \text{ Gpm})$	1	20
$\Delta P_{Acoplamiento3/4"}(7 \text{ Gpm})$	4	17,6
$\Delta P_{Manguera3/4"}(7 \text{ Gpm})$	1	7,93
<b>Total</b>		45,23
<b>Accesorios lado vástago</b>		
$\Delta P_{P-T}(5,25 \text{ Gpm})$	1	8
$\Delta P_{T-B}(5,25 \text{ Gpm})$	1	10
$\Delta P_{Acoplamiento3/4"}(5,25 \text{ Gpm})$	12	34,8
$\Delta P_{Manguera3/4"}(5,25 \text{ Gpm})$	1	5,95
<b>Total</b>		58,75
<b>Bomba de baja</b>		
$\Delta P_{Valvula \text{ Alivio}1/2"}(8 \text{ Gpm})$	1	87
$\Delta P_{Acoplamiento1/2"}(8 \text{ Gpm})$	8	92,8
<b>Total</b>		179,8
<b>Bomba de alta</b>		
$\Delta P_{Acoplamiento1/2"}(7 \text{ Gpm})$	4	40
<b>Total</b>		40

$$\dot{W} * \eta_{Tb} = \dot{W}_{Compactacion \ a \ alta \ Presion} + HP_{Calor} = \frac{P_p * \dot{Q}}{1714} + \frac{\dot{Q}_H * \Delta P_H + \dot{Q}_L * \Delta P_L + \sum Q_i * \Delta P_i}{1714}$$

$$\begin{aligned} & \dot{W}_{Compactacion \ a \ alta \ Presion} + HP_{calor} \\ &= \frac{P_p * 7[Gpm]}{1714} \\ &+ \frac{7[Gpm] * 40[Psi] + 8[Gpm] * 179,8[Psi] + 7[Gpm] * 45,23[Psi] + 5,25[Gpm] * 58,75[Psi]}{1714} \\ &= 15[Hp] * 0,828 \end{aligned}$$

$$\dot{W}_{Compactacion \ a \ alta \ Presion} + HP_{calor} = \frac{P_p * 7[Gpm]}{1714} + 1,37[Hp] = 12,42[Hp]$$

$$P_p = 2706[Psi]$$

$$\begin{aligned} F_w &= P_p * A_p - P_v * A_a = 2706 \left[ \frac{lbf}{in^2} \right] * 28,17[in^2] - 58,75 \left[ \frac{lbf}{in^2} \right] * 21,2[in^2] \\ &= 74,990 * 10^3 [Lbf] \left[ \frac{0,4536kgf}{Lbf} \right] = 34[Ton] \end{aligned}$$

### 7.12.4 Desmoldado.

Figura 52. DCL cilindro etapa de desmoldado.

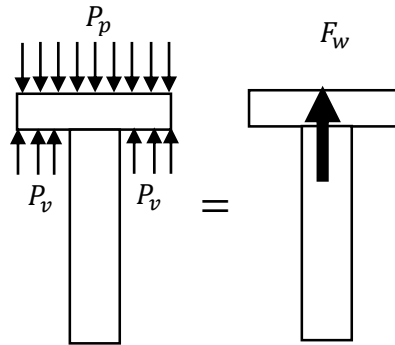
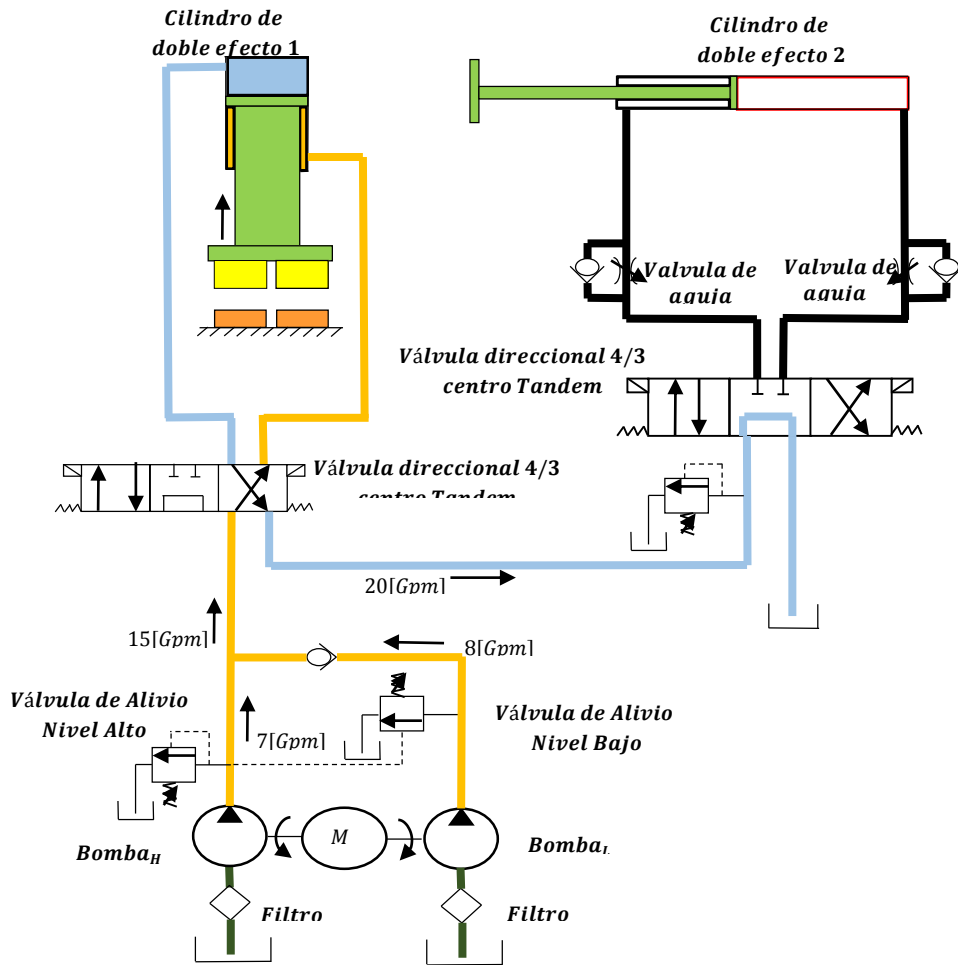


Figura 53. Caudales etapa de desmoldado.



**Figura 54.** Perdidas etapa de desmoldado.

<b>Accesorios lado pistón</b>		
<b>Caída</b>	<b>Cantidad</b>	<b><math>\Delta P</math> [Psi]</b>
$\Delta P_{P-T}(20 \text{ Gpm})$	1	70
$\Delta P_{T-B}(20 \text{ Gpm})$	1	85
$\Delta P_{Acoplamiento 3/4"}(20 \text{ Gpm})$	12	174
$\Delta P_{Manguera 3/4"}(20 \text{ Gpm})$	1	22,66
<b>Total</b>		351,66
<b>Accesorios lado vástago</b>		
$\Delta P_{P-A}(15 \text{ Gpm})$	1	65
$\Delta P_{Acoplamiento 3/4"}(15 \text{ Gpm})$	4	34,8
$\Delta P_{Manguera 3/4"}(15 \text{ Gpm})$	1	17,02
<b>Total</b>		116,82
<b>Bomba de baja</b>		
$\Delta P_{Cheque 1/2"}(8 \text{ Gpm})$	1	15
$\Delta P_{Acoplamiento 1/2"}(8 \text{ Gpm})$	8	92,8
<b>Total</b>		107,8
<b>Bomba de alta</b>		
$\Delta P_{Acoplamiento 1/2"}(7 \text{ Gpm})$	4	40
<b>Total</b>		40

$$\dot{W} * \eta_{Tb} = \dot{W}_{Desmoldado} + HP_{calor} = \frac{P_v * \dot{Q}}{1714} + \frac{\dot{Q}_H * \Delta P_H + \dot{Q}_L * \Delta P_L + \sum Q_i * \Delta P_i}{1714}$$

$$\begin{aligned} & \frac{\dot{W}_{Desmoldado} + HP_{calor}}{P_v * 15[\text{Gpm}]} \\ &= \frac{1714}{1714} \\ &+ \frac{7[\text{Gpm}] * 40[\text{Psi}] + 8[\text{Gpm}] * 107,8[\text{Psi}] + 15[\text{Gpm}] * 116,82[\text{Psi}] + 20[\text{Gpm}] * 351,66[\text{Psi}]}{1714} \\ &= 15[\text{Hp}] * 0,828 \end{aligned}$$

$$\dot{W}_{Desmoldado} + HP_{calor} = \frac{P_v * 15[\text{Gpm}]}{1714} + 5,79[\text{Hp}] = 12,42[\text{Hp}]$$

$$P_v = 757,3[\text{Psi}]$$

$$\begin{aligned} F_w &= P_v * A_a - P_p * A_p = 757,3 \left[ \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} \right] * 21,2[\text{in}^2] - 351,66 \left[ \frac{\text{lb}_f}{\text{in}^2} \right] * 28,17[\text{in}^2] \\ &= 6,150 * 10^3 [\text{Lbf}] \left[ \frac{0,4536 \text{kgf}}{\text{Lbf}} \right] = 2,78[\text{Ton}] \end{aligned}$$

7.12.5 Vaciado de la masa de arcilla y aglomerantes y descargue de bloques.

Figura 55. DCL cilindro secundario etapa de vaciado de la masa de arcilla.

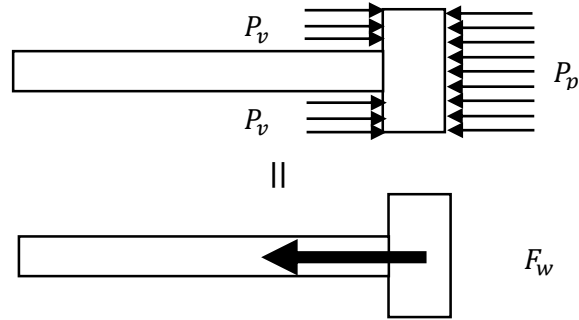
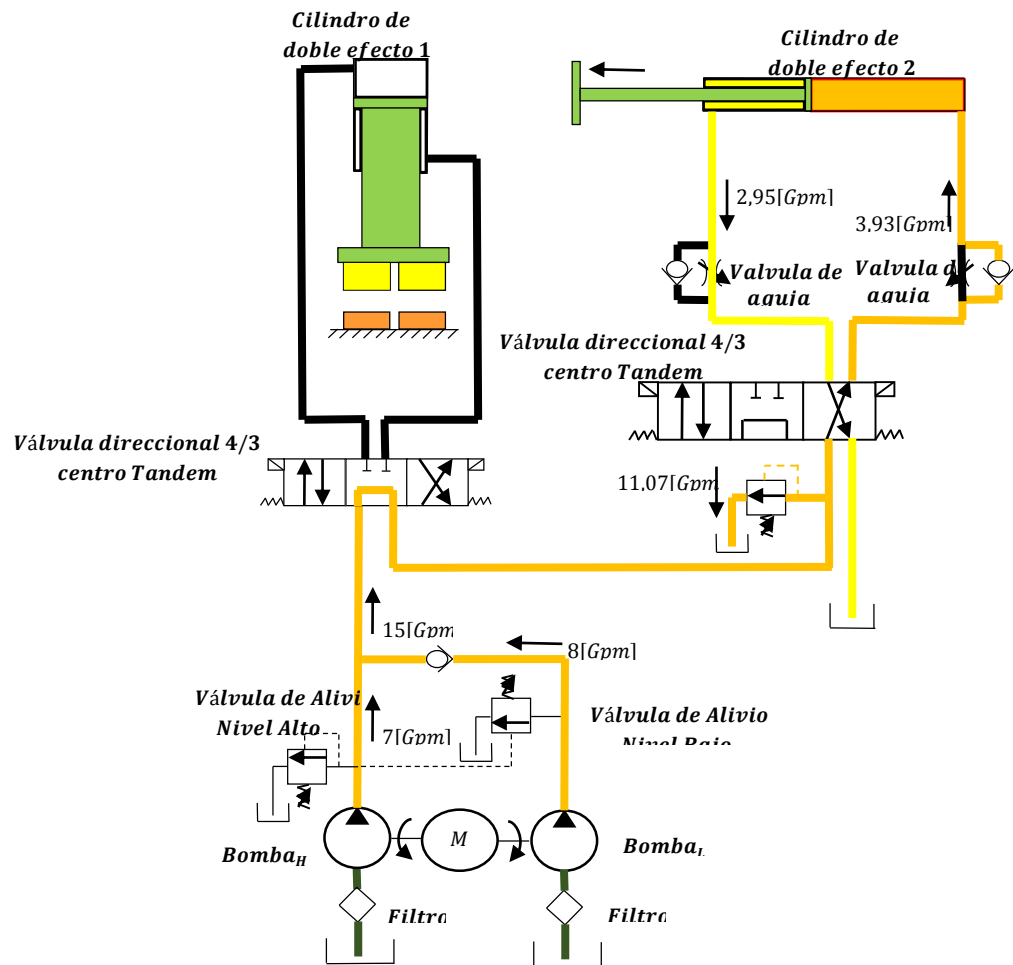


Figura 56. Caudales etapa de vaciado de la masa de arcilla.



**Tabla 16.** Perdidas etapa de vaciado de la masa de arcilla.

<b>Accesorios lado pistón</b>		
<b>Caída</b>	<b>Cantidad</b>	<b><math>\Delta P</math> [Psi]</b>
$\Delta P_{P-T}(15 \text{ Gpm})$	1	40
$\Delta P_{P-B}(3,93 \text{ Gpm})$	1	5
$\Delta P_{\text{Valvula Alivio } 1/2''}(11,07 \text{ Gpm})$	1	320
$\Delta P_{\text{Acoplamiento } 3/4''}(15 \text{ Gpm})$	8	69,6
$\Delta P_{\text{Acoplamiento } 3/4''}(3,93 \text{ Gpm})$	2	2,8
$\Delta P_{\text{Acoplamiento } 1/2''}(3,93 \text{ Gpm})$	3	3,625
$\Delta P_{\text{Acoplamiento } 1/4''}(3,93 \text{ Gpm})$	1	5,8
$\Delta P_{\text{Cheque } 1/2''}(3,93 \text{ Gpm})$	1	11,6
$\Delta P_{\text{Manguera } 1/2''}(3,93 \text{ Gpm})$	1	16,9
<b>Accesorios lado vástago</b>		
$\Delta P_{B-T}(2,95 \text{ Gpm})$	1	2
$\Delta P_{\text{Acoplamiento } 3/4''}(2,95 \text{ Gpm})$	2	2
$\Delta P_{\text{Acoplamiento } 1/2''}(2,95 \text{ Gpm})$	3	8,7
$\Delta P_{\text{Acoplamiento } 1/4''}(2,95 \text{ Gpm})$	1	5
$\Delta P_{\text{Valvula de Aguja } (2,95 \text{ Gpm})}$	1	$\Delta P_{\text{aguja}}$
$\Delta P_{\text{Manguera } 1/2''}(2,95 \text{ Gpm})$	1	12,675
<b>Total</b>		$\Delta P_{\text{aguja}} + 30,375$
<b>Bomba de baja</b>		
$\Delta P_{\text{Valvula Alivio } 1/2''}(8 \text{ Gpm})$	1	87
$\Delta P_{\text{Acoplamiento } 1/2''}(8 \text{ Gpm})$	8	92,8
<b>Total</b>		179,8
<b>Bomba de alta</b>		
$\Delta P_{\text{Acoplamiento } 1/2''}(7 \text{ Gpm})$	4	40
<b>Total</b>		40

$$P_p = \Delta P_{\text{Valvula de Alivio}} - \Delta P_{\text{Acoplamiento } 3/4''} - \Delta P_{P-B} - \Delta P_{\text{Acoplamiento } 1/2''} - \Delta P_{\text{Acoplamiento } 1/4''} - \Delta P_{\text{Cheque } 1/2''} - \Delta P_{\text{Manguera } 1/2''}$$

$$P_p = 320 - 2,8 - 5 - 3,625 - 5,8 - 11,6 - 16,9 = 274,275[\text{Psi}]$$

$$P_v = (\Delta P_{\text{Aguja}} + 30,375)[\text{Psi}]$$

$$F_w = P_p * A_p - P_v * A_a = 100[\text{Kgf}] * \left[ \frac{\text{lbf}}{0,4536\text{Kgf}} \right] = 220,5[\text{lbf}]$$

$$P_p * A_p - P_v * A_a = 220,5[\text{lbf}]$$

$$274,275 * 3,1416 - (\Delta P_{\text{Aguja}} + 30,375) * 2,356 = 220,5$$

$$641,6 = (\Delta P_{Aguja} + 30,375) * 2,356$$

$$\Delta P_{Aguja} = 241,8 [Psi]$$

$$HP_{Calor} = \frac{\dot{Q}_H * \Delta P_H + \dot{Q}_L * \Delta P_L + \sum Q_i * \Delta P_i}{1714}$$

$$= (7[Gpm] * 40[Psi] + 8[Gpm] * 179,8[Psi] + 2,95[Gpm] * 272,2[Psi] + 15[Gpm] * 109,6[Psi] + 11,07[Gpm] * 320[Psi] + 3,93[Gpm] * 45,725[Psi]) / 1714$$

$$HP_{Calor} = 4,6 [Hp]$$

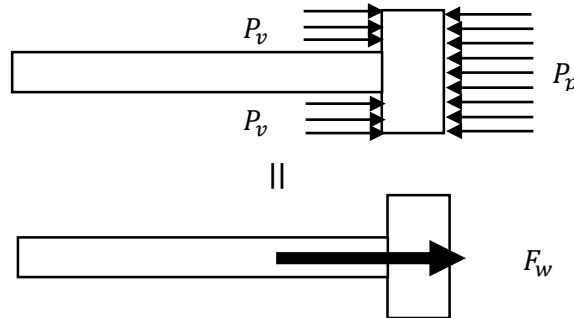
$$\dot{W}_{Vaciado} = \frac{274,275 * 3,93 [Gpm]}{1714} = 0,629 [Hp]$$

$$\dot{W} * \eta_{Tb} = \dot{W}_{Vaciado} + HP_{Calor} = 0,629 + 4,6 = 4,59 [Hp]$$

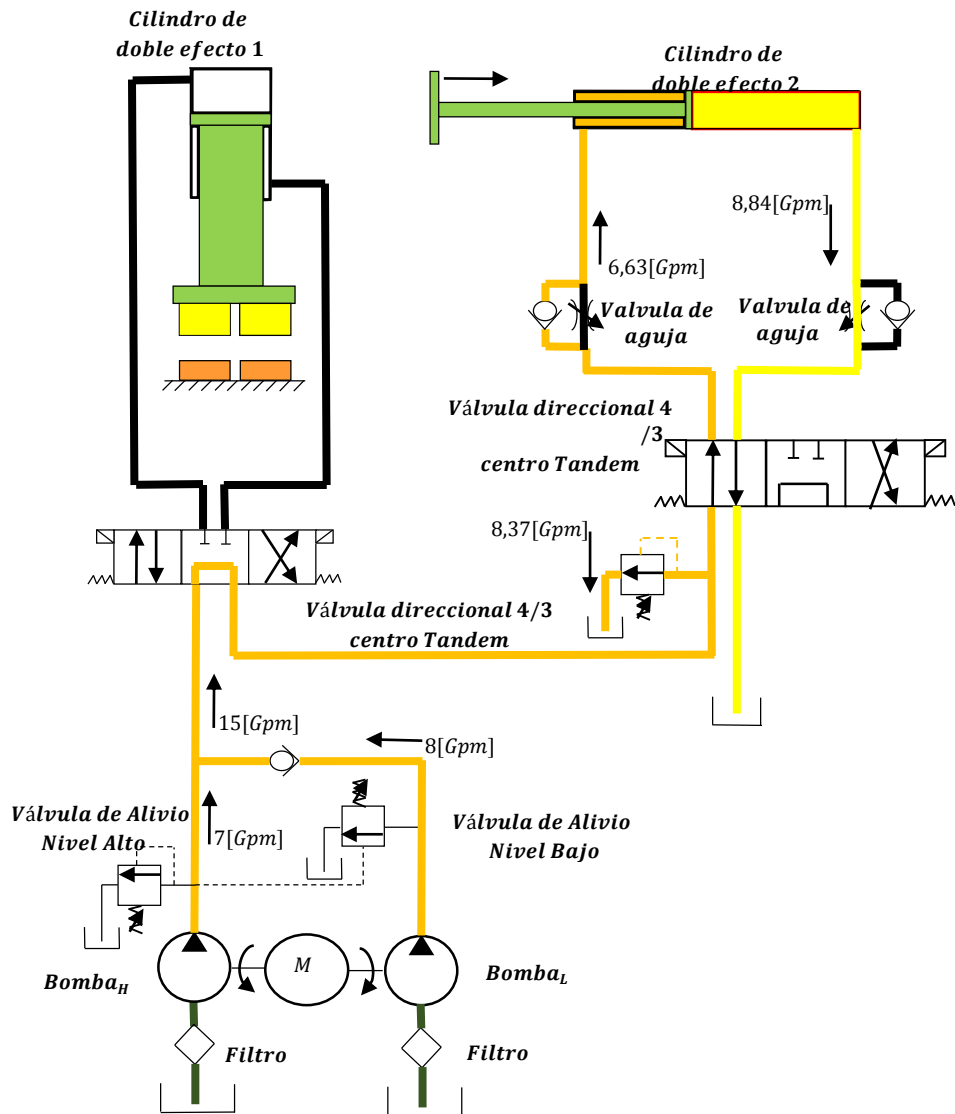
$$\dot{W} = \frac{\dot{W}_{Vaciado} + HP_{Calor}}{\eta_{Tb}} = \frac{4,59}{0,828} = 6,3 [Hp]$$

### 7.12.6 Retracción del cargador.

**Figura 57.** DCL cilindro secundario etapa de retracción del cargador.



**Figura 58.** Caudales etapa de retracción del cargador.



**Tabla 17.** Perdidas etapa de retracción del cargador.

Accesorios lado Vástago		
Caída	Cantidad	$\Delta P$ [Psi]
$\Delta P_{P-T}$ (15 Gpm)	1	40
$\Delta P_{P-B}$ (6,63 Gpm)	1	18
$\Delta P_{Valvula\ Alivio\ 1/2''}$ (8,37 Gpm)	1	320
$\Delta P_{Acoplamiento\ 3/4''}$ (15 Gpm)	8	69,6
$\Delta P_{Acoplamiento\ 3/4''}$ (6,63 Gpm)	2	7,2

$\Delta P_{Aco\text{plamieto}1/2''}(6,63 \text{ Gpm})$	3	23,94
$\Delta P_{Aco\text{plamieto}1/4''}(6,63 \text{ Gpm})$	1	11,6
$\Delta P_{Cheque}1/2''(6,63 \text{ Gpm})$	1	13
$\Delta P_{Manguera}1/2''(6,63 \text{ Gpm})$	1	28,515
<b>Accesorios lado pistón</b>		
$\Delta P_{B-T}(8,84 \text{ Gpm})$	1	23
$\Delta P_{Aco\text{plamieto}3/4''}(8,84 \text{ Gpm})$	2	11,6
$\Delta P_{Aco\text{plamieto}1/2''}(8,84 \text{ Gpm})$	3	26,1
$\Delta P_{Aco\text{plamieto}1/4''}(8,84 \text{ Gpm})$	1	14,5
$\Delta P_{Valvula \text{ de Aguja}}(8,84 \text{ Gpm})$	1	$\Delta P_{aguja}$
$\Delta P_{Manguera}1/2''(8,84 \text{ Gpm})$	1	38,025
Total		$\Delta P_{aguja} + 113,23$
<b>Bomba de baja</b>		
$\Delta P_{Valvula \text{ Alivio}1/2''}(8 \text{ Gpm})$	1	87
$\Delta P_{Aco\text{plamieto}1/2''}(8 \text{ Gpm})$	8	92,8
Total		179,8
<b>Bomba de alta</b>		
$\Delta P_{Aco\text{plamieto}1/2''}(7 \text{ Gpm})$	4	40
Total		40

$$P_v = \Delta P_{Valvula \text{ de Alivio}} - \Delta P_{Aco\text{plamietos}3/4''} - \Delta P_{P-B} - \Delta P_{Aco\text{plamietos}1/2''} - \Delta P_{Aco\text{plamietos}1/4''} - \Delta P_{Cheque}1/2'' - \Delta P_{Manguera}1/2''$$

$$P_v = 320 - 7,2 - 18 - 23,4 - 11,6 - 13 - 28,515 = 218,285[\text{Psi}]$$

$$P_p = (\Delta P_{Aguja} + 113,23)[\text{Psi}]$$

$$F_w = P_v * A_a - P_p * A_p = 50[\text{Kgf}] * \left[ \frac{\text{lb}f}{0,4536\text{Kgf}} \right] = 110,25[\text{lb}f]$$

$$P_v * A_a - P_p * A_p = 220,5[\text{lb}f]$$

$$218,285 * 2,356 - (\Delta P_{Aguja} + 113,23) * 3,1416 = 110,25$$

$$404,03 = (\Delta P_{Aguja} + 113,23) * 3,1416$$

$$\Delta P_{Aguja} = 15,38[\text{Psi}]$$

$$HP_{Calor} = \frac{\dot{Q}_H * \Delta P_H + \dot{Q}_L * \Delta P_L + \sum Q_i * \Delta P_i}{1714}$$

$$= (7[Gpm] * 40[Psi] + 8[Gpm] * 179,8[Psi] + 6,63[Gpm] * 102,23[Psi] + 15[Gpm] * 109,6[Psi] + 8,37[Gpm] * 320[Psi] + 8,84[Gpm] * 128,61[Psi])/1714$$

$$HP_{Calor} = 4,58[Hp]$$

$$\dot{W}_{Retraccion} = \frac{218,285 * 6,63[Gpm]}{1714} = 0,844[Hp]$$

$$\dot{W} * \eta_{Tb} = \dot{W}_{Retraccion} + HP_{Calor} = 0,844 + 4,58 = 5,424[Hp]$$

$$\dot{W} = \frac{\dot{W}_{Vaciado} + HP_{Calor}}{\eta_{Tb}} = \frac{4,59}{0,828} = 6,55[Hp]$$

**Tabla 18.** Trabajo útil y calor generado por etapa.

<i>Etapa</i>	$\dot{W}_{Total}[Hp]$	$\dot{W}_{Util}[Hp]$	$HP_{Calor}[Hp]$	$\dot{W}_{Ineficiencias}[Hp]$
Venteo	2,75	0	2,28	0,47
Descenso rápido	15	9,72	2,7	2,58
Compactación a alta presión	15	11,05	1,37	2,58
Desmoldado	15	6,63	5,79	2,58
Vaciado de la masa de arcilla y aglomerantes y descargue de bloques	6,3	0,629	4,6	1,0862
Retracción del cargador	6,55	0,844	4,58	1,126

Como se mostró anteriormente el sistema opera en tres niveles de presión cuyos tarajes se hallan a continuación:

**a)** Compactación a alta presión:

$$P_{Taraje\ de\ Alta} = P_p + \Delta P_H + \Delta P_{Accesorios\ Lado\ Piston} = 2706[Psi] + 40[Psi] + 45,23[Psi]$$

$$= 2791,23[Psi]$$

**b)** Descenso rápido y desmoldado:

$$P_{Bomba\ Descenso} = P_p + \Delta P_L + \Delta P_{Accesorios\ Lado\ Piston}$$

$$= 1110[Psi] + 107,8[Psi] + 116,82[Psi] = 1334,62[Psi]$$

$$\begin{aligned}
 P_{Bomba\ Desmoldado} &= P_V + \Delta P_L + \Delta P_{Accesorios\ Lado\ Vastago} \\
 &= 757,3[Psi] + 107,8[Psi] + 116,82[Psi] = 981,92[Psi] \\
 P_{Taraje\ de\ Baja} &= 1334,62[Psi]
 \end{aligned}$$

c) Vaciado de la masa de arcilla y aglomerantes y descargue de bloques:

$$P_{Taraje\ de\ Vaciado} = 320[Psi]$$

### 7.13 DIMENSIONAMIENTO DEL TANQUE

El calor generado debido a las irreversibilidades del sistema hidráulico es ganado por el aceite hidráulico, por recomendaciones de los fabricantes el aceite no debe superar 55°C por lo tal un sobrecalentamiento debe disiparse por las paredes del tanque y de ser necesario la implementación de un sistema de refrigeración.

El calor generado es igual a la suma de la energía en calor ganada en cada etapa sobre el tiempo del ciclo:

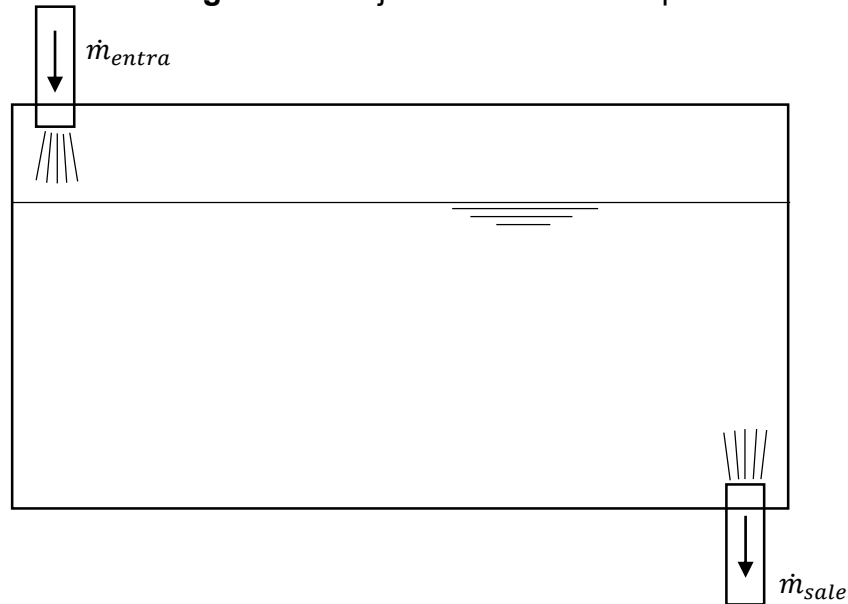
$$\dot{q}_{generado} = \frac{\dot{W}_1 * t_1 + \dot{W}_2 * t_2 + \dot{W}_3 * t_3 + \dots \dot{W}_n * t_n}{t_{ciclo}}$$

**Tabla 19.** Calor cedido al aceite por etapa.

<b>Etapa</b>	<b>HP<sub>Calor</sub> [Hp]</b>	<b>Factor de Peso</b>	<b>HP<sub>Calor</sub> * FP</b>
Descenso rápido	2,7	0,272	0,7344
Compactación a baja presión	2,7	0,0383	0,10341
Compactación a alta presión	1,37	0,112	0,15344
Desmoldado	5,79	0,272	1,57488
Vaciado de la masa de arcilla y aglomerantes y descargue de bloques	4,6	0,212	0,9752
Retracción del cargador	4,58	0,094	0,43052
GENERACIÓN DE CALOR			3,97[Hp]

$$Factor\ de\ peso = \frac{t_{etapa}[s]}{t_{ciclo}[s]}$$

**Figura 59.** Flujos másicos del tanque.



De la primera ley de la termodinámica se tiene:

$$-\dot{q}_{sale} + \dot{m}_{entra} * C_p * T_i - \dot{m}_{sale} * C_p * T_o = \Delta u [W]$$

$$\Delta u = 0 \text{ [Estado estable]}$$

$$U * A * (T_f - T_a) = \dot{m}_{entra} * C_p * (T_i - T_o)$$

$$\dot{m} = \dot{Q} * \rho \left[ \frac{Kg}{s} \right]$$

$$C_p = 2000 \left[ \frac{J}{Kg * ^\circ C} \right]$$

De la transferencia de calor por convección y conducción se tiene:

$$\dot{q}_{sale} = U * A * (T_f - T_a) [W]$$

$$T_f = \frac{(T_i + T_o)}{2} = 55 [^\circ C]$$

$$U = \frac{1}{\frac{1}{h} + \frac{l}{K}} \left[ \frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right]$$

$$h = 25 \left[ \frac{W}{m^2 * ^\circ C} \right] \text{ Coeficiente de transferencia de Calor por convección natural}$$

$$k = 50 \left[ \frac{W}{m * ^\circ C} \right] \text{ Conductividad Térmica}$$

$$l = 0,003175[m] \text{Espesor de lamina}$$

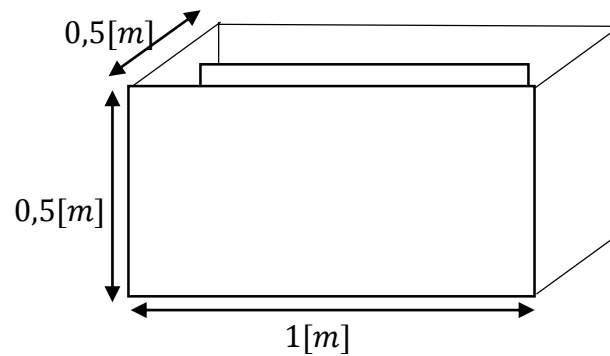
$$\dot{q}_{sale} = \frac{\dot{q}_{generado}}{2} = 1840[W]$$

Se supone que la mitad del calor generado es disipado a través del cuerpo de la bomba, válvulas, mangueras y demás accesorios, la otra mitad es transferida desde el tanque al ambiente.

$$A = \frac{\dot{q}_{sale}}{U * (T_f - T_a)}$$

$$A = 1,977 [m^2]$$

**Figura 60.** Dimensiones del tanque.



El tanque construido, consta de dos caras de  $0,25 [m^2]$  y tres de  $0,5[m^2]$  para un total de  $2[m^2]$ , con un volumen de  $66[Gal]$  y una capacidad aproximadamente de  $60 [Gal]$  considerando que el 10% del espacio es aire, con lo cual también se cumple el criterio que el tanque debe ser de 2-3 veces el caudal nominal de la bomba es decir  $V = [2 - 3] * Q = 3 * 15 = 45[Gal]$  .

## 8. DISEÑO Y SELECCIÓN DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL

La automatización se llevara a cabo por medio de un PLC, el cual tendrá que realizar el arranque del motor, una rutina manual y una rutina automática, además de las acciones que desempeñe una parada de emergencia. Dichas funciones deben ser programadas en el PLC, por lo cual es necesario describir cada una de ellas, con sus requisitos y condiciones, para posteriormente usar una herramienta denominada Grafcet, que permite desarrollar la programación de cualquier PLC de una manera estructurada y simplificada.

Es necesario tener en cuenta que un PLC es un dispositivo de control, y que entre la parte de potencia y la parte de control debe haber dispositivos intermediarios o preactuadores, que juegan un papel importante en el momento de la selección tanto del PLC como de los demás aparatos de maniobra.

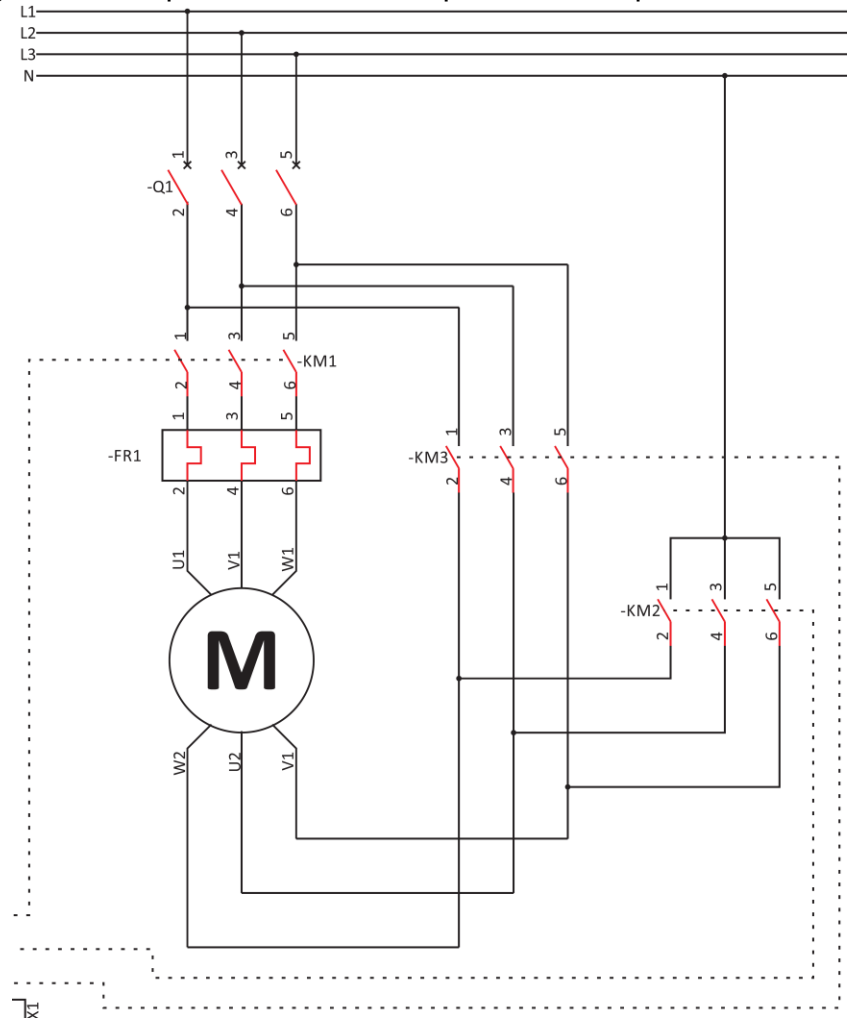
### 8.1 FUNCIONES

**8.1.1 Energización del tablero de control.** Implica energizar el PLC, estos se hace a través de un interruptor termomagnético de 3 [A].

**8.1.2 Arrancar el motor.** Dado que el motor requerido es de 15 [Hp] la corriente de arranque es demasiado alta si se efectúa un arranque directo. Existen varias formas de arrancar un motor pero por razones económicas se usará un arranque estrella-triángulo. El principio consiste en arrancar el motor acoplando los devanados en estrella a la tensión de la red, la corriente de arranque es reducida a 1/3 del valor que alcanzaría en el arranque directo, la velocidad del motor se estabiliza cuando se equilibran el par del motor y el par resistente, normalmente entre el 75 y 85% de la velocidad nominal, en ese momento, los devanados se acoplan en triángulo y el motor rinde según sus características naturales. Un temporizador es el encargado de realizar la transición de estrella a triángulo, el cierre del contacto de triángulo se produce con un retardo de 30 a 50 milisegundos, tras la apertura del contacto de estrella, lo que evita un corto circuito entre fases al no poder encontrarse ambos cerrados al mismo tiempo. Para dicho arranque se utilizaron 2 contactores CHINT de 50 [A] para la conexión en triángulo y un contactor

CHINT de 40 [A] para la conexión en estrella. Dichos contactores son activados por el PLC a través de relés de 8 pines. El interruptor termomagnético seleccionado es CHINT de 3X63 [A] y el relé térmico de 17-25 [A] CHINT. El esquema se puede ver en la **Figura 61**. En resumen se requiere 3 salidas del PLC a relé para maniobrar los contactores y un pulsador para dar paso al arranque del motor.

**Figura 61.** Esquema de conexión para el arranque estrella-triángulo



**8.1.3 Selección de modo.** Una vez se ha arrancado el motor se puede seleccionar el modo de trabajo de la máquina, el cual puede ser manual o automático. El selector es de dos posiciones, lo que implica dos entradas al PLC. Si se cambia el selector

de cualquier modo, deberá llevar la máquina a la posición inicial. Se asignan las siguientes convenciones usadas en el Grafcet para simplificar:

**Tabla 20.** Nomenclatura empleada para la estructuración del programa.

Convención	Significado	Convención	Significado
FCS	Final de carrera superior	PP	Pulsador de pausa
FCI	Final de carrera inferior	PEM	Parada de emergencia
FCP	Final de carrera posterior	Aut y Man	Aut (automático) y Man (Manual)
FCF	Final de carrera frontal	A1+	Descenso matrices
PD	Pulsador descenso	B1+	Ascenso matrices
PAs	Pulsador ascenso	A2+	Retroceso cargador
PAt	Pulsador atrás	B2+	Avance cargador
PAd	Pulsador adelante	K1	Relé de línea
PM	Pulsador arranque motor	K2	Relé estrella
PI	Pulsador de inicio de ciclo	K3	Relé triángulo

**8.1.3.1 Manual.** Se puede operar la máquina manualmente a través de pulsadores que energizan los solenoides de las electroválvulas. Por seguridad los movimientos del cargador y de la bancada de prensado son restringidos ante cada movimiento para evitar choques y por tanto daño de las partes móviles. Cada acción debe cumplir con condiciones para poder efectuarse, dichas condiciones son:

**Tabla 21.** Condiciones necesarias para energizar los solenoides.

	Cargado adelante (B2+)	Cargado atrás (A2+)	Prensado (A1+)	Ascenso (A2+)
Condiciones	PAd	PAt	PD	PAs
	FCS	FCS	FCP	FCP
	$\overline{FCF}$	$\overline{FCP}$	$\overline{FCI}$	$\overline{FCS}$
	$\overline{PAs}$	$\overline{PAs}$	$\overline{PAd}$	$\overline{PAd}$
	$\overline{PD}$	$\overline{PD}$	$\overline{PAt}$	$\overline{PAt}$
	$\overline{PAt}$	$\overline{PAd}$	$\overline{PAs}$	$\overline{PAd}$

Para el funcionamiento se requiere entonces de 4 pulsadores, 4 finales de carrera y 4 relés que comandan las bobinas de las electroválvulas.

**8.1.3.2 Automático.** Permite la operación automática de máquina. Se dispone de un pulsador para iniciar la operación (PI) y otro para pausarla (PP, permitiendo pasar al estado manual), que son los mismos de cargue y descargue. Luego de pausar la máquina es posible continuar con la operación pulsando de nuevo el botón de inicio. Como condiciones se establece que los pulsadores de cargue y prensado no desarrollen ninguna acción; el prensado debe tener una duración de 1 segundo (luego de alcanzar el FCI). La secuencia requerida es la siguiente:

Cargue (B2+)

Retroceso (A2+)

Descenso (A1+)

Prensado: duración de 1 segundo luego de alcanzar el FCI.

Ascenso (B1+)

**8.1.4 Parada de emergencia.** Cuando se oprima la parada de emergencia el sistema deberá detenerse, y desenergizar el motor. Al retirar la parada de emergencia se debe oprimir el botón de arranque del motor para volver a operar la máquina.

## 8.2 ELEMENTOS REQUERIDOS PARA EL SISTEMA DE CONTROL

Los elementos necesarios se enlistan en la siguiente tabla. El plano general del sistema eléctrico y de control se encuentra en el Anexo D.

**Tabla 22.** Elementos requeridos para el sistema de control.

	Ítem	Cantidad	Observaciones
Entradas	Pulsadores	7	De 220 VAC
	Final de carrera	4	De 220 VAC
	Selector de modo	1	De 220 VAC
	Parada de emergencia	1	De 220 VAC
Salidas	Relé	7	De 220 VAC
	Contactador	2	CHINT de 50[A]
	Contactador	1	CHINT de 40[A]
	Pilotos	5	De 220 VAC
Otros	Cofre	1	
	Totalizador principal	1	CHINT de 3X63[A]
	Relé térmico	1	CHINT de 17-25 [A]
	PLC	1	Por lo menos 12 entradas y 7 salidas

Como resultado se requiere un PLC que disponga de 12 entradas y 7 salidas. Hay un muchos PLC de gama baja que cumplen con estas características, por costos el PLC seleccionado es una MiniPLC Array SR22-MRAC, el cual tiene 14 entradas y 8 salidas a relé, con una tensión de alimentación de 110-220 VAC, cuyo lenguaje de programación es de diagrama de bloques funcionales, con una capacidad de 128 bloques.

## 8.3 PROGRAMACIÓN DEL PLC.

El programa se diseña primero en Grafcet, el cual es mostrado en el Anexo E, donde se estructuran las funciones y posteriormente es traducido al lenguaje de

programación del autómata, diagrama de bloques para el PLC Array SR22, el programa en el lenguaje de bloques se muestra en el Anexo F.

## 9. CONSTRUCCIÓN Y MONTAJE DE LA MÁQUINA

Todas las partes de acero HR fueron cortadas en la Compañía General de Aceros en la ciudad de Bucaramanga, dichas partes son entregadas con una tolerancia de 0-3 [mm], posteriormente son llevadas a las dimensiones de diseño. La construcción de la máquina se llevó a cabo en la ciudad de Aguachica, Cesar, donde se utilizaron procesos de torneado, fresado y soldadura. Dado la precisión requerida por los elementos lineales, el proceso de construcción fue detallado y minucioso, garantizando la correcta alineación de todos sus elementos. A continuación se muestra el proceso de manufactura para cada componente de la máquina.

### 9.1 CÁMARA DE PRENSADO

La cámara de prensado está constituida por 7 placas de acero ASTM A36 de  $\frac{3}{4}$  de pulgada, las cuales son fresadas para obtener las medidas de diseño, pues de ésta pieza depende la geometría de los bloques. Posteriormente es soldada con soldadura E7018, en diferentes etapas y riostrada para evitar que se deforme por temperatura. Las matrices son punteadas a la cámara de prensado para que sirvan como plantilla y que posteriormente garanticen el desplazamiento libre dentro de ella. Una vez hechas las soldaduras exteriores se realiza el chaflán interno, puliendo una varilla cuadrada de  $\frac{1}{2}$  pulgada hasta obtener una varilla triangular y soldada a las esquinas internas.

**Figura 62.** Construcción de la cámara de prensado



Una vez realizadas las soldaduras externas y chaflanes internos, se procede al montaje de las patas, las cuales consisten en ángulo de 2 pulgadas, soldados en las vértices del cámara, se montan también las bandejas del cargador y de salida del ladrillo con sus respectivos refuerzos además de los soportes de la tolva.

**Figura 63.** Cámara de prensado terminada.



## **9.2 BASE DE LA MÁQUINA**

Consta de una placa de acero de 1 pulgada de espesor, recibe toda la carga producto de la compresión del material, por lo que sufre grandes esfuerzos y se

requiere entonces, aplicar refuerzos en su parte inferior. Lleva además dos placas que permiten el acople de las patas de la cámara de prensado y la fijación de la máquina a una fundación. La placa de 1 pulgada tiene dos agujeros de  $1\frac{3}{4}$  pulgadas, que servirán para atornillar las guías a la base, también se efectúan taladros de 1 pulgada, donde se situaran los tornillos que permitirán graduar la altura del bloque. Todas las piezas son soldadas con electrodos E7018.

**Figura 64.** Base de la máquina.



### 9.3 BANCADA DE PRENSADO INFERIOR

**9.3.1 Portamatrices inferior.** Consta de una viga en I, armada a partir de placas de  $\frac{1}{2}$  pulgada de espesor, con dos refuerzos en parte central. Dicha pieza soportará las matrices que le darán la forma a la cara inferior del BTC, y se encargará además del ascenso del mismo, a través de la cámara de prensado. A los lados del portainsertos se agregan dos placas a las que se sueldan las carcasas de los bujes de nylon para permitir el movimiento lineal de la pieza. Realizada en acero A-36 y soldada con soldadura E7018.

**9.3.2 Acople matriz inferior.** Es la pieza donde se asegura la matriz inferior. Su construcción se basa en placas de acero de  $\frac{1}{2}$  pulgada de espesor que forman una viga en I, a cuyas alas se le agregan refuerzos triangulares. La pieza completa es posteriormente soldada al portamatrices inferior.

**Figura 65.** Acople matriz inferior.



**9.3.3 Matriz inferior.** Placa de 30X15[cm], espesor  $\frac{3}{8}$  de pulgada. Se permite su intercambio para cambiar la forma al BTC. Para el primer modelo, un bloque tipo lego, se realizan dos perforaciones, donde se alojara la pieza que le dará el bajo

relieve al ladrillo, para formar la parte hembra. Para su elaboración se recortó el material con una tolerancia, para llevarla a sus dimensiones finales garantizando la perpendicularidad de sus lados. Las perforaciones se realizan en un torno.

**Figura 66.** Matriz inferior.



## **9.4 BANCADA DE PRENSADO SUPERIOR**

**9.4.1 Portamatrices superior.** Consta de una placa principal de  $\frac{1}{2}$  pulgada, con dos perforaciones en sus extremos, donde se situarán las carcasas de los bujes de desplazamiento lineal. A esta pieza se acopla el cilindro principal por medio de una brida, formada por una tuerca de 2.5 pulgadas soldada a una placa de espesor de 1 pulgada la cual es atornillada al portamatrices. Es unida además con las matrices superiores, que dan forma al alto relieve del BTC. Soporta también los trinquetes que permiten el movimiento de la bancada inferior, extrayendo el bloque de tierra comprimida de la cámara de prensado. El movimiento lineal es garantizado por dos bujes de nylon, que deslizan en las barras cromadas, al igual que el portamatrices inferior. Los bujes son torneados e introducidos posteriormente en la carcasa.

**Figura 67.** Portamatrices superior.



**9.4.2 Matriz superior.** De construcción similar a la matriz inferior, pero con la conicidad maquinada en la propia matriz, sin necesidad de insertos. También se permite su intercambio para variar la geometría del adobe.

**Figura 68.** Matriz superior.



### **9.5 BASE CILINDRO DE PRENSADO**

Consta de dos placas soldadas en L, de espesor de  $\frac{3}{4}$  de pulgada en acero A-36, unidos con dos perfiles en H, cuyas placas laterales son de  $\frac{3}{4}$  de pulgada de espesor en acero A-36 y la placa del medio de 1 pulgada de espesor en acero 1045. La construcción de la base se realiza soldando primero los dos perfiles en L, riostrando para evitar la deformación térmica. Las placas de acero 1045 soportaran a las barras cromadas, por lo tanto es de vital importancia para el correcto funcionamiento de la máquina garantizar su alineación, para esto se soldaron las placas tomando como plantilla la base de la máquina, y por medio de un tubo de  $1\frac{3}{4}$  de diámetro se garantizó la correcta alineación. El proceso se muestra en la **Figura 69**:

**Figura 69.** Base del cilindro de prensado.



## **9.6 ALINEACIÓN DE ELEMENTOS MÓVILES**

Para garantizar el movimiento libre tanto del portamatrices superior e inferior, se deben alinear correctamente las piezas que determinan la distancia entre centros de las barras cromadas, este trabajo se empieza a realizar desde la construcción de la base del cilindro de prensado, pero se culmina uniendo los bujes a los mencionados portamatrices, esto se realiza haciendo un montaje preliminar de la máquina, haciendo énfasis en el correcto deslizamiento de las partes móviles, punteando con soldadura primero, ya que esto permite hacer las debidas correcciones, y luego uniendo permanentemente las carcasas de los bujes a los portamatrices.

**Figura 70.** Preensamblaje de la máquina para la alineación de los elementos móviles.



**Figura 71.** Base del cilindro de prensado.

### 9.7 TOLVA

La tolva se realiza con láminas de acero de 1/8 de pulgada, plegadas y posteriormente unidas con soldadura. Se provee de un soporte en ángulo de 2

pulgadas, el cual es atornillado por medio de varilla roscada a la cámara de prensado, de esta manera es posible graduar la altura de la tolva, garantizando el correcto deslizamiento del cargador.

**Figura 72.** Construcción de la tolva



## **9.8 CARGADOR**

El cargador se construye en lámina de acero de 3/16 de pulgada, formando una caja rectangular, se agrega una bandeja que se encarga de cerrar el paso del material a través de la tolva. Además se dispone de elementos rodantes que permitan el libre deslizamiento del cargador sobre las guías de la cámara de prensado.

## **9.9 UNIDAD DE POTENCIA**

Involucra la fuente de potencia hidráulica y sus elementos de control.

**9.9.1 Tanque.** Es fabricado con 5 láminas de acero de 3/16 de pulgada, unidas con cordones de soldadura de alta calidad para evitar la porosidad y posteriores fugas de aceite. Se instala además un bafle en sentido transversal para incrementar el tiempo que el fluido pasa por el tanque.

**Figura 73.** Construcción del tanque



**9.9.2 Estructura.** El marco estructural se realiza en tubería de acero cuadrada de 2 pulgadas, la cual debe soportar el reservorio de aceite hidráulico, un motor de 15

[HP] acoplado a una bomba de doble de 16 [GPM], las válvulas tanto direccionales como reguladoras, y el tablero de control con sus respectivos elementos.

**Figura 74.** Estructura de la unidad de potencia.



## 10. PRUEBAS Y RESULTADOS

### 10.1 PRUEBAS DE CAPACIDAD

Se realiza la prueba de capacidad midiendo el tiempo consumido para realizar un ciclo completo, tarando la válvula de alivio en 2800 [psi] para garantizar la fuerza de prensado de 30 toneladas. En la **Tabla 23** se registran los tiempos consumidos por cada una de las etapas que componen el ciclo.

**Tabla 23.** Resultados de la prueba de capacidad.

Ciclo	Tiempo por etapas [s]					Duración del ciclo
	Cargado	Retroceso	Descenso rápido	Compactación a alta presión	Desmoldado	
1	4,0	3,0	7,0	3,0	6,0	23,0
2	4,5	2,5	5,5	4,0	5,8	22,3
3	4,2	2,6	5,8	3,3	5,8	21,7
4	4,5	2,9	6,0	3,6	5,9	22,9
5	4,2	2,9	6,7	3,6	6,0	23,4
Promedio						22,7
Ciclos por minuto						2,6
Bloques por hora						<b>317,7</b>

**Figura 75.** BTC fabricados por la máquina.





Se concluye entonces que la capacidad promedio de la máquina es de 317 bloques por hora, por lo tanto se cumple el objetivo de producción mínima de 300 BTC/hr.

## 10.2 ENSAYO DE COMPRESIÓN

Con el fin de determinar la resistencia a la compresión del bloque obtenido se realiza el ensayo de compresión, el esfuerzo de rotura se calcula de la siguiente forma:

$$\text{Esfuerzo de rotura} = \frac{F}{A}$$

Los ensayos realizados arrojaron los siguientes datos:

**Tabla 24.** Resultados ensayo a la compresión.

	Resistencia última [kgf]	Área [cm <sup>2</sup> ]	Esfuerzo [kgf/cm <sup>2</sup> ]	Esfuerzo [MPa]
P1	19877,68	225,00	88,35	8,67
P2	19673,80	225,00	83,44	8,58
P3	19266,06	225,00	85,63	8,40
P4	19469,93	225,00	86,53	8,49

**Figura 76.** Ensayo de compresión



Los bloques ensayados tuvieron un promedio de resistencia a la compresión de 8,5 [MPa], lo que los sitúa en la clasificación **BSC 60**, por encima de los 6 [MPa], según la Norma Técnica Colombiana NTC 5324 para bloques de suelo cemento, que corresponden a los bloques más resistentes.

### **10.3 ENSAYO DE FLEXIÓN**

Se realiza el ensayo de flexión de los bloques ubicando dos varillas en sentido transversal a los bloques, sirviendo como apoyos, una tercer varilla se ubica en el medio del bloque, también en sentido transversal, a la cual se aplicara la carga que determinara el módulo de flexión calculado de la siguiente manera:

$$\text{Módulo de ruptura} = \frac{3 * P * L}{2 * b * h^2}$$

Donde:

P=carga de ruptura [kgf]

b=ancho del bloque [cm]

L=distancia entre apoyos [cm]

h=altura del bloque [cm]

**Tabla 25.** Resultados ensayo de flexión

	Carga de ruptura [kgf]	Distancia entre apoyos [cm]	Ancho [cm]	Altura [cm]	Esfuerzo [kgf/cm <sup>2</sup> ]	Esfuerzo [MPa]
P1	300,00	23,00	15,00	7,50	12,27	1,20
P2	250,00	23,00	15,00	7,50	10,87	1,07
P3	200,00	23,00	15,00	7,50	8,70	0,85
P4	200,00	23,00	15,00	7,50	8,70	0,85

**Figura 77.** Ensayo de flexión.



Los bloques sometidos al ensayo obtuvieron una resistencia a la flexión promedio de 1 [MPa]

#### **10.4 ENSAYO DE ABSORCIÓN DE AGUA**

El ensayo determina el porcentaje de absorción de agua de los bloques, el cual define la adhesión del mortero a la superficie del bloque. Las probetas secas se sumergen en agua por 24 horas; con una balanza se pesaron los bloques antes y después de ser sumergidos con el fin de determinar el porcentaje de absorción de agua calculado de la siguiente manera:

$$\text{Porcentaje de absorción} = \frac{\text{Peso seco} - \text{Peso húmedo}}{\text{Peso seco}} * 100\%$$

En la tabla se muestran los datos tomados con el porcentaje de absorción obtenido para las 4 probetas.

**Tabla 26.** Resultados ensayo de absorción de agua.

	Peso inicial [kg]	Peso final [kg]	Porcentaje de absorción
P1	4,27	4,83	13,01
P2	4,18	4,74	13,35
P3	4,25	4,77	12,23
P4	4,22	4,83	14,45

El porcentaje de absorción de agua promedio de los bloques es del 13,26%. Esta característica junto con la resistencia a la compresión y flexión permiten la caracterización del bloque producido.

## 11. CONCLUSIONES

Se diseñó y construyó una máquina para la fabricación de bloques de tierra comprimida que cumple con los requisitos impuestos de diseño, producción y funcionamiento, dando solución a los problemas encontrados en las prensas manuales.

Se emplearon herramientas de diseño asistido por computadora (CAD-CAE) para los elementos estructurales, demostrando así la gran utilidad de las técnicas computacionales de diseño que toman terreno en la industria.

Se utilizaron modelamientos matemáticos y criterios ingenieriles para el diseño y selección del sistema hidráulico, eléctrico y de control, ratificando así que dicha metodología es aun eficaz en los problemas de ingeniería y que junto a las herramientas computacionales disminuyen en gran medida el tiempo consumido por el proceso de diseño y fabricación.

El proceso de diseño se llevó a cabo teniendo en cuenta los procesos de maquinado y soldadura que fueron utilizados en la construcción de la máquina, así como la facilidad de realizar las tareas de mantenimiento y puesta a punto.

Se comprobaron las características de la máquina, verificando los parámetros de presión y tiempo de ciclo para asegurar la fuerza de compactación y la productividad del sistema.

Se determinaron las propiedades de los bloques producidos mediante ensayos de compresión, flexión y absorción de agua.

## 12. RECOMENDACIONES

Seguir el manual de montaje, puesta a punto, operaciones y mantenimiento de la máquina (**Anexo A**) para garantizar el buen funcionamiento y la vida útil de los diferentes elementos que la componen.

Instalar elementos que protejan a las partes móviles de la suciedad del ambiente donde estará operando la máquina.

Mejorar el sistema de control instalando un PLC que mejor calidad y mayor cantidad de bloques funcionales o memoria disponible para su programación.

Para hacer más eficiente el proceso de producción de bloques de tierra comprimida, se debe disponer de una mezcladora que alimente la máquina y una banda transportadora a la salida de la misma de tal manera que se eliminen los tiempos muertos que implican el cargado de la máquina con la mezcla tierra-cemento y el descargue de los bloques ya prensados.

## BIBLIOGRAFÍA

**ADAM, E.A.** Compressed Stabilised Earth Block Manufacture in Sudan. Paris, UNESCO, 2001.

**BERNARD J. Hamrock, Bo O. Jacobson, Steven R. Schmid. 2000.** *Elementos de máquinas*. México, D.F. : Mc Graw Hill, 2000. ISBN: 0-256-19069-09.

**CABALLERO, Zeudiel y MARTINEZ, Gabriel.** Influencia de las Propiedades Física del Material Tierra para la Elaboración de Bloques de Tierra Comprimidos – BTC. Trabajo de grado Ingeniero Civil. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander. Facultad de Ingenierías Físico – Mecánicas. Escuela de Ingeniería Civil, 2009. 124p.

**ECOMAQUINAS.** Productos Prensa Hidráulica. *Ecomaquinas*. [En línea] [Citado el: 28 de 06 de 2013.] <http://ecomaquinas.com.br/es/prensas-hidraulicas>.

**GRACOMAQ.** Máquinas para la fabricación de adobe ecológico y otras. Gracomaq. [En línea] [Citado el: 28 de 06 de 2013.] <http://www.gracomaq.net/>

**H. Exner, R. Freitag, Dr-Ing. H. Geis, et al. 1991.** *Fundamentos y componentes de la oleohidráulica*. Lohr a. Main, Alemania: Mannesmann Rexroth AG, 1991. ISBN 3-8023-0266-4.

**MOTT, Robert L. 2006.** *Diseño de elementos de máquinas*. México, D.F. : Pearson Educación, 2006. ISBN: 970-26-0812-0.

**OPEN SOURCE ECOLOGY.** A Network of Farmers, Engineers, and Supporters Building the Global Village Construction Set . *Open source ecology*. [En línea] [Citado el: 28 de 06 de 2013.] <http://opensourceecology.org/>.

**PARKER HANNIFIN CORPORATION. 1999.** *Técnología hidráulica industrial*. Jacareí : s.n., 1999.

**PARRA, Edward y REYES, Frank.** Diseño y Construcción de una Máquina Abujardadora de Bloques de Concreto.

**Sperry Vickers.** *Manual de oleohidráulica industrial.* Barcelona: Blume.

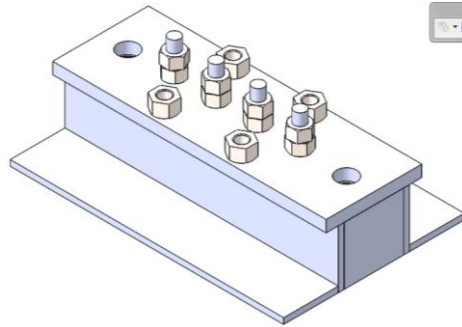
**TIERRATEC.** Diferentes técnicas. *Tierratec.* [En línea] [Citado el: 28 de 06 de 2013.] <http://www.tierratec.com/>.

**VARIOS AUTORES. 2004.** *NTC 5324. Bloques de suelo cemento para muros y divisiones. Definiciones. Especificaciones. Métodos de ensayo. Condiciones de entrega.* Bogotá D.C.: Instituto Colombiano de Normas Técnicas y Certificación, ICONTEC, 2004.

**ANEXO A. MANUAL DE MONTAJE, OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO  
DE LA MÁQUINA**

## MANUAL DE MONTAJE DE LA MÁQUINA

1. Ubicar la base de la maquina sobre una superficie fija y nivelada.
2. Atornillar los tornillos que regulan la altura del BTC en la base de la máquina, hasta que hagan tope con la superficie inferior, instalar la contratuerca y apretar.



3. Con la ayuda del diferencial, ubicar la cámara de prensado a una distancia de 50 cm sobre la base de la máquina.



**4.** Ubicar la bancada de prensado inferior sobre los tornillos mencionados en el numeral 2. Descender la cámara de prensado hasta que sus apoyos toquen la base de la máquina asegurándose que las matrices entren sin golpear en la cámara de prensado. Alinear los agujeros para los tornillos que unen la cámara con la base e instalarlos sin apretar.



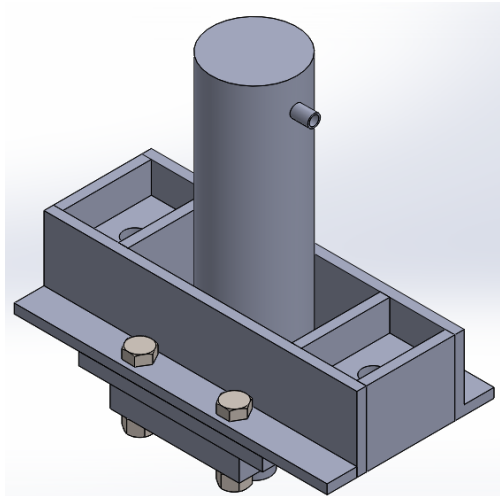
**5.** Instalar las barras cromadas, alineando los bujes de la cámara de prensado con los del elevador de matrices y los agujeros en la base de la máquina, atornillar la tuerca que sujeta a las barras y apretarlas además de los tornillos que unen la cámara de prensado con la base de la máquina. Verificar el correcto deslizamiento de la bancada de prensado inferior.



6. Con la ayuda del diferencial ubicar la bancada de prensado superior, y alinear los bujes con las barras cromadas. Descender la bancada apoyándola sobre un bloque de madera en la cámara de prensado.



7. Apoyar el cilindro de prensado con el vástago hacia abajo, es necesario conectar la manguera del lado vástago antes de poner la base del cilindro, pues el espacio es reducido, una vez acoplada la manguera y apretada se ubica la base del cilindro encima de él, se alinean los agujeros de la brida con los de la base, se insertan los tornillos y se ajustan.



8. Con el diferencial ubicar el ensamble del cilindro con su base encima de la máquina, alineando las barras cromadas con los agujeros en la base del cilindro. Descender cuidadosamente hasta que las barras asienten en la base del cilindro, atornillar las barras y ajustar. Montar la brida del cilindro principal que conecta el vástago del cilindro con la bancada de prensado superior.



- 9.** Montar el cargador con sus rodamientos sobre las guías, ajustar la altura del cargador con las tuercas de los rodamientos, garantizando una luz entre el cargador y la bandeja.
- 10.** Ubicar las varillas roscadas que soportan la tolva y fijarlas con su contratuerca.
- 11.** Montar la tolva en las varillas roscadas que permiten la graduación de la altura, de tal manera que se garantice el libre trayecto del cargador. Colocar la contratuerca y ajustar.
- 12.** Fijar el cilindro secundario a su soporte y atornillar la brida al vástago del cilindro. Fijar la brida al cargador con los tornillos.
- 13.** Acoplar las mangueras de los cilindros y conectarlas a las válvulas direccionales guiándose por el plano del circuito hidráulico.
- 14.** Verificar el nivel de aceite en el tanque, agregar la cantidad de aceite necesario para alcanzar el nivel adecuado.
- 15.** Abrir la llave de paso del tanque a la bomba. Conectar el cable de la caja de control al suministro del fluido eléctrico y energizar el motor.

**16.** Oprima el botón de descenso hasta que la brida del cilindro principal alcanza la bancada de prensado superior. Alinee los agujeros de la brida con los del portamatrices superior, colocar los tornillos y ajustar. Oprima el botón de ascenso para llevar la bancada a la posición inicial.



## PUESTA A PUNTO DE LA MÁQUINA.

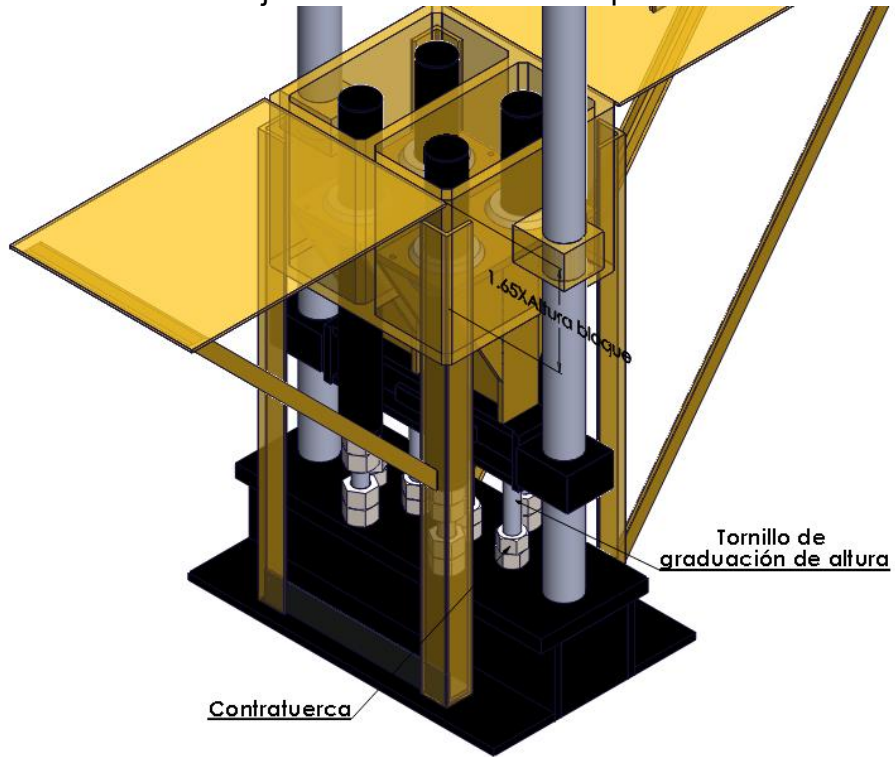
**Calibración de los finales de carrera.** La máquina dispone de 4 finales de carrera que detienen el movimiento de la bancada de prensado (superior e inferior) o del cargador (posterior y anterior). Cada final de carrera es accionado por una palanca soldada a una tuerca, la cual es atornillada a una varilla roscada donde se puede graduar la posición en la que se detiene el movimiento. Los finales de carrera superior y anterior deben calibrarse de tal manera que al retraerse los cilindros se centre la respectiva válvula direccional antes de que haya un incremento de presión. La calibración del final de carrera inferior depende del tamaño de bloque que se desee fabricar, mientras que el final de carrera posterior se calibra para que finalice su recorrido dos centímetros después de haber alcanzado el extremo de la cámara de prensado.

**Graduación de la altura del bloque.** El cambio de la altura del bloque se realiza por medio de los tornillos que soportan la bancada de prensado inferior, estos se pueden atornillar o desatornillar para aumentar o disminuir, respectivamente, la dimensión del bloque. El criterio para establecer la profundidad de la bancada de prensado es.

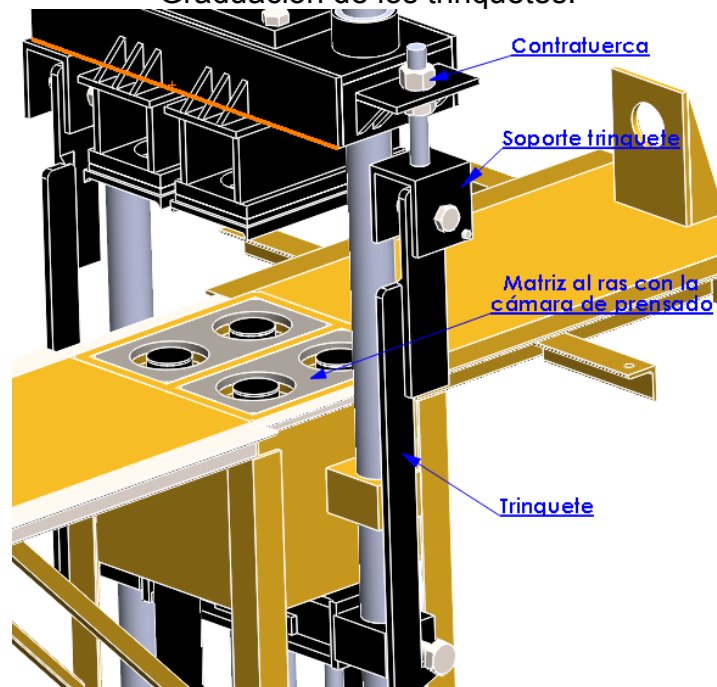
$$\textit{Profundidad bancada}=1.65*\textit{Altura del bloque}$$

**Graduación de los trinquetes.** La altura de los trinquetes se gradúa con la contratuerca que sujeta el soporte del trinquete con la bancada superior. La altura se ajusta de tal manera que las matrices de prensado inferior queden al ras con la superficie superior de la cámara de prensado de tal manera que cuando el cargador realice la acción de vaciado del material deslice los bloques por la bandeja sin obstáculos.

### Ajuste de la altura del bloque.

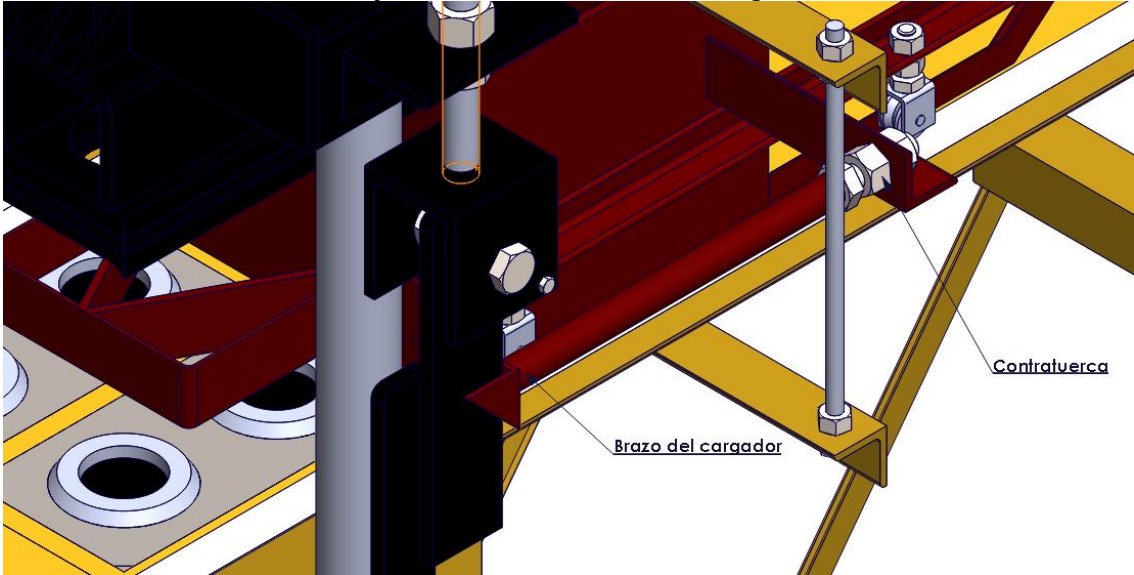


### Graduación de los trinquetes.



**Graduación de los brazos del cargador.** Esta graduación determina el momento en que los brazos del cargador mueven los trinquetes que sostienen la bancada de prensado inferior. Se ajusta con la contratuerca que sostiene los brazos al cargador

Ajuste de los brazos del cargador



## OPERACIÓN DE LA MÁQUINA

Para llevar a cabo la operación de la máquina se debe llevar a cabo el siguiente procedimiento:

1. Abrir la llave de paso de la tubería de succión de la bomba. Verificar el nivel del fluido hidráulico.
2. Conectar la caja de control a la fuente de energía eléctrica.
3. Activar el breaker de potencia y el breaker de control en la caja de control.
4. Verificar que la parada de emergencia no este activada.
5. Oprimir el pulsador para el arranque del motor. Una vez hecho esto el motor arranca en estrella, esperándose 10 segundos hasta su conmutación a triángulo. La máquina puede realizar el posicionamiento inicial 5 segundos después de la conmutación a triángulo.
6. Realizar el posicionamiento inicial de máquina (elevar el cilindro principal o retraer el cilindro secundario) oprimiendo el pulsador de inicio.
7. Seleccionar el tipo de operación que se va a llevar a cabo con el selector de modo entre manual y automático.
  - Modo manual: Permite operar la máquina mediante los pulsadores de ascenso, descenso, avance y retroceso.
  - Modo automático: Opera la máquina de modo automático al oprimir el pulsador de inicio, se puede pausar la operación con el pulsador de pausa. Para salir del modo automático y pasar al modo manual deberá oprimirse el pulsador de pausa.
8. Llenar la tolva con la mezcla de tierra estabilizada.
9. Para apagar la máquina oprima la parada de emergencia.

## OPERACIONES BÁSICAS DE MANTENIMIENTO

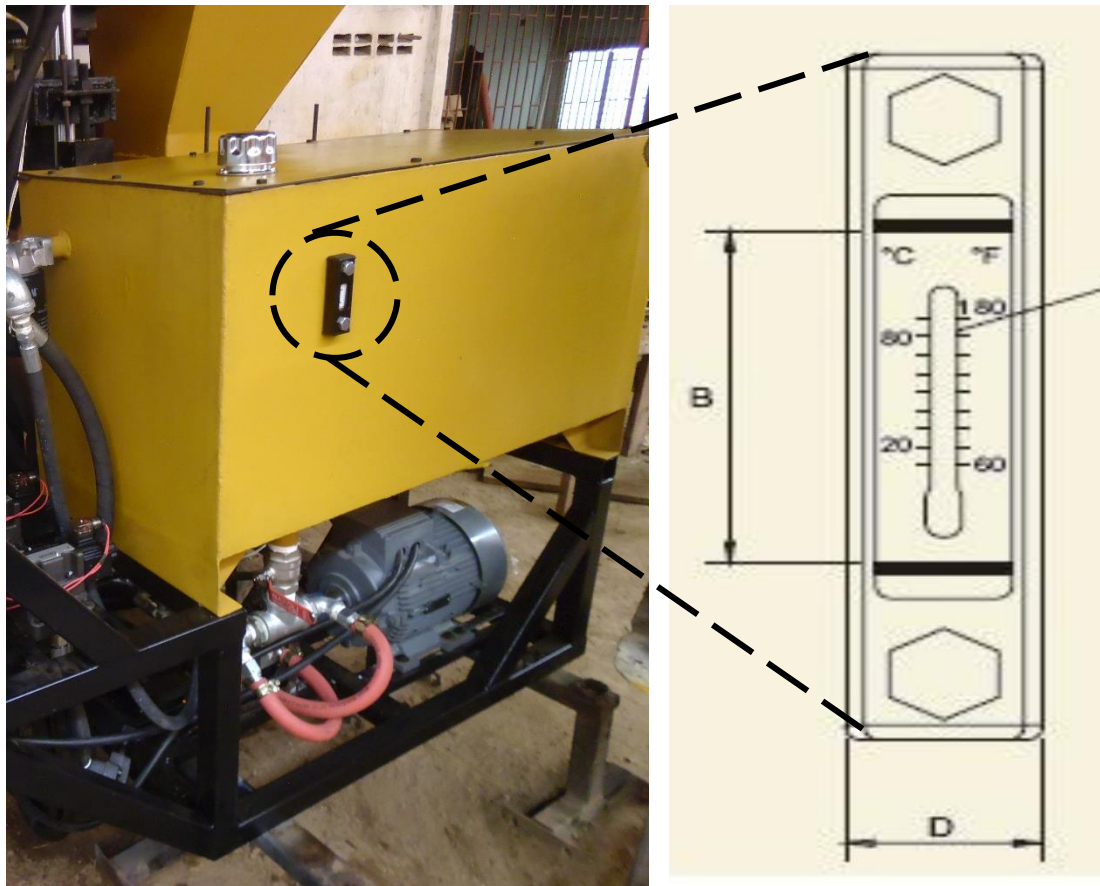
Las operaciones básicas del mantenimiento se resumen en 4 aspectos esenciales: inspección, limpieza, ajuste y lubricación. Estos aspectos se convierten en tareas que garantizan el correcto funcionamiento de la máquina y prolongan su vida útil además de reducir los tiempos muertos y los costos de reparación. A continuación se listan las tareas de mantenimiento preventivo que abarcan los aspectos anteriormente mencionados:

<b>Lubricación</b>		
Descripción del trabajo a realizar	Tiempo requerido	Frecuencia
Revisar nivel de aceite	1 min	Diario
Limpieza y lubricación de barras cromadas	5 min	Diario
Cambio de aceite hidráulico	2 hrs	700 hrs
Revisión de fugas	5 min	Semanal
<b>Electricidad</b>		
Descripción del trabajo a realizar	Tiempo requerido	Frecuencia
Revisión del sistema eléctrico y limpieza	1 hr	Trimestral
Revisión del motor	6 hrs	Anual
Verificación de los finales de carrera	30 min	Quincenal
<b>Hidráulica</b>		
Descripción del trabajo a realizar	Tiempo requerido	Frecuencia
Limpiar filtro de descarga	2 hrs	Trimestral
Revisión de válvulas	4 hrs	Semestral
Revisión de la bomba	10 hrs	Anual
Revisión de sellos	5 hrs	Anual
<b>Mecánica</b>		
Descripción del trabajo a realizar	Tiempo requerido	Frecuencia

Revisión de las barras cromadas	2 hrs	Semestral
Revisión de los bujes de deslizamiento	2 hrs	Trimestral
Revisión del ajuste de los elementos móviles	2 hrs	Trimestral

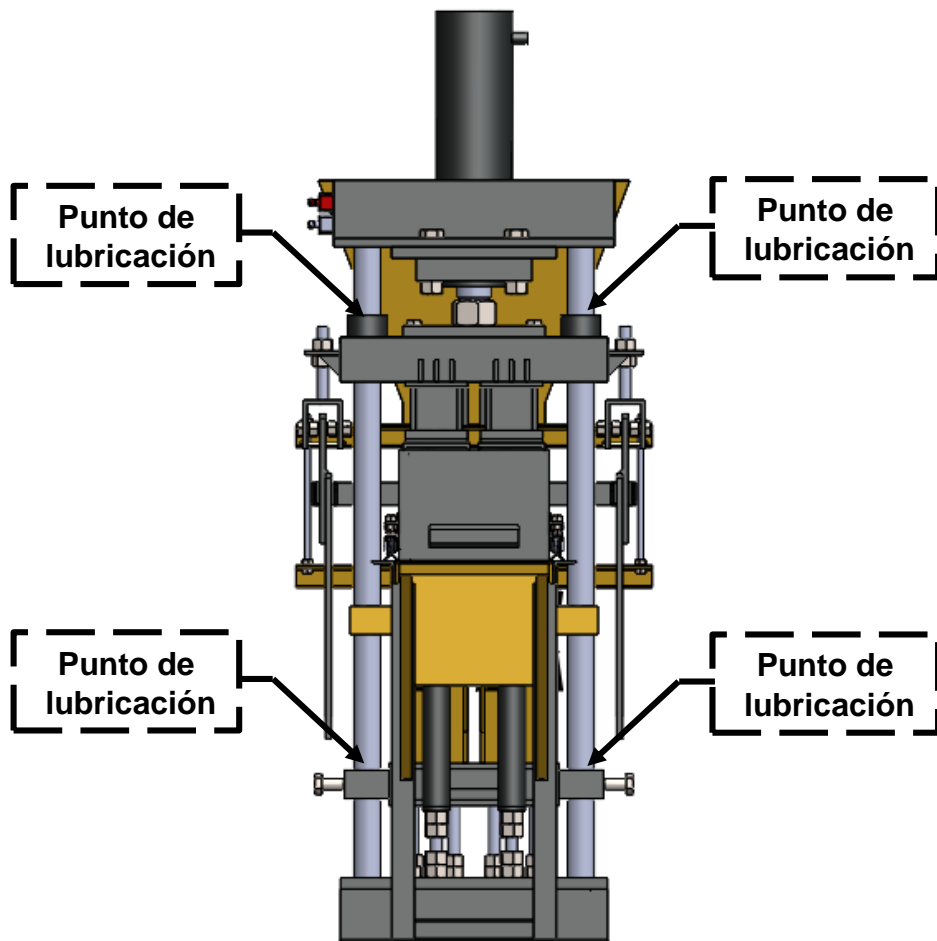
## PROCEDIMIENTO PARA LA REVISIÓN, MANTENIMIENTO Y/O CAMBIO DE ALGUNOS COMPONENTES DEL PROTOTIPO DE LA MÁQUINA

**Revisión del nivel de aceite:** La unidad de potencia hidráulica esta provista de un mirilla que permite determinar el nivel alto y bajo de fluido hidráulico, además de medir la temperatura del aceite en la escala de grados centígrados y fahrenheit. El visor de nivel está ubicado a un costado del tanque:



La línea inferior del visor esta graduada para indicar 45 galones, mientras que la superior indica 55 galones, se aconseja mantener el nivel máximo de aceite y evitar operar la máquina por debajo de la línea de los 45.

**Puntos de lubricación:** La máquina esta provista de elementos con desplazamiento lineal, estos son la bancada superior e inferior, se deslizan a través de cojinetes de desplazamiento lineal a lo largo de las barras cromadas y su lubricación es fundamental para el correcto funcionamiento de la máquina además de mantener la vida útil de los componentes. Antes de lubricar se debe limpiar bien toda la superficie de las barras para evitar la presencia de cualquier contaminante, en la siguiente figura se muestran los puntos de lubricación.



**Revisión del motor eléctrico:** Realice el bloqueo de todo tipo de alimentación eléctrica, para tal efecto desenergizando los brakers y desconectando la alimentación de la caja de control. Realice primeramente una inspección visual. Limpie completamente el motor con desengrasante. Verifique los acoplamientos con otros elementos mecánicos.

Abra la tapa de conexión y realice un reapriete de tornillería, en el caso de encontrar algún elemento dañado cámbielo. Conecte la fuente de alimentación y energice los brakers. Ponga en funcionamiento el motor y verifique auditivamente el estado de los rodamientos. Con una pinza amperimétrica mida la corriente consumida y compárela con la placa. Si se observan fluctuaciones de la corriente con carga constante, se procederá a revisar la jaula del rotor. Si se aprecian diferencias entre las intensidades de corriente de las tres fases, se revisará el bobinado estatórico. Pare el equipo y cierre la tapa de la caja de conexión.

**Revisión del tablero de control:** realice las siguientes tareas para la verificación del correcto funcionamiento del tablero de control, tenga a la mano el plano del circuito eléctrico y de control.

- Maniobras de des-energización.
- Revisión y limpieza del gabinete, cables, aisladores, interruptores electromagnéticos, termomagnéticos y demás componentes que integran el tablero.
- Revisión y apriete de conexiones en general.
- Pruebas de operación mecánica de interruptor.
- Medición de resistencia de aislamiento de interruptores electromagnéticos (megóhmetro).
- Medición de resistencia de contactos (micro-óhmetro) del interruptor principal e interruptores electromagnéticos.

**Filtro:** El filtro tiene la misión de proporcionar un filtrado continuo del fluido hidráulico al retener las partículas metálicas que van apareciendo de la continua fricción entre sí de las piezas del prototipo de la máquina, los cuáles causarán un rápido desgaste, averías en los componentes y una eventual falla.

El filtro requiere de un mantenimiento continuo, que implique también su sustitución cada cierto tiempo, para obtener un óptimo rendimiento de la máquina. Sin embargo, es muy difícil predecir con exactitud el momento de la sustitución de este elemento, ya que depende del tiempo de uso que se le dé al prototipo de la máquina.

Por lo tanto se recomienda realizar una supervisión mensual a cada filtro al igual que su respectiva limpieza.

**Consejos prácticos durante los cambios del filtro:** Los contaminantes también pueden entrar en el sistema hidráulico del equipo durante los cambios de filtro. A continuación se dan algunos consejos para controlar la contaminación durante los cambios del filtro. Cambie el filtro regularmente y con cuidado. El filtro debe cambiarse normalmente al menos cada 500 horas de uso. Como los filtros usados poseen contaminantes, es importante quitarlos con cuidado para que los contaminantes no entren en el sistema del equipo.

Tener un buen control de la contaminación durante el mantenimiento general del equipo. Utilizar siempre el filtro adecuado. Si se utiliza un filtro inadecuado puede poner en peligro el rendimiento del equipo. La utilización de filtros que no cumplen las especificaciones requeridas puede causar la contaminación del equipo y una mala eficiencia en el filtrado del aceite usado. Para evitar estos problemas, se recomienda utilizar los filtros que cumplen todas las especificaciones del fabricante.

#### **Depósito de aceite:**

El reservorio hidráulico debe drenarse y limpiarse después de 1500 horas de operación o cada año, lo que ocurra primero. Esto ayudará a mantener el sistema limpio y en las condiciones adecuadas.

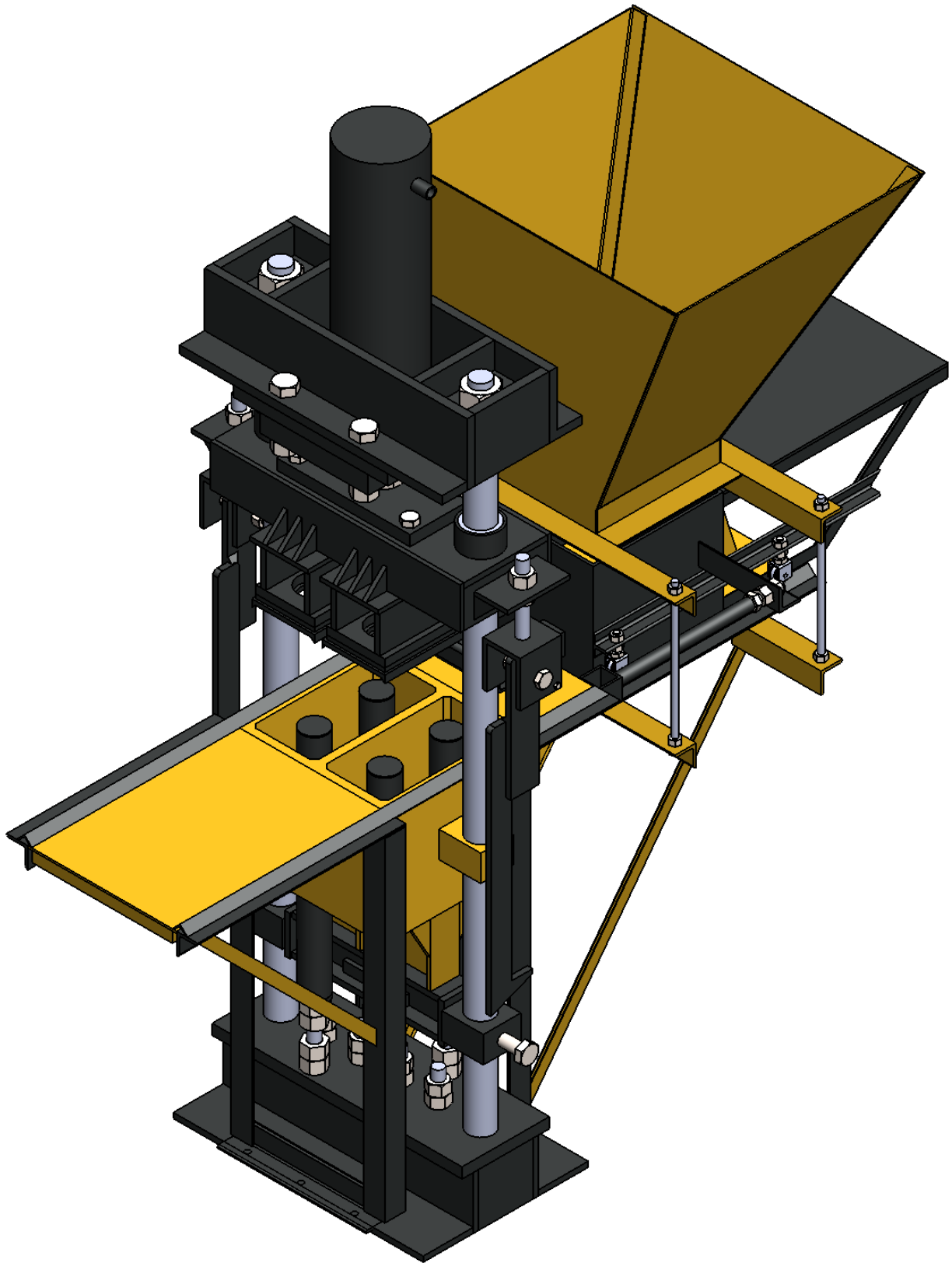
#### **Consejos prácticos durante el mantenimiento del depósito.**

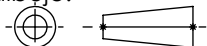
- Apague la máquina y utilice las herramientas adecuadas para destapar el tanque.
- Cierre la llave de paso en la tubería de succión y desconecte las mangueras de succión de la bomba hidráulica.
- Retire los tornillos de la tapa del tanque, y proceda a retirarla.

- Coloque un contenedor de drenaje de tamaño adecuado debajo del tanque hidráulico.
- Drene el aceite hidráulico del tanque quitando el tapón de drenaje y abriendo la llave de paso de la tubería de drenaje.
- Después de drenar el tanque, lave el interior del tanque hidráulico con un solvente para limpieza y límpielo utilizando telas sin hilachas; no utilice toallas de papel y retire todas las partículas del tanque.
- Limpie la tapa filtro con un solvente y seque con aire.
- Cierre la llave de paso de la tubería de drenaje y atornille el tapón.
- Vuelva a llenar el depósito con un fluido hidráulico nuevo y limpio.
- Proceda a poner la tapa del tanque.
- Garantice la limpieza de la tubería de succión, para conectar las mangueras a la bomba.
- Arranque la máquina y revise si hay fugas.

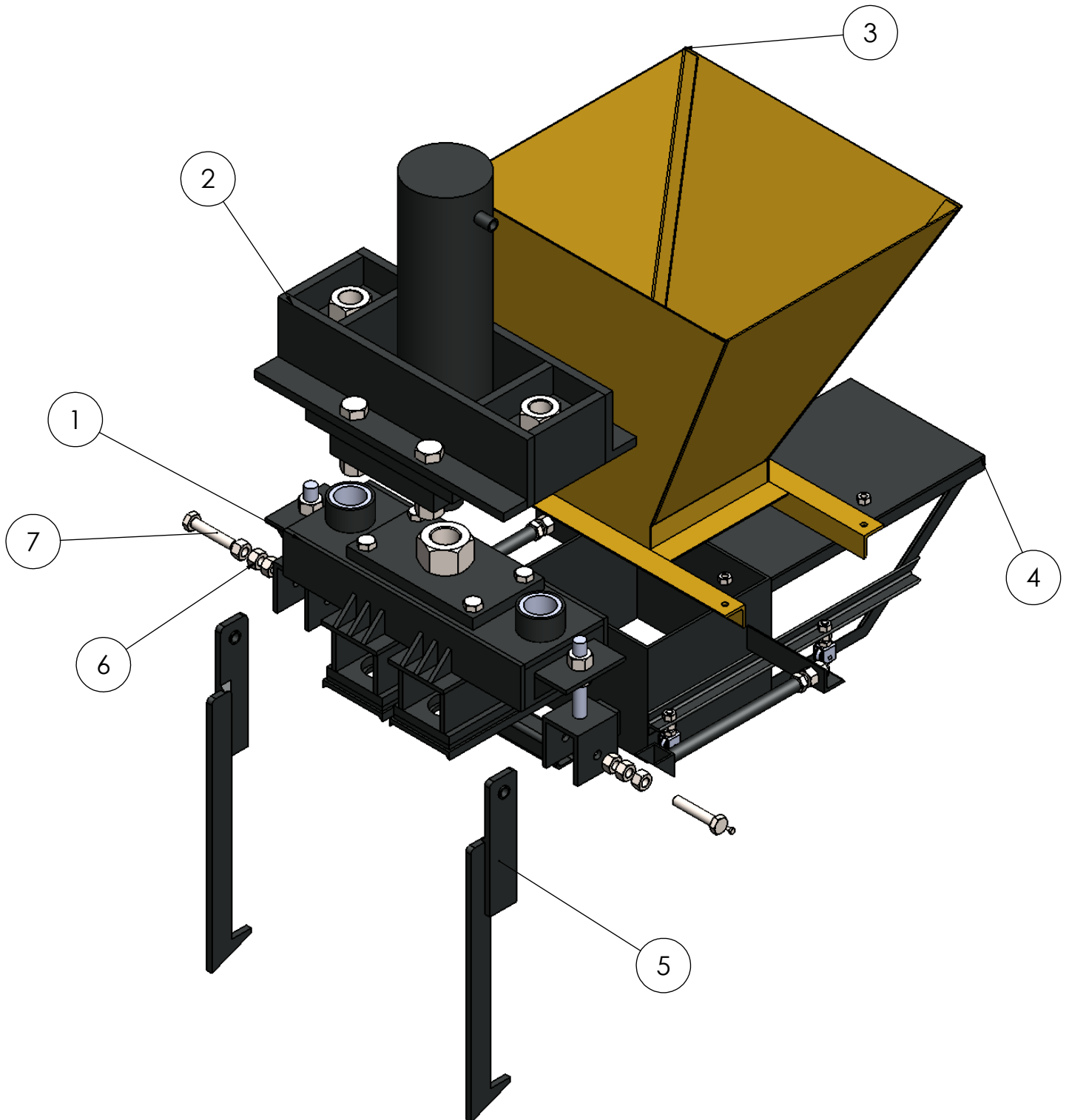
**Revisión y ajuste de los elementos móviles.** Revise el correcto funcionamiento de los rodamientos del cargador y la luz que debe haber entre este y la cámara de prensado para evitar que haya contacto entre ambos. Si es necesario graduar la altura del cargador se debe soltar la contratuerca que soporta a los rodamientos y regular la altura con la otra tuerca, verificando la correcta alineación de la ranura con la guía situada en la cámara de prensado.

## ANEXO B. PLANOS DE LA MÁQUINA



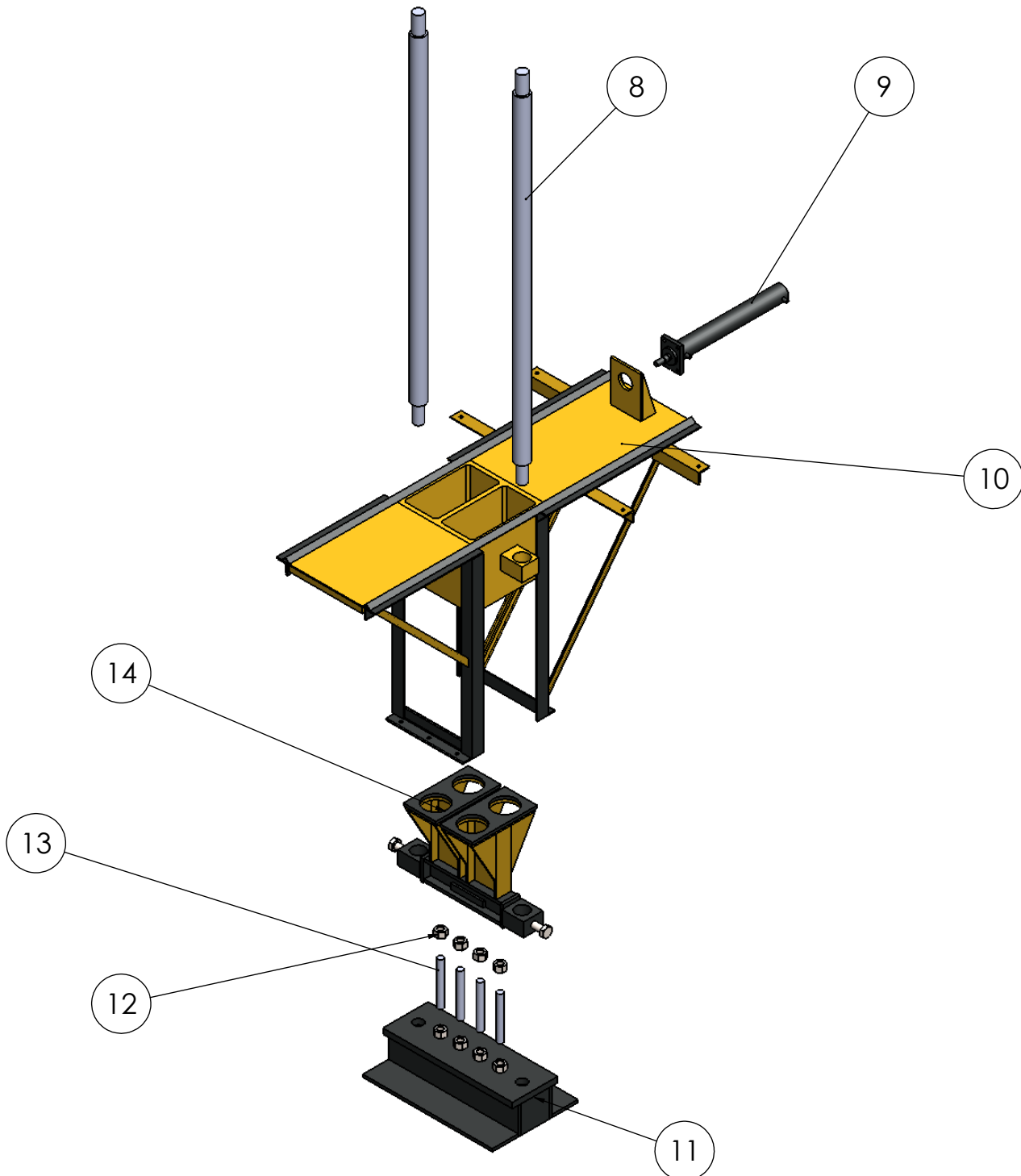
Dibujó: Julián Barrera Juan Navarro		Institución: Universidad Industrial de Santander	
Escala: 1:10	Proyecto: Máquina BTC	Contiene: <b>1. Máquina para la fabricación de BTC</b>	
Revisó: Jabid Quiroga			
Fecha: 16-06-2014	Sistema de dibujo: 	Formato: A4	Nota:

Número	Cantidad	Nombre
1	1	Conjunto de prensado superior
2	1	Base del cilindro de prensado
3	1	Tolva
4	1	Cargador
5	2	Trinquete
6	6	Tuercas 3/4"
7	2	Tornillo 3/4"X4"

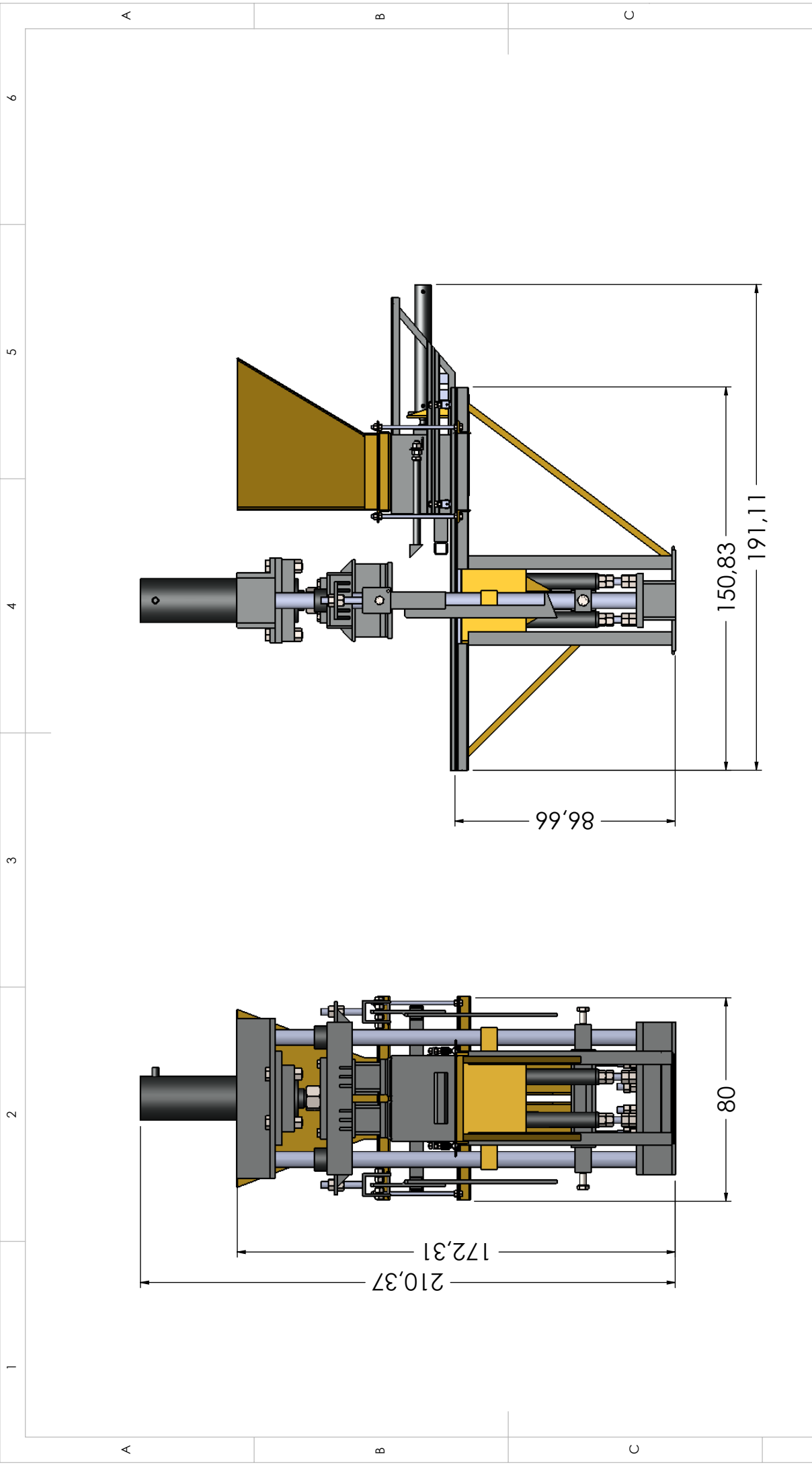


Dibujó: Julián Barrera Juan Navarro		Institución: Universidad Industrial de Santander	
Escala: 1:10	Proyecto: Máquina BTC	Contiene: <b>2. Vista explosionada conjunto superior</b>	
Revisó: Jabid Quiroga			
Fecha: 16-06-2014	Sistema de dibujo: 	Formato: A4	Nota:

Número	Cantidad	Nombre
8	2	Barras cromadas
9	1	Cilindro secundario
10	1	Cámara de prensado
11	1	Base de la máquina
12	8	Tuercas 1"
13	4	Varilla roscada 1"X20cm
14	1	Conjunto de prensado inferior



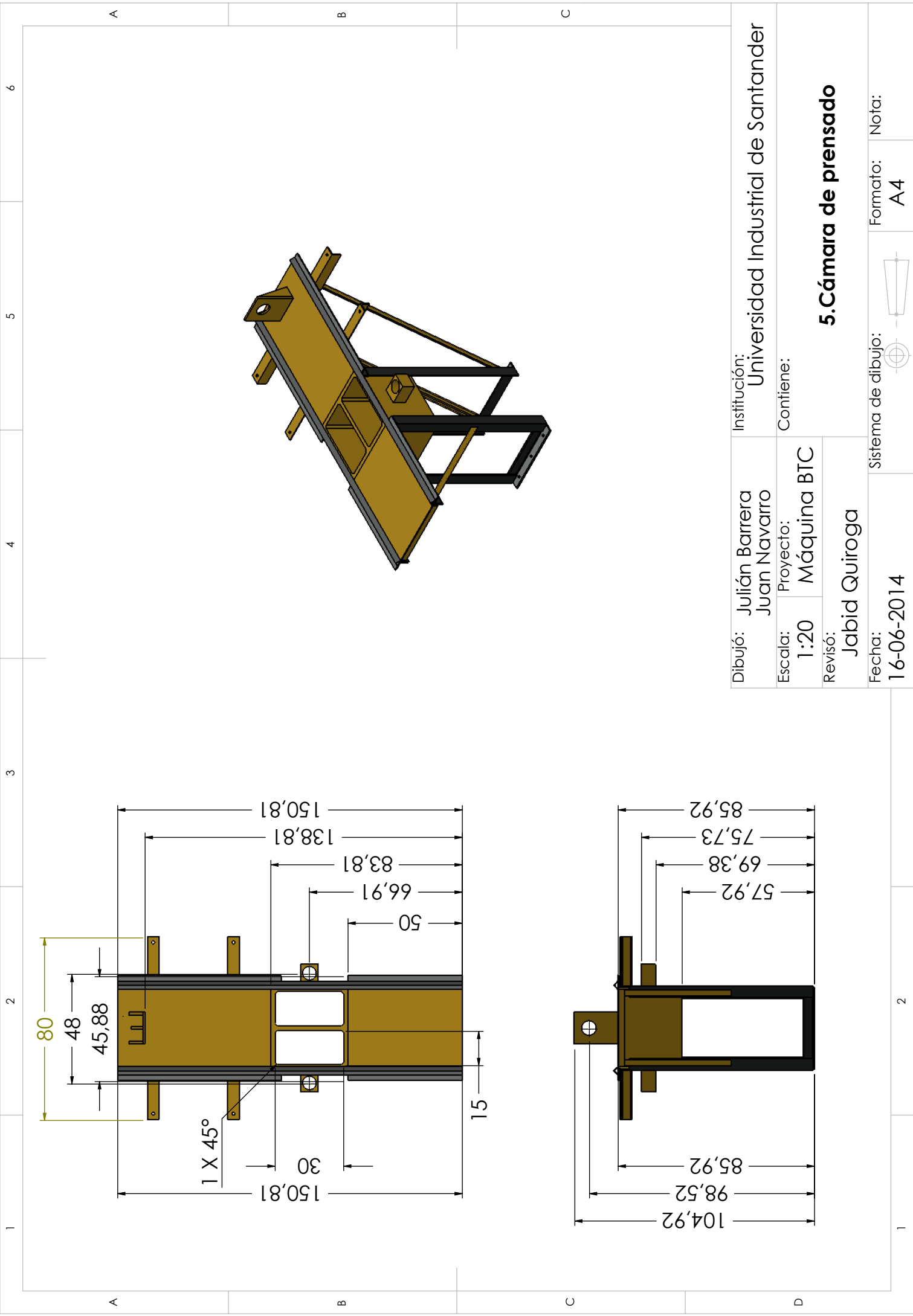
Dibujó: Julián Barrera Juan Navarro		Institución: Universidad Industrial de Santander	
Escala: 1:10	Proyecto: Máquina BTC	Contiene: <b>3. Vista explosionada conjunto inferior</b>	
Revisó: Jabid Quiroga			
Fecha: 16-06-2014	Sistema de dibujo: 	Formato: A4	Nota:



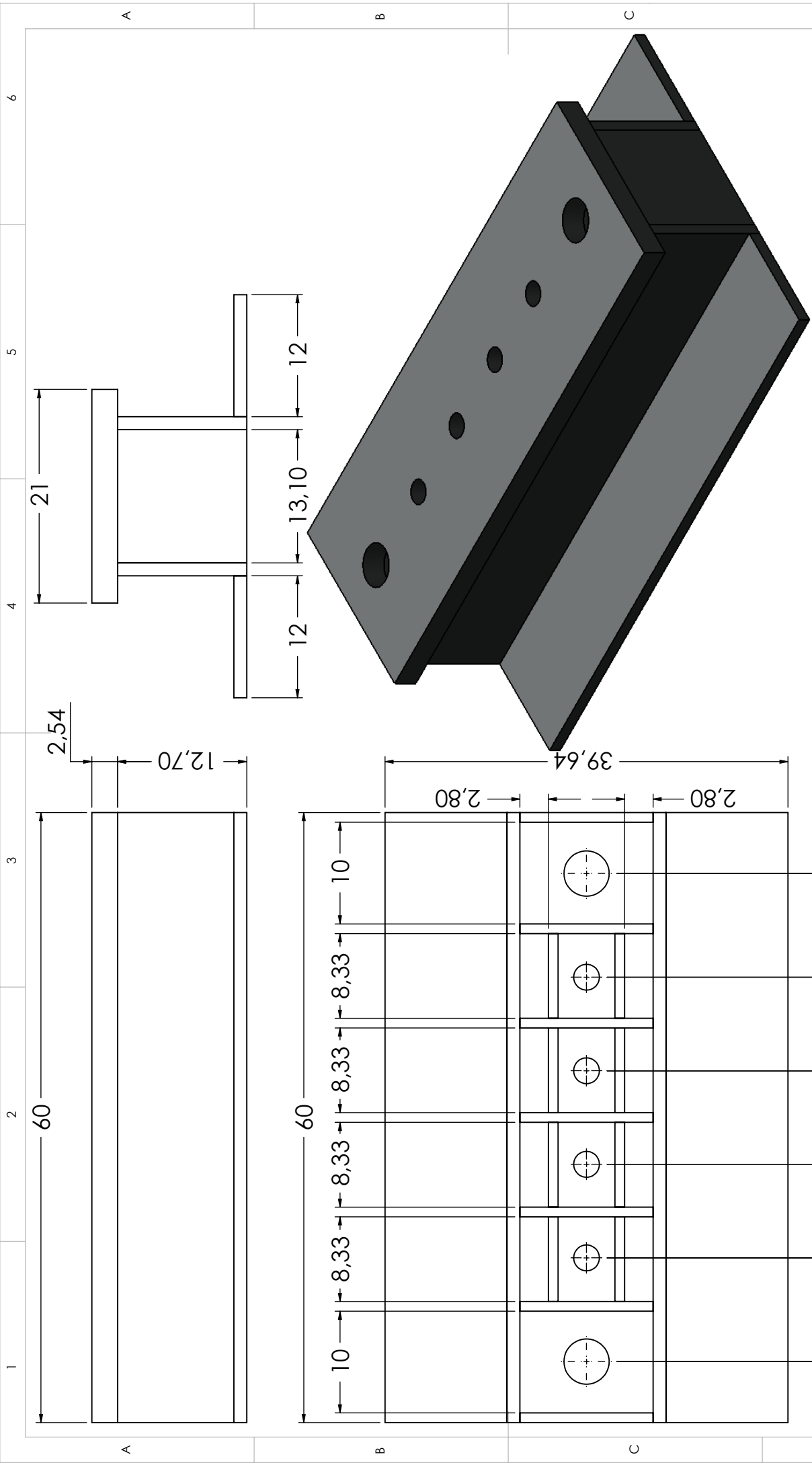
Dibujó: Julián Barrera Juan Navarro	Institución: Universidad Industrial de Santander
Escala: 1:5 Proyecto: Máquina BTC	Contiene:
Revisó: Jabid Quiroga	<h3>4. Dimensiones de la máquina</h3>
Fecha: 16-06-2014	Sistema de dibujo: 
1	2
1	2

Formato: A4

Nota:



### 5. Cámara de prensado

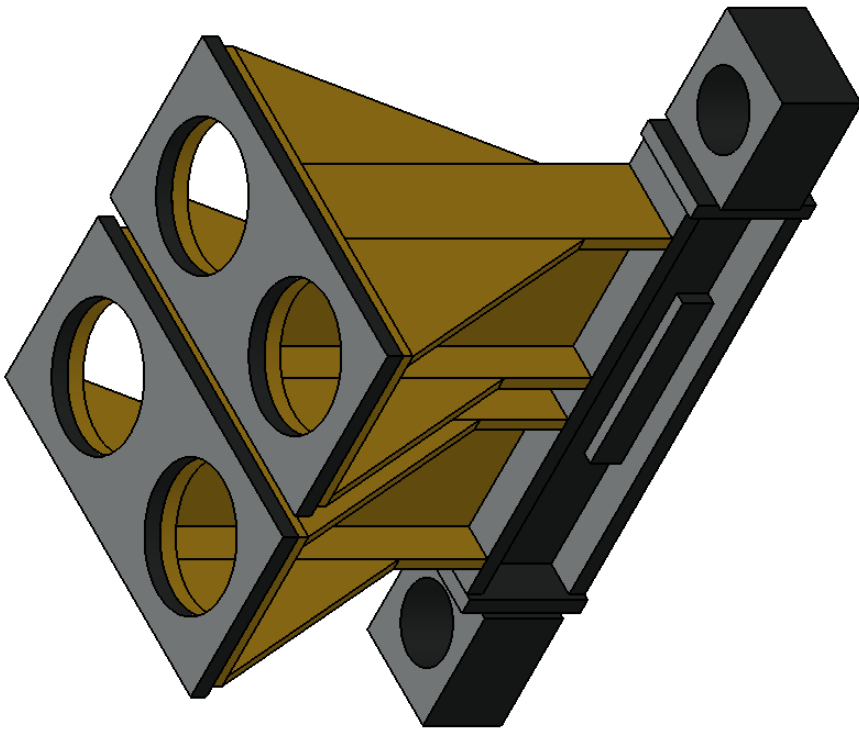
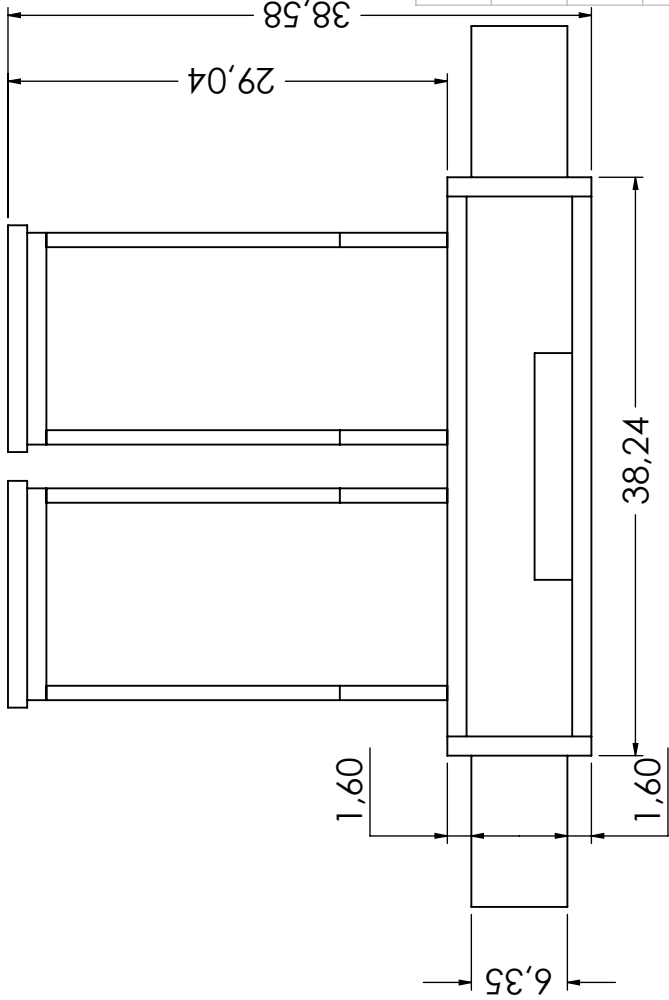
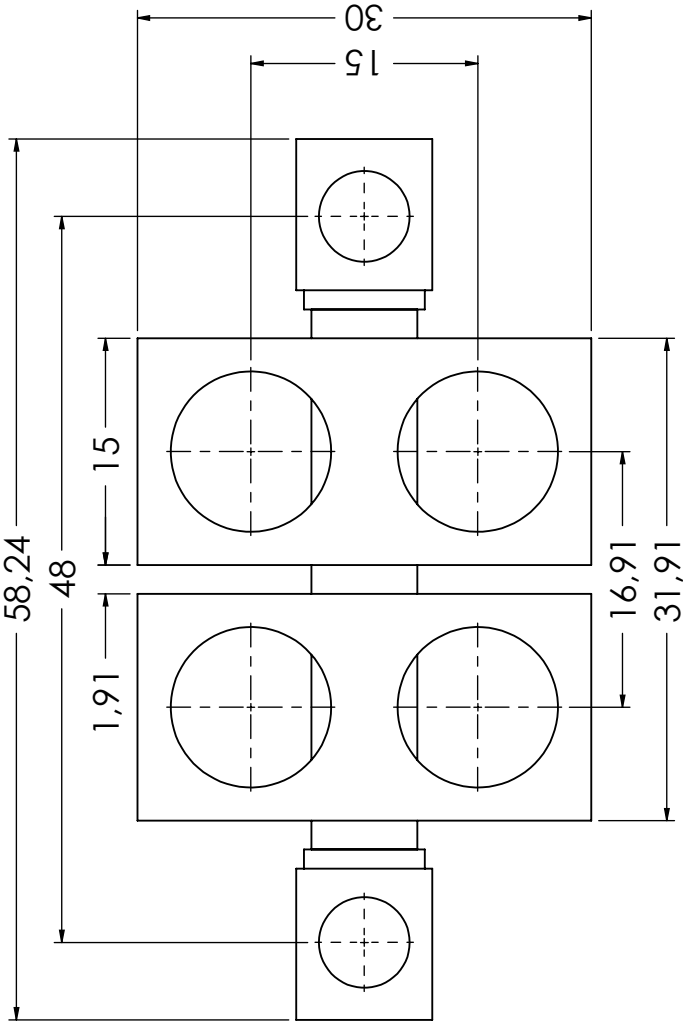


Dibujó:	Julían Barrera Juan Navarro	Institución:	Universidad Industrial de Santander
Escala:	1:5	Proyecto:	Máquina BTC
Revisó:	Jabid Quiroga	Contiene:	
Fecha:	16-06-2014	Sistema de dibujo:	
		Formato:	A4
		Nota:	

### 6. Base de la máquina

1 2 3 4 5 6

A B C



Dibujó: Julián Barrera  
Juan Navarro

Escala: 1:5  
Proyecto: Máquina BTC

Revisó: Jabid Quiroga

Fecha: 16-06-2014

Institución: Universidad Industrial de Santander

Contiene:

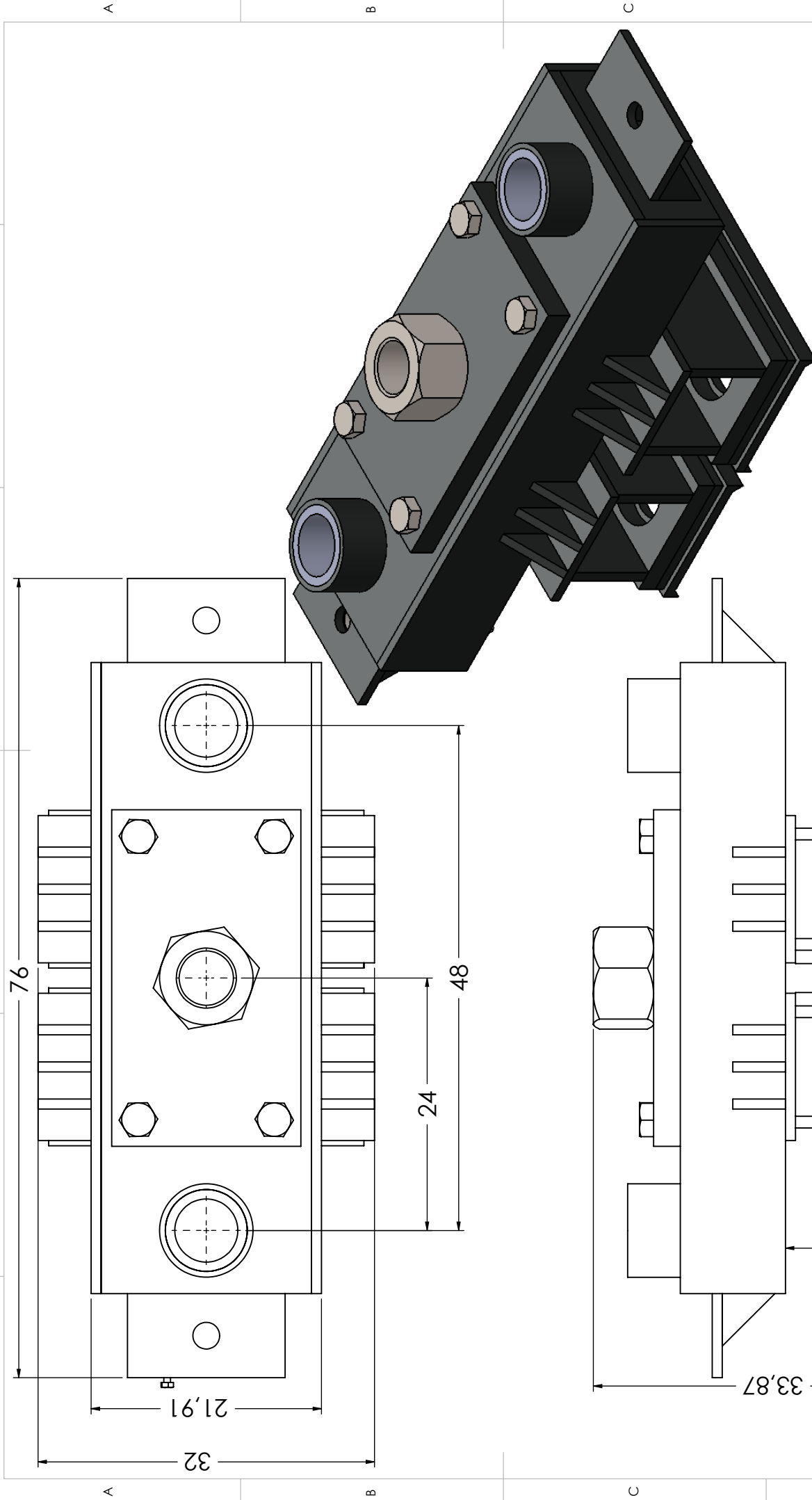
### 7. Conjunto de prensado inferior

Sistema de dibujo: 

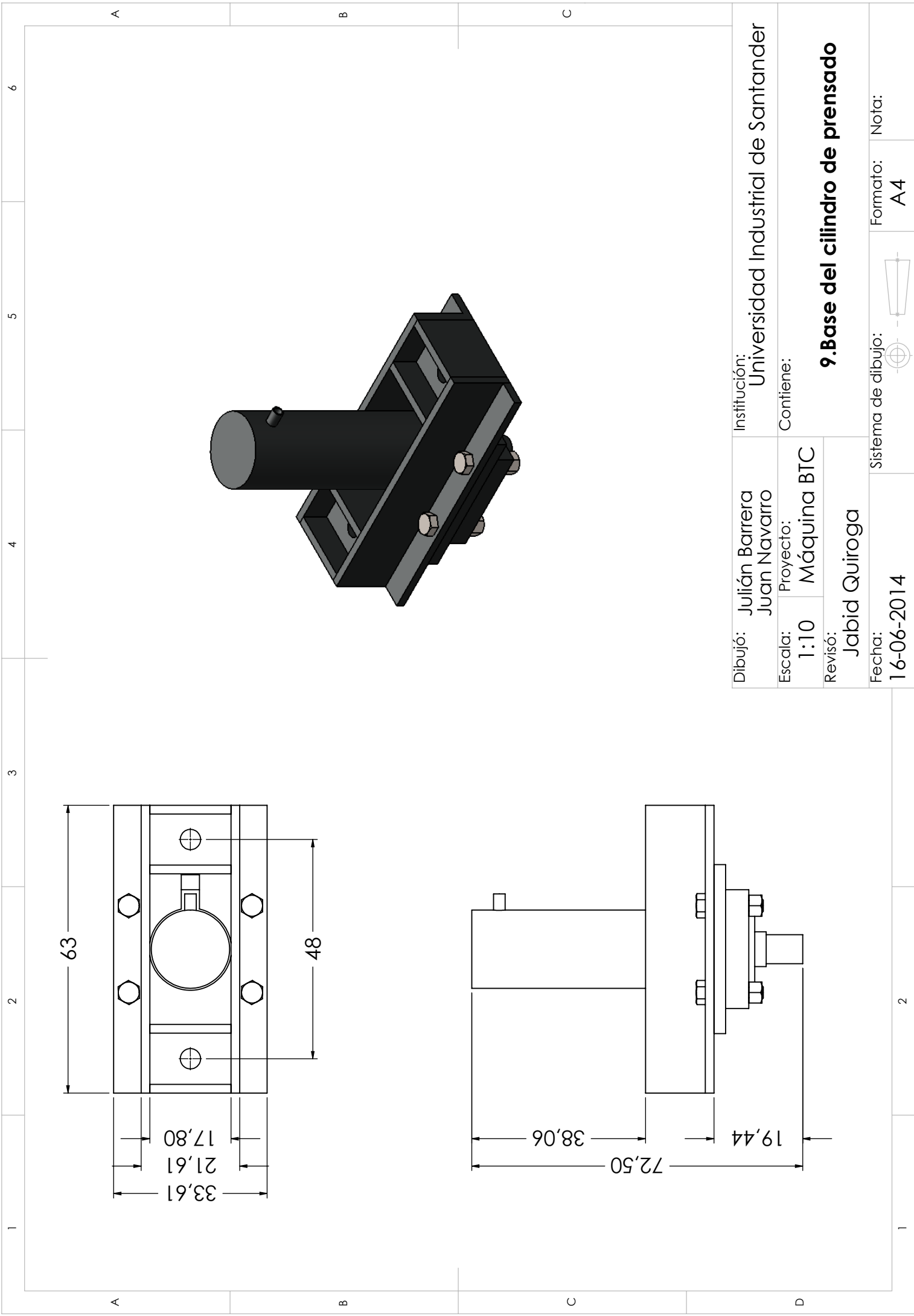
Formato: A4

Nota:

1 2 3 4 5 6

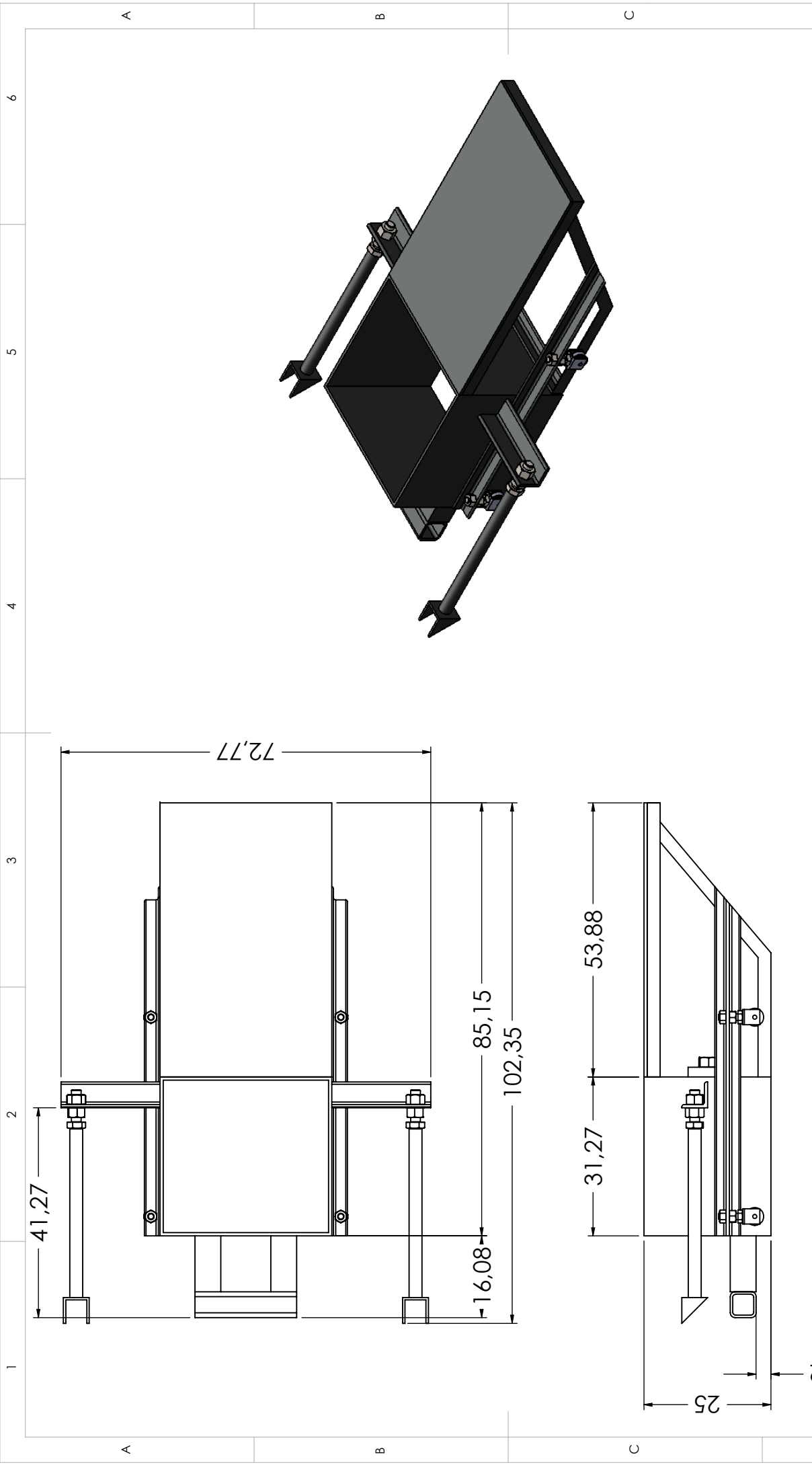


Dibujó:	Julían Barrera Juan Navarro	Institución:	Universidad Industrial de Santander
Escala:	1:5	Proyecto:	Máquina BTC
Revisó:	Jabid Quiroga	Contiene:	<b>8. Conjunto de prensado superior</b>
Fecha:	16-06-2014	Sistema de dibujo:	
		Formato:	A4
		Nota:	

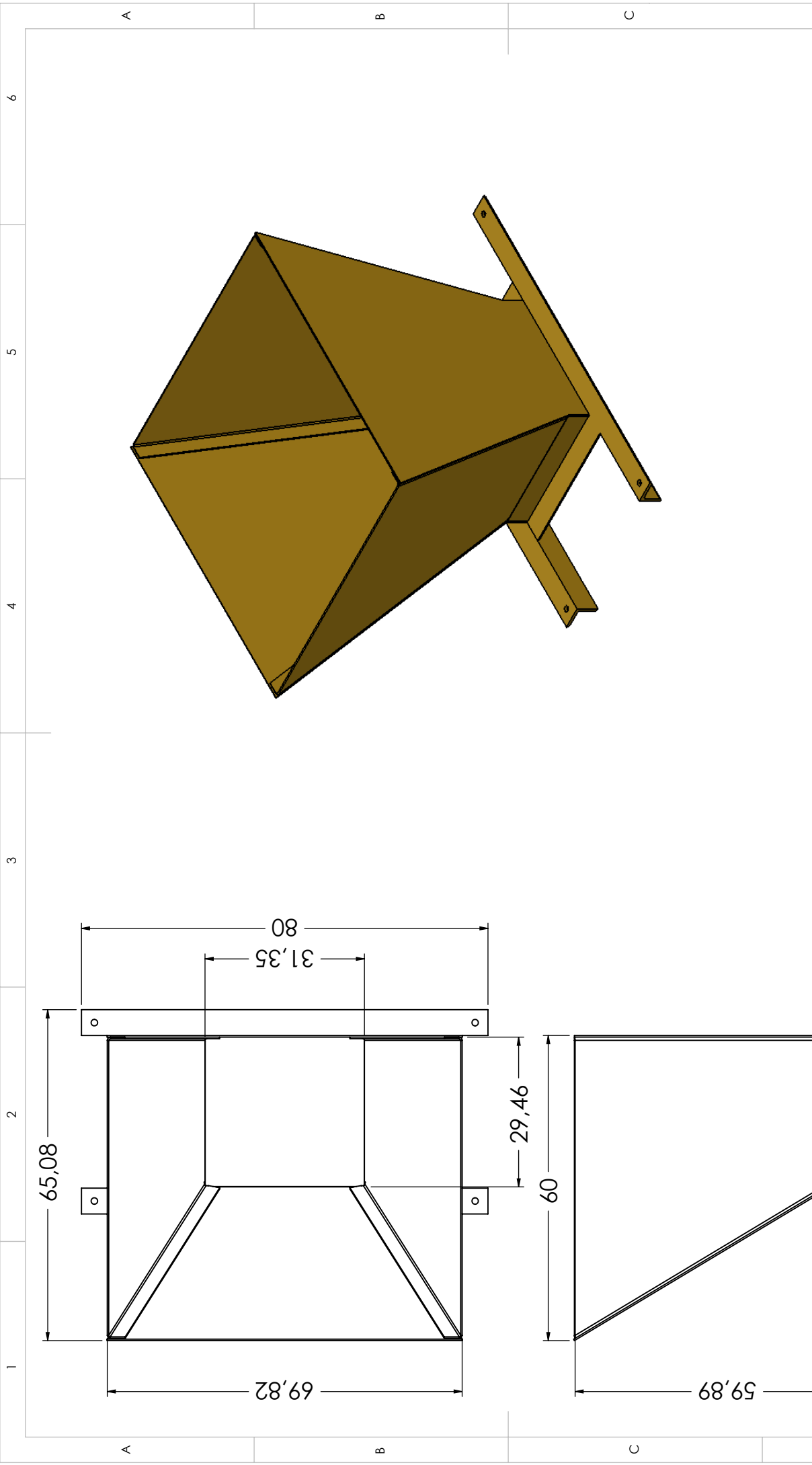



Dibujó:	Julían Barrera Juan Navarro	Institución:	Universidad Industrial de Santander
Escala:	1:10	Proyecto:	Máquina BTC
Revisó:	Jabid Quiroga	Contiene:	
Fecha:	16-06-2014	Sistema de dibujo:	
		Formato:	A4
		Nota:	

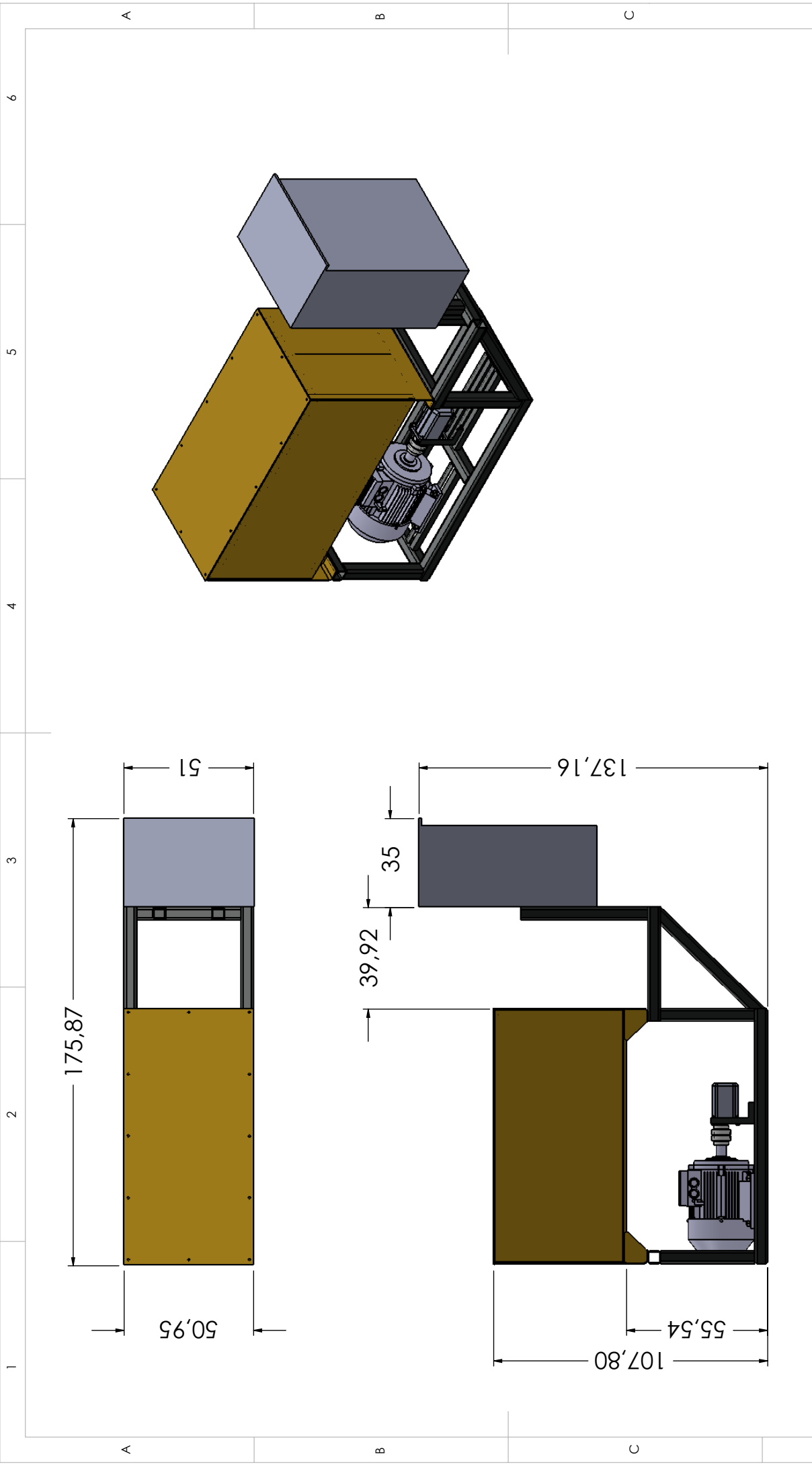
### 9. Base del cilindro de prensado



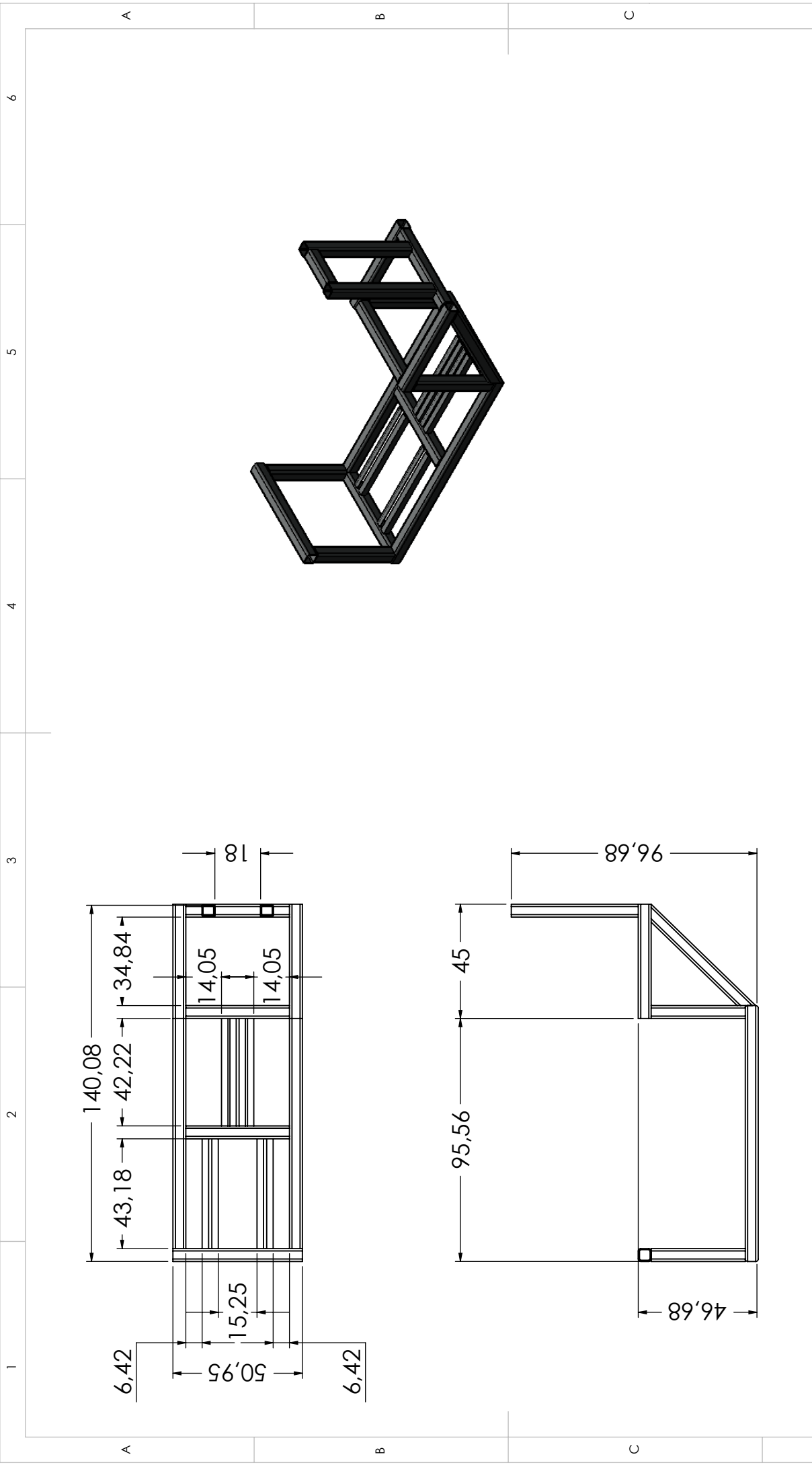
Dibujó:	Julían Barrera Juan Navarro	Institución:	Universidad Industrial de Santander
Escala:	1:10	Proyecto:	Máquina BTC
Revisó:	Jabid Quiroga	Contiene:	<b>10.Cargador</b>
Fecha:	16-06-2014	Sistema de dibujo:	
		Formato:	A4
		Nota:	




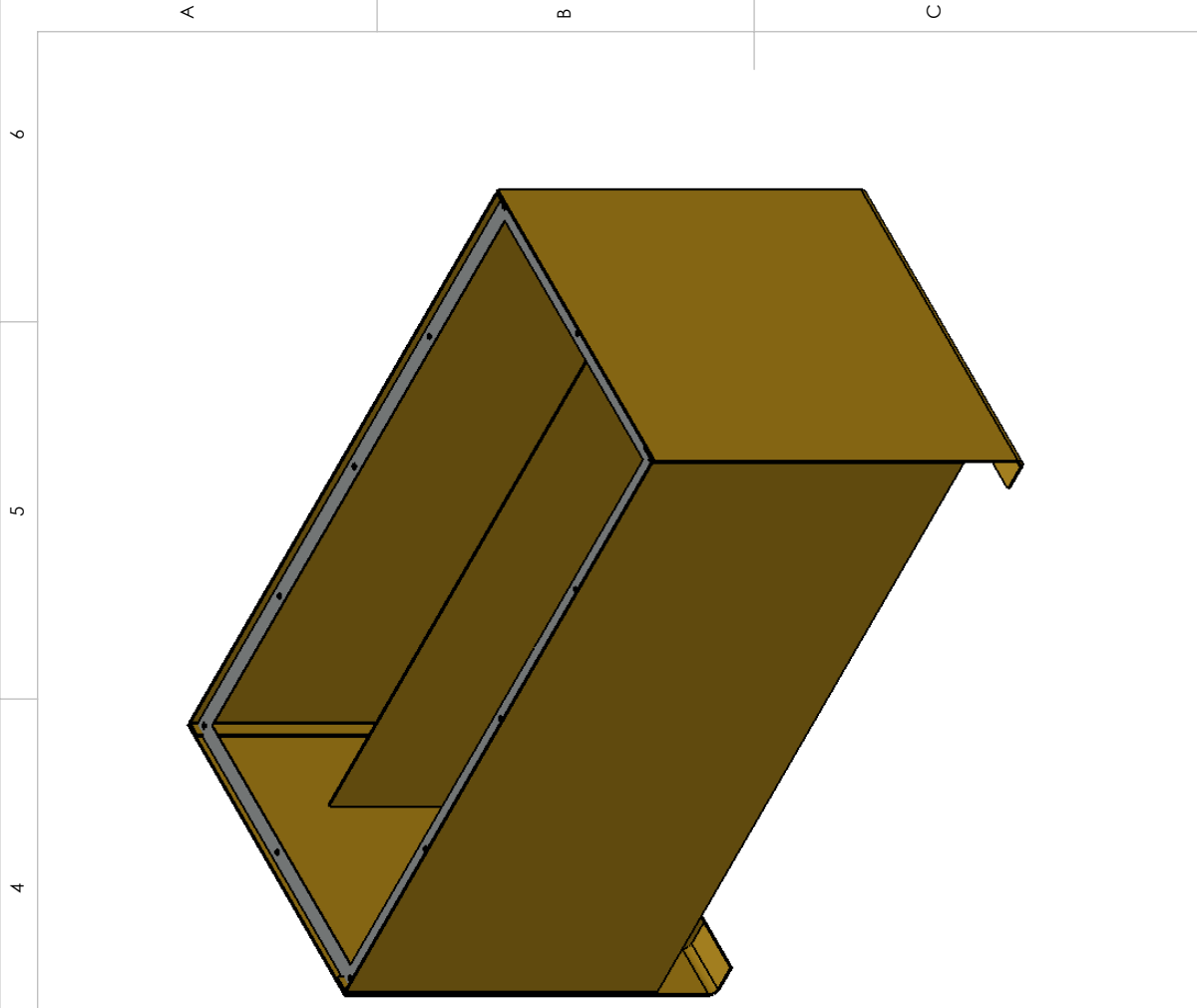
Dibujó:	Julían Barrera Juan Navarro	Institución:	Universidad Industrial de Santander
Escala:	1:10	Proyecto:	Máquina BTC
Revisó:	Jabid Quiroga	Contiene:	11.TOLVA
Fecha:	16-06-2014	Sistema de dibujo:	
		Formato:	A4
		Nota:	




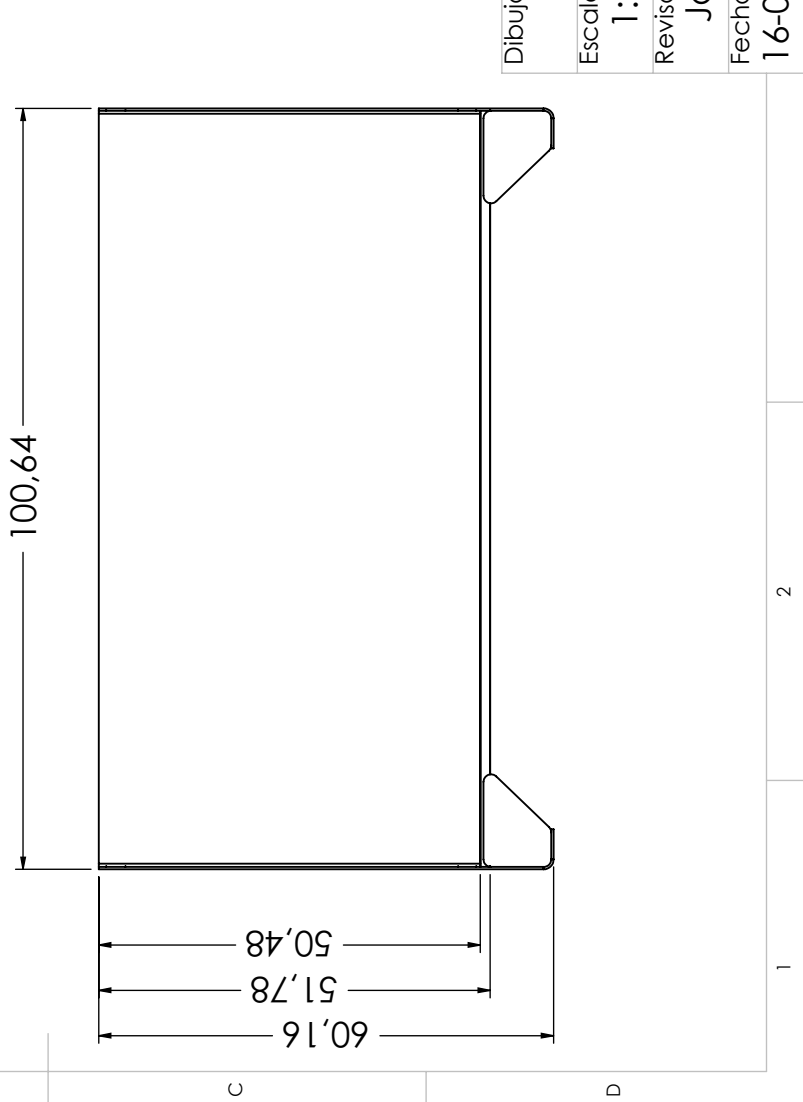
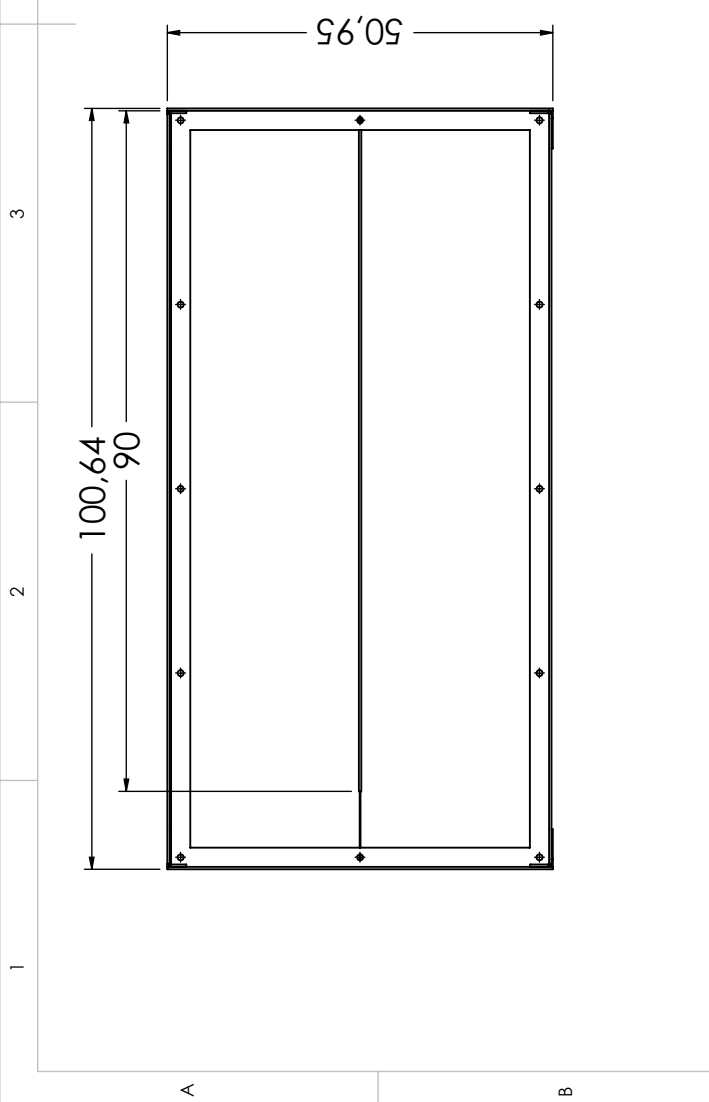
Dibujó:	Julían Barrera Juan Navarro	Institución:	Universidad Industrial de Santander
Escala:	1:20	Proyecto:	Máquina BTC
Revisó:	Jabid Quiroga	Contiene:	<b>12.Unidad de potencia</b>
Fecha:	16-06-2014	Sistema de dibujo:	
		Formato:	A4
		Nota:	



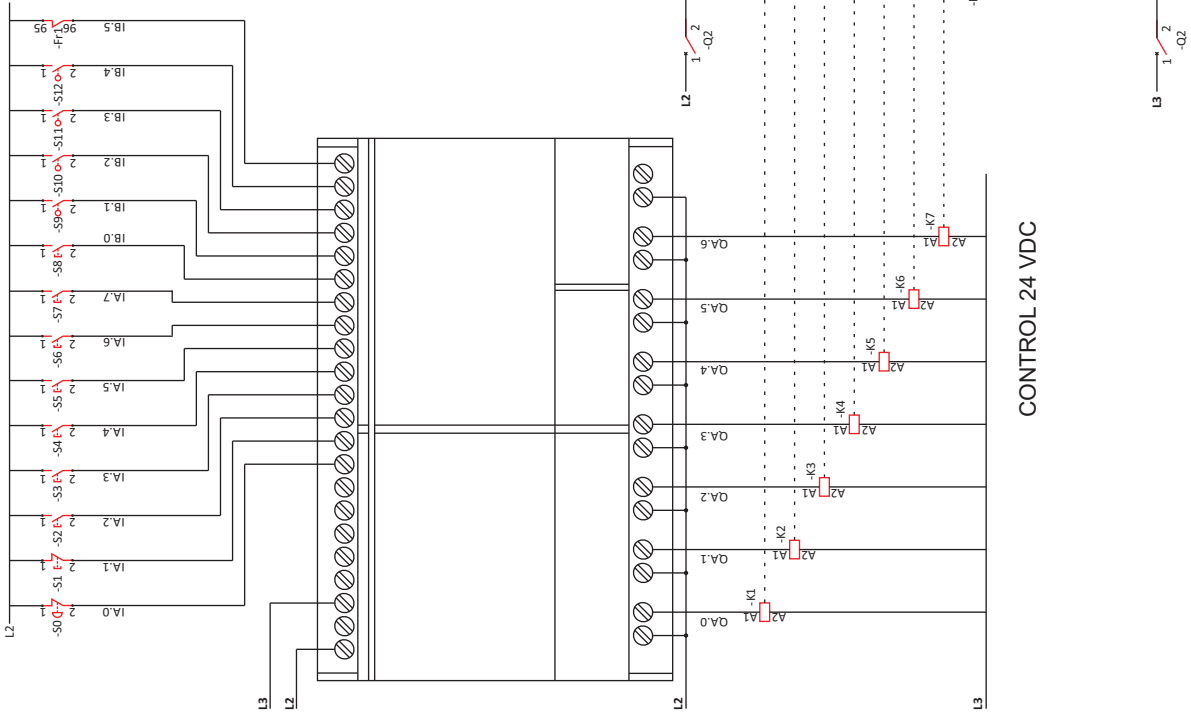
Dibujó: Julián Barrera Juan Navarro	Institución: Universidad Industrial de Santander Contiene:
Escala: 1:20 Proyecto: Máquina BTC	<b>13. Estructura unidad de potencia</b>
Revisó: Jabid Quiroga	Sistema de dibujo: 
Fecha: 16-06-2014	Formato: A4 Nota:



Dibujó:	Julían Barrera Juan Navarro	Institución:	Universidad Industrial de Santander
Escala:	1:10	Proyecto:	Máquina BTC
Revisó:	Jabid Quiroga	Contiene:	<b>14. Conjunto de prensado superior</b>
Fecha:	16-06-2014	Sistema de dibujo:	
		Formato:	A4
		Nota:	

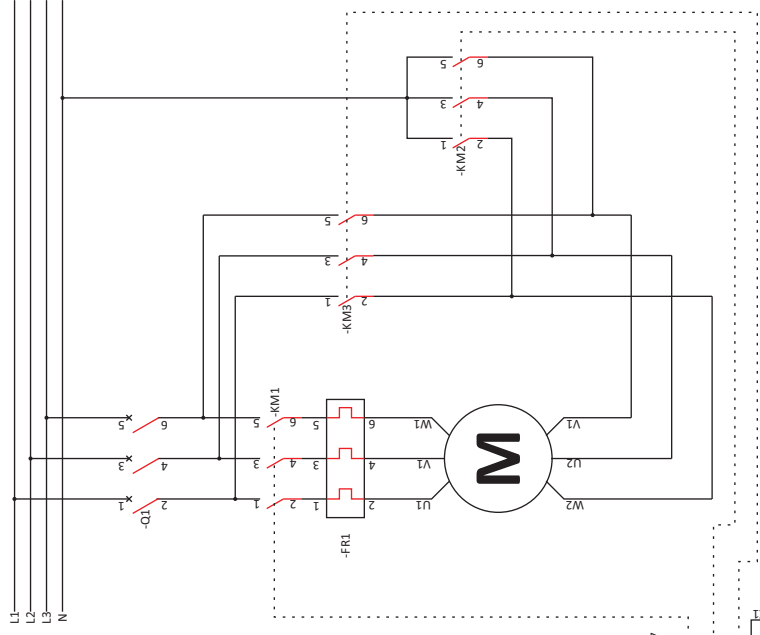


## **ANEXO C. PLANO GENERAL DEL SISTEMA ELÉCTRICO Y DE CONTROL**

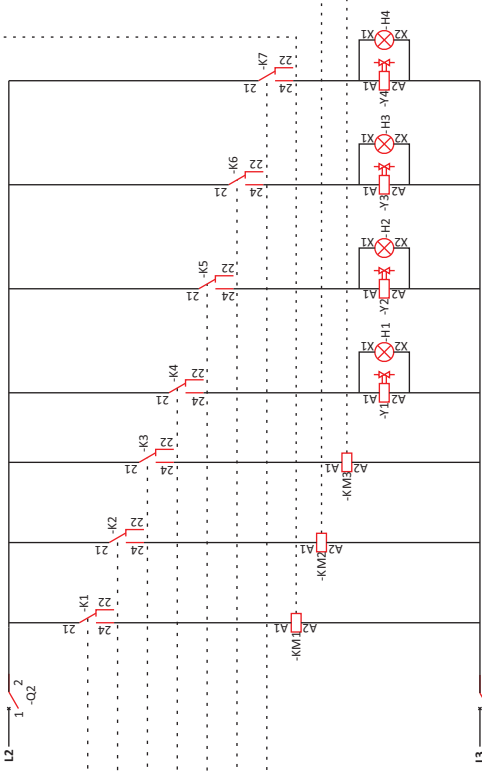


- K1: Relé contactor para alimentación motor
- K2: Relé contactor para arranque en estrella
- K3: Relé contactor para arranque en triángulo
- K4: Relé solenoide A1+ de electroválvula
- K5: Relé solenoide B1+ de electroválvula
- K6: Relé solenoide A2+ de electroválvula
- K7: Relé solenoide B2+ de electroválvula
- KM1: Contactor para alimentación motor
- KM2: Contactor para arranque en estrella
- KM3: Contactor para arranque en triángulo
- Y1: Solenoide A1+ de electroválvula (descenso)
- Y2: Solenoide B1+ de electroválvula (descenso)
- Y3: Solenoide A2+ de electroválvula (retroceso)
- Y4: Solenoide B2+ de electroválvula (retroceso)
- H1: Piloto solenoide A1+ de electroválvula
- H2: Piloto solenoide B1+ de electroválvula
- H3: Piloto solenoide A2+ de electroválvula
- H4: Piloto solenoide B2+ de electroválvula
- FR1: Relé de sobrecarga
- Q1: Interruptor termomagnético para motor
- Q2: Parada de emergencia
- S1: Pulsador pausa de operación
- S2: Pulsador para arranque del motor
- S3: Pulsador de inicio de ciclo
- S4: Pulsador de avance
- S5: Pulsador de retroceso
- S6: Pulsador de ascenso
- S7: Pulsador de descenso
- S8: Selector de modo
- S9: Final de carrera posterior
- S10: Final de carrera anterior
- S11: Final de carrera superior
- S12: Final de carrera inferior

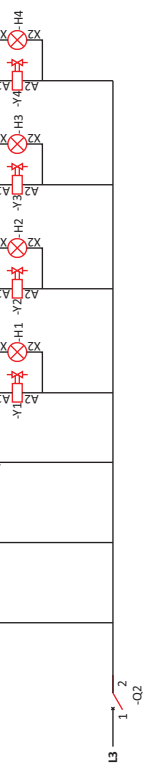
POTENCIA 220 VAC



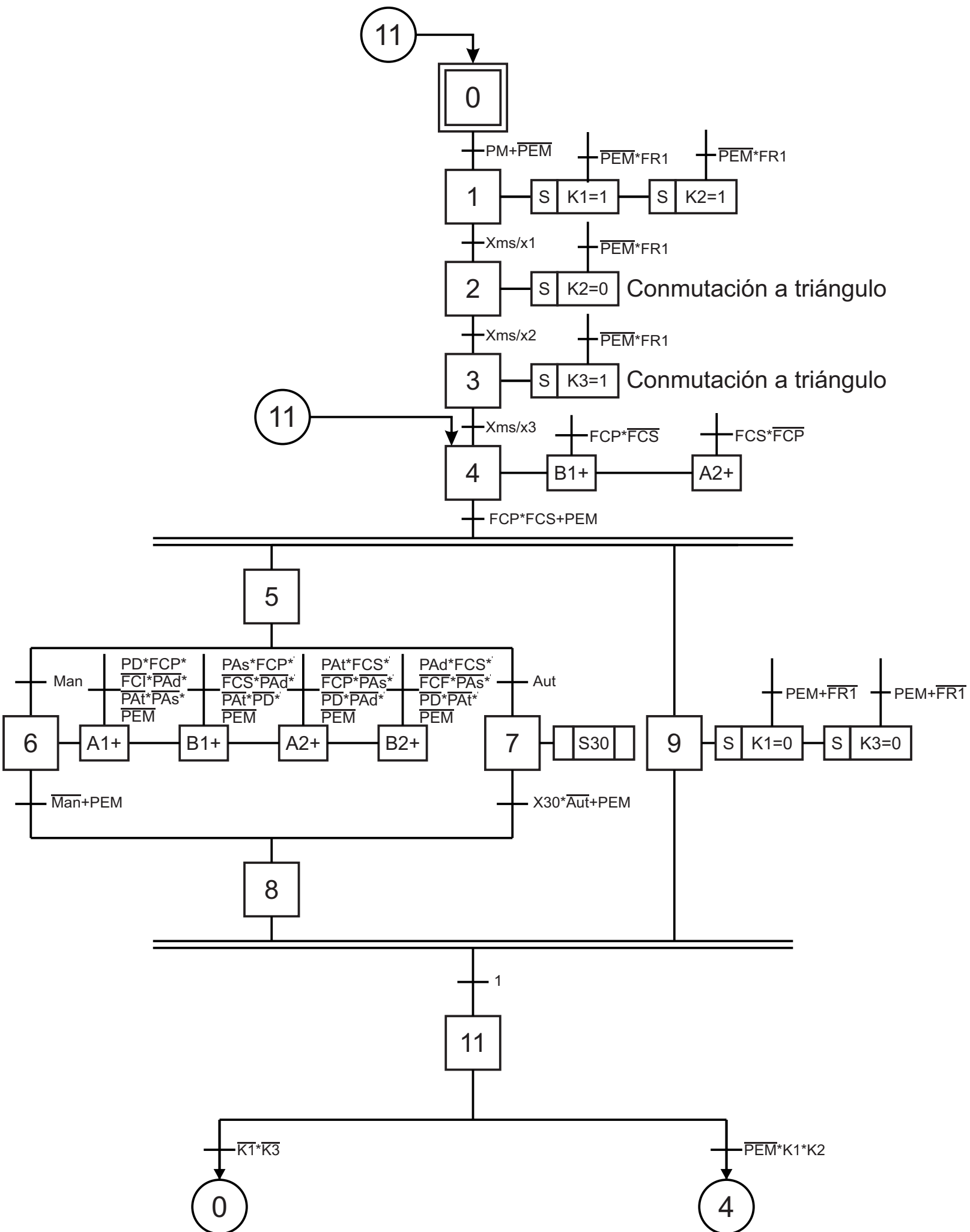
CONTROL 220 VAC

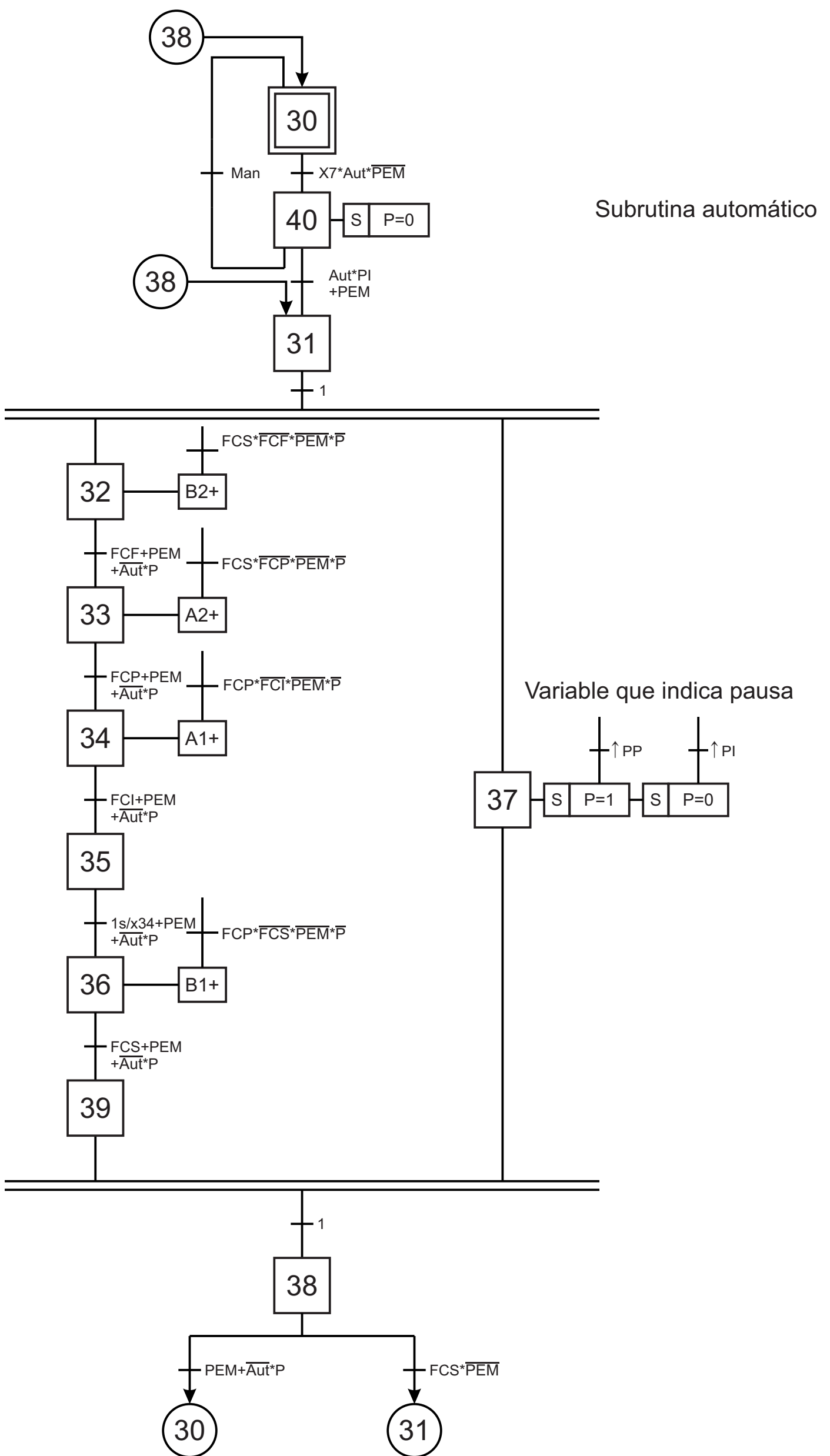


CONTROL 24 VDC



## ANEXO D. GRAFCET





## **ANEXO E. PROGRAMACIÓN DEL PLC**

