

DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA FABRICAR LADRILLO PRENSADO PARA
LA EMPRESA LADRILLOS PRENSADOS DE OCCIDENTE

MATEO ARIAS BENAVIDES

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2.018

DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA FABRICAR LADRILLO PENSADO PARA LA
EMPRESA LADRILLOS PENSADOS DE OCCIDENTE

MATEO ARIAS BENAVIDES

Proyecto integral para optar por el título de
INGENIERO MECÁNICO

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA
FACULTAD DE INGENIERAS
PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C
2.018

Nota de aceptación:

Presidente del Jurado
Ing. Víctor Raul Gonzalez

Jurado 1
Ing. Álvaro Romero Suárez

Jurado 2
Ing. Andrés Zapata Zaad

Bogotá D.C. Septiembre 25 de 2.018

DIRECTIVAS DE LA UNIVERSIDAD

Presidente de la Universidad y Rector del Claustro

Dr. Jaime Posada Díaz

Vicerrector de Desarrollo y Recursos Humanos

Dr. Luis Jaime Posada García-Peña

Vicerrectora Académico y de Posgrados

Dra. Ana Josefa Herrera Vargas

Decano general Facultad de Ingenierías

Ing. Julio Cesar Fuentes Arismendi

Director del Departamento de Ingeniería Mecánica

Ing. Carlos Mauricio Veloza Villamil

Las directivas de la Universidad América los jurados calificadores y el cuerpo de docente no son responsables por los criterios e ideas expuestas en el presente documento. Estos corresponden únicamente a los autores.

Dedico este documento a mis padres y hermana, por su apoyo incondicional en cada etapa de mi vida, por su gran esfuerzo en formar una persona con los valores y cualidades necesarias que requiere un hombre y un profesional integral. Quiero destacar el acompañamiento de cada uno de mis profesores a lo largo de mi paso por la universidad, como también el de aquellas personas que me regalaron su tiempo y enseñanzas en esta etapa de mi camino.

Gracias a Dios por permitirme llegar hasta aquí, espero poder seguir construyendo un camino lleno de éxito.

CONTENIDO

	pág.
INTRODUCCIÓN	16
1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL	18
1.1 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE MATERIA PRIMA	18
1.2 SISTEMA DE COMPACTACIÓN	19
1.3 SISTEMA DE EXTRACCIÓN DEL PRODUCTO	19
2. CONCEPTUALIZACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN	20
2.1 PROCESO Y FUNCIONAMIENTO	20
2.1.1 Abastecimiento	20
2.1.2 Compactación	21
2.1.3 Expulsión	21
2.2 PARÁMETROS DE DISEÑO	21
3. PLANTEAMIENTO Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS	23
3.1 ALTERNATIVA 1	23
3.2 ALTERNATIVA 2	24
3.3 ALTERNATIVA 3	25
3.4 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS	25
3.5 DISEÑO FUNCIONAL	27
4. DISEÑO DETALLADO	29
4.1 CÁLCULO DE ELEMENTOS SISTEMA HIDRÁULICO	29
4.1.1 Materiales del cilindro hidráulico	30
4.1.2 Fuerza de compactación	30
4.1.3 Longitud de carrera	32
4.1.4 Cálculo del vástago	33
4.1.4.1 Diámetro mínimo de pandeo	33
4.1.4.2 Carga admisible del vástago	34
4.1.4.3 Cálculo del diámetro del émbolo	37
4.2 CÁLCULO DE LA UNIDAD HIDRÁULICA	38
4.2.1 Cálculo del volumen del cilindro	38
4.2.2 Cálculo del caudal del aceite	39
4.2.3 Selección de mangueras	40
4.2.4 Cálculo de velocidad del fluido en la tubería	42
4.2.5 Selección del aceite	42
4.2.6 Selección de la bomba	43
4.2.7 Potencia del motor	45
4.2.8 Cálculo del depósito de aceite	46
4.3 SISTEMA DE CONTROL HIDRÁULICO	47
4.4 CÁLCULOS ESTRUCTURALES	48

4.4.1 Elementos críticos de la estructura	49
4.4.2 Cálculo de viga	55
4.4.3 Cálculo de columna	58
4.4.4 Columnas de placa móvil	62
4.4.5 Diseño y funcionamiento de moldes	73
4.4.6 Diseño de elementos de abastecimiento	81
4.5 CÁLCULO DE PASADORES	82
4.5.1 Selección del material	83
4.5.2 Cálculo del diámetro mínimo de pasadores	83
4.6 CÁLCULO DE PERNOS	88
4.7 SOLDADURA	95
5. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS	101
5.1 MÁQUINA COMPACTADORA	101
6. MANUALES	105
6.1 INSTALACIÓN DE LA MÁQUINA	105
6.2 COMPONENTES DE LA MÁQUINA	106
6.2.1 Estructura general	106
6.2.2 Placa móvil	106
6.2.3 Sistema de sello y seguridad	107
6.2.4 Sistema hidráulico	108
6.3 OPERACIÓN DE LA MÁQUINA	109
6.3.1 Encendido	109
6.3.2 Abastecimiento y distribución	110
6.3.3 Compactación	111
6.3.4 Producto final	112
6.4 MANUAL DE MANTENIMIENTO	112
7. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL	114
8. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO	116
8.1 INVERSIÓN	116
8.1.2 Costos de materiales de fabricación	117
8.1.3 Costo total de fabricación	117
8.2 EVALUACIÓN DE COSTOS	117
8.3 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO	118
8.3.1 Costo de operario	118
8.3.2 Análisis de maquinaria	118
8.4 ANÁLISIS FINANCIERO	119
9. CONCLUSIONES	122
10. RECOMENDACIONES	123

BIBLIOGRAFÍA	124
ANEXOS	127

LISTA DE GRÁFICOS

	pág.
Gráfico 1. Conceptualización del diseño	20
Gráfico 2. Esquema máquina con gato hidráulico	24
Gráfico 3. Esquema sistema Neumático	24
Gráfico 4. Esquema sistema hidráulico	25
Gráfico 5. Esquema máquina compactadora de ladrillo	28
Gráfico 6. Sistema hidráulico	29

LISTA DE IMÁGENES

	pág.
Imagen 1. Abastecimiento de materia prima	18
Imagen 2. Máquina de operación manual	19
Imagen 3. Extracción del producto	19
Imagen 4. Manipulación del ladrillo	22
Imagen 5. Materiales del cilindro hidráulico	30
Imagen 6. Área del ladrillo	31
Imagen 7. Diámetro mínimo de pandeo	33
Imagen 8. Coeficiente K	35
Imagen 9. Coeficiente S	36
Imagen 10. Catálogo comercial	37
Imagen 11. Diámetro de tuberías	41
Imagen 12. Selección de mangueras	41
Imagen 13. Propiedades del aceite	43
Imagen 14. Eficiencia de bomba	44
Imagen 15. Selección de bomba	45
Imagen 16. Selección de motor	46
Imagen 17. Dimensiones unidad hidráulica	47
Imagen 18. Sistema Hidráulico	47
Imagen 19. Elementos críticos	50
Imagen 20. Diagrama de cuerpo libre carga puntual	50
Imagen 21. Cortes de la viga	51
Imagen 22. Fuerza cortante y momento flector	52
Imagen 23. Perfiles comerciales	54
Imagen 24. Von Mises	55
Imagen 25. Von mises	58
Imagen 26. Columnas placa móvil	59
Imagen 27. Perfil sección C	59
Imagen 28. Factor de longitud efectiva	60
Imagen 29. Von Mises	62
Imagen 30. Vista superior de moldes	63
Imagen 31. Vista frontal de moldes	63
Imagen 32. Diagrama de cuerpo libre placa	67
Imagen 33. Diagrama de cuerpo libre real	68
Imagen 34. Unidades de moldes	69
Imagen 35. Lámina acero A572 Gr 50	70
Imagen 36. Guías de moldes	71
Imagen 37. Fijación de guías de molde	71
Imagen 38. Guías de moldes actuales	72
Imagen 39. Fijación del sistema	72
Imagen 40. Unidades de molde	73
Imagen 41. Ángulo de reposo	74

Imagen 42. Dimensiones de la tolva	75
Imagen 43. Elementos laterales de la tolva	75
Imagen 44. Elementos complementarios	76
Imagen 45. Tolva	76
Imagen 46. Radio	77
Imagen 47. Tolva actual	80
Imagen 48. Apoyo sobre rodamientos	81
Imagen 49. Cajón de almacenamiento	82
Imagen 50. Pasadores	83
Imagen 51. Diagrama de cuerpo libre	84
Imagen 52. Catálogo de pasadores	86
Imagen 53. Diagrama de cuerpo libre	87
Imagen 54. Pernos	89
Imagen 55. Especificaciones	89
Imagen 56. Perno	90
Imagen 57. Longitud de sujeción	90
Imagen 58. Dimensiones de perno	91
Imagen 59. Soldadura	96
Imagen 60. Resistencia de soldadura	97
Imagen 61. Selección de tipo de soldadura	97
Imagen 62. Fuerza resultante	99
Imagen 63. Diámetro de electrodo	100
Imagen 64. Análisis elementos finitos máquina compactadora	101
Imagen 65. Estado de cargas	103
Imagen 66. Estado de cargas en la tolva	104
Imagen 67. Convergencia de malla	104
Imagen 68. Máquina compactadora para ladrillo prensado	105
Imagen 69. Estructura general	106
Imagen 70. Placa móvil	107
Imagen 71. Sello de tapa	107
Imagen 72. Sistema de sello y seguridad	108
Imagen 73. Funcionamiento de tapa	108
Imagen 74. Sistema hidráulico	109
Imagen 75. Interruptor de arranque y parada	109
Imagen 76. Abastecimiento de mezcla	110
Imagen 77. Distribución de mezcla	110
Imagen 78. Válvula	111
Imagen 79. Compactación	111
Imagen 80. Ladrillo prensado	112

LISTA DE CUADROS

	pág.
Cuadro 1. Evaluación de atributos	26
Cuadro 2. Ponderación de atributos	26
Cuadro 3. Diámetros normalizados	32
Cuadro 4. Módulo de elasticidad	34
Cuadro 5. Componentes sistema hidráulico	48
Cuadro 6. Impacto ambiental	114
Cuadro 7. Costos de ingeniería	116
Cuadro 8. Costos de fabricación	117
Cuadro 9. Evaluación entre máquina actual y máquina diseñada	118

LISTA DE ANEXOS

	pág.
Anexo A. Estudio de suelos	128
Anexo B. Propiedades lámina de acero A572 GR50	129
Anexo C. Propiedades AISI 1045	130
Anexo D. Rodamiento de bolas	131
Anexo E. Válvula 4/2	132
Anexo F. Cotización materiales estructurales	133
Anexo G. Cotización unidad hidráulica	134
Anexo H. Cotización GRACOMAC S.A.S	135
Anexo I. Cotización mantenimiento	136
Anexo J. Cotización acometida eléctrica	137
Anexo K. Cotización puesta a punto	138
Anexo L. Depreciación de Maquinaria	139

RESUMEN

En este proyecto se realizó el “DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA LA FABRICACIÓN DE LADRILLO PRENSADO”, con el fin de mejorar las operaciones de producción y el rendimiento de máquinas ya existentes. Con este desarrollo se garantizan mejores condiciones de trabajo para el operario a nivel de seguridad y fácil manejo en los procesos de producción del ladrillo.

Para el diseño Inicialmente, se efectuaron diferentes análisis con el producto final que generan los procesos existentes, esto evidencio inconsistencias a causa de falta de presión constante en su proceso, lo cual llevó al planteamiento de tres alternativas de sistemas de compactación, dando lugar a la selección de la alternativa que dé solución a la necesidad del proceso.

Se realizaron cálculos estructurales y del sistema hidráulico que componen la máquina compactadora.

Con la obtención de información comprobada respecto a las dimensiones y selección de materiales de la estructura respecto a la fuerza que esta estará sometida, se generaron los planos de fabricación, con sus respectivos manuales de ensamble y operación.

Se desarrollo el estudio financiero que permite identificar la viabilidad de un proyecto determinando factores como lo son VPN, generando seguridad a la empresa en realizar el proyecto.

Finalmente, se realizó el estudio ambiental que refleja el compromiso de la empresa, con el medio ambiente estipulando que el desarrollo del proyecto tiene que estar direccionado con la reducción de emisiones y contaminantes.

Palabras clave: Diseño, Máquina, Ladrillo prensado.

INTRODUCCIÓN

La *importancia* del desarrollo del proyecto genera mejorar las propiedades de sus productos, basándose en la implementación de variables físicas como la presión durante el proceso de compactación en la fabricación de ladrillo con el fin de obtener un producto homogéneo en las características finales, además, se busca el aumento de unidades producidas al día para cumplir con la demanda del sector.

La empresa LADRILLOS PRENSADOS DE OCCIDENTE, actualmente presenta una problemática en la fabricación de ladrillos prensados manualmente, el *origen* de este problema se centra en la falta de presión constante durante el ciclo de producción en las máquinas encargadas de realizar el proceso de compactación.

El *objetivo* general es diseñar una máquina para fabricar ladrillo prensado. En consecuencia, se plantearon los siguientes objetivos específicos que ayudan al desarrollo del proyecto;

- ✓ Diagnosticar la situación actual de la producción del ladrillo prensado
- ✓ Establecer parámetros y requerimientos funcionales
- ✓ Plantear y evaluar las alternativas de diseño para la solución en el sistema de compactación para la elaboración de ladrillos prensados
- ✓ Desarrollar el diseño detallado
- ✓ Elaboración de planos de fabricación de la máquina
- ✓ Simular por el método de elementos finitos la estructura de la máquina
- ✓ Elaborar los manuales de operación y mantenimiento de la máquina
- ✓ Analizar el impacto ambiental de la máquina
- ✓ Evaluar financieramente el proyecto

El *alcance* del proyecto es diseñar una máquina capaz de compactar mezclas compuestas de suelo-cemento dentro de las unidades de molde a una presión constante durante todo el ciclo, garantizando en las características finales un producto homogéneo apto para su uso en obras.

Las *limitaciones* del proyecto consecuente al diseño de una máquina para la fabricación de ladrillo prensado, establece que el proceso inicia desde la

introducción de materia prima (mezcla) suministrada por la empresa en la tolva de la máquina y termina cuando el operario retira el ladrillo de la máquina, se estableció también que no se llevará a cabo la realización de prototipos ni la construcción de la máquina, ya que la fabricación está debidamente ligado a la decisión de la empresa, es importante tener en cuenta que la máquina sólo realiza el proceso de compactación de la materia prima.

La *metodología* de desarrollo del proyecto se lleva a cabo con el diagnóstico de necesidades y limitaciones que genera el proceso de compactación actual, con el fin de poder plantear un diseño eficiente que sea capaz de desarrollar una operación con presión constante durante el ciclo de producción.

La *aplicación* de este tipo de sistemas de compactación en la industria genera procesos ecológicos comprometidos con el medio ambiente en la producción de ladrillo, además, los productos que estos tienen como consecuencia de su accionamiento, son innovadores en ambientes arquitectónicos y estructurales.

1. DIAGNÓSTICO DE LA SITUACIÓN ACTUAL

LADRILLOS PRENSADOS DE OCCIDENTE., es una empresa especializada en la fabricación de ladrillos prensados en la ciudad de Pasto, Colombia.

En sus comienzos la empresa realiza sus operaciones de prensado con una maquinaria operada manualmente, lo que genera un producto no homogéneo en sus características finales, debido a que la presión no es constante durante el proceso de compactación, ya que está ligado a la disposición del operario respectivamente, además las unidades producidas no son suficientes para cumplir con la demanda del mercado, sin embargo, la empresa ha venido desarrollando proyectos de mejoramiento con la implementación de nuevos sistemas de prensados que garanticen las condiciones de un producto final que cumpla con las normas establecidas para su comercialización.

1.1 SISTEMA DE ABASTECIMIENTO DE MATERIA PRIMA

En este proceso el operario encargado del abastecimiento de la materia prima, es responsable de realizar la mezcla en las proporciones correspondientes de los diferentes componentes del producto final, esta mezcla debe pasar por un proceso de mezclado industrial (Máquina mezcladora) para posteriormente introducirla en la tolva de la máquina por un medio manual.

Imagen 1. Abastecimiento de materia prima



Fuente: Elaboración propia.

1.2 SISTEMA DE COMPACTACIÓN

En este proceso se realiza la compactación de la materia prima proveniente de la tolva, el operario encargado de la manipulación de la máquina ejecuta por medio de un sistema de palanca una fuerza a compresión sobre la materia prima dentro de los cajones de unidades para ladrillo.

Imagen 2. Máquina de operación manual



Fuente: Elaboración propia.

1.3 SISTEMA DE EXTRACCIÓN DEL PRODUCTO

En este proceso el operario encargado de retirar el producto después de la compactación, lo hace manualmente, usando guantes de caucho que permiten una mejor manipulación del producto haciendo referencia al no deslizamiento de éste, además, evita el contacto directo con el ladrillo debido a que la mezcla compuesta por suelo-cemento, es perjudicial al contacto con la piel.

Imagen 3. Extracción del producto



Fuente: Elaboración propia.

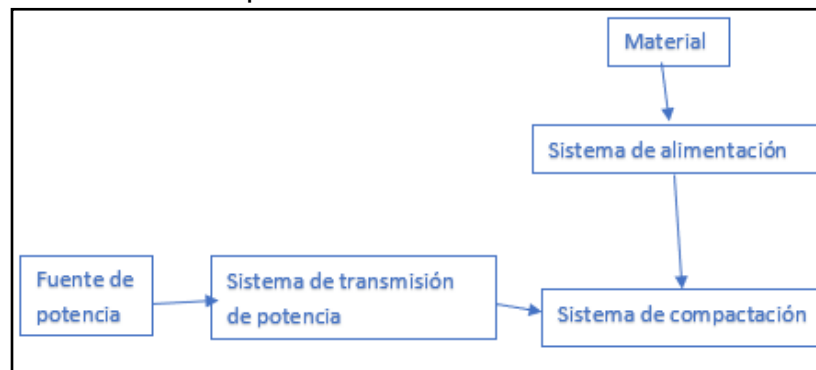
2. CONCEPTUALIZACIÓN Y PARAMETRIZACIÓN

En los parámetros del diseño de la máquina, es de vital importancia identificar la necesidad prioritaria en el desarrollo del proceso de compactación, con el fin de obtener un proceso con propiedades constantes que genere un producto homogéneo en sus características finales. Actualmente, en la industria de producción de ladrillo prensado existen máquinas especializadas en esta operación que tienen un elevado costo por su envergadura y su amplia funcionalidad respectivamente, debido a esto se busca el diseño de una máquina capaz de realizar las operaciones básicas de compactación a un costo más asequible al público garantizando condiciones finales del producto según la normatividad para su comercialización.

2.1 PROCESO Y FUNCIONAMIENTO

En el diseño de la máquina encargada de la fabricación de ladrillo prensado como primer parámetro del proceso, se inicia con la adición de materia prima a cargo del operario en la tolva de la máquina, posteriormente, esta llega a un cajón de almacenamiento donde distribuye la materia prima en las dos unidades del molde respectivamente, es aquí donde el sistema hidráulico realiza operaciones de compactación a una presión constante durante todo el proceso de fabricación del ladrillo prensado, seguidamente, se expulsa el producto de las unidades del molde y se retira con características homogéneas para ser llevado a la siguiente etapa del proceso. (ver gráfico 1).

Gráfico 1. Conceptualización del diseño



Fuente: Elaboración propia.

2.1.1 Abastecimiento. Es una etapa del proceso realizado por el operario al depositar mezcla en la tolva de la máquina permitiendo así la ejecución de la siguiente función en el desarrollo del proceso.

2.1.2 Compactación. Es un proceso por el cual la materia prima (suelo-cemento), sufre una reducción de volumen al ser sometida a una presión de compactación ejercida por el cilindro hidráulico dentro de las unidades de los moldes.

2.1.3 Expulsión. Esta etapa del proceso es realizada por un operario cuando ha concluido la compactación del material.

2.2 PARÁMETROS DE DISEÑO

La empresa LADRILLOS PRENSADOS DE OCCIDENTE establece una serie de condiciones y características técnicas para el desarrollo del diseño de una máquina compactadora para la fabricación de ladrillos;

- ✓ Una máquina capaz de compactar mezcla compuesta por suelo-cemento con una humedad entre 2-4%. Consultar anexo A
- ✓ Se estima que las nuevas dimensiones del ladrillo prensado son de 39 cm x 14 cm x 6 cm con un peso aproximado de 3,5 kg
- ✓ Se requiere una máquina capaz de compactar materia prima suministrada por la empresa para la fabricación de ladrillos prensados con condiciones de presión constante durante el ciclo de producción (343 psi)
- ✓ El cliente solicita aumentar su producción de mil cuatrocientos cuarenta unidades en seis horas de trabajo (1.440/6h día) a cuatro mil trescientas veinte unidades en seis horas de trabajo al día (4.320/6h día), esto ocurre aumentando las unidades de molde en el nuevo diseño de dos a cuatro unidades por proceso de producción. Con el fin de aprovechar las funciones de los operarios encargados de retirar el producto final de la máquina para ser llevados al siguiente proceso, se establece que cada uno puede llevar en cada mano una unidad de ladrillo prensado (ver imagen 4) además, en consenso con la empresa se llegó a un acuerdo donde se establece que las horas de trabajo serán 8 para cumplir con la producción programada

Producción actual;

$$\frac{1.440 \text{ unidades}}{6 \text{ hr/día}} = 240 \text{ unidades/hr}$$

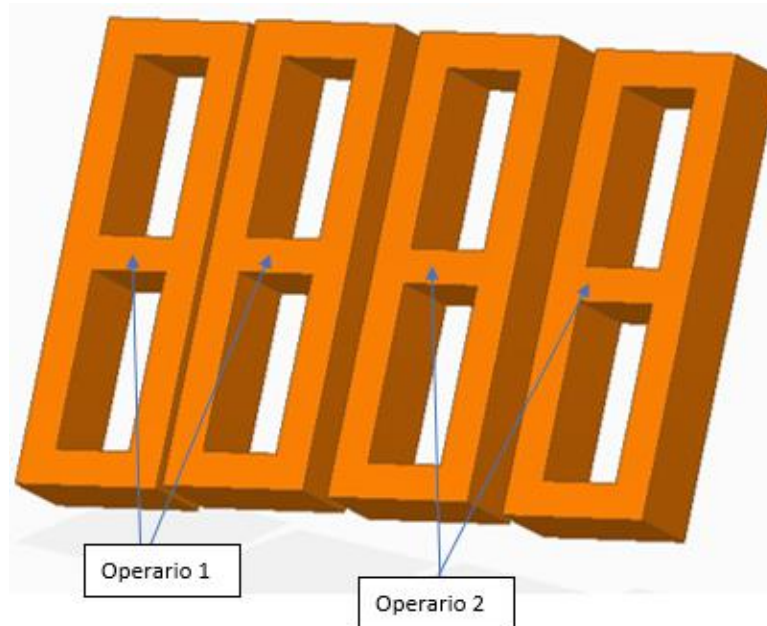
$$240 \frac{\text{unidades}}{\text{hr}} * \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 4 \text{ unidades/min}$$

Producción programada;

$$\frac{4.320 \text{ unidades}}{8 \text{ hr/día}} = 540 \text{ unidades/hr}$$

$$540 \frac{\text{unidades}}{\text{hr}} * \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 9 \text{ unidades/min}$$

Imagen 4. Manipulación del ladrillo



Fuente: Elaboración propia.

Se estableció que el número de ladrillos producidos por ciclo es eficiente para la empresa en cuanto a costos de operarios y solución de demanda del producto de acuerdo con sus necesidades en el mercado.

- ✓ El sistema de operación de compactación del diseño es hidráulico, con el fin de garantizar una presión constante en el proceso de producción
- ✓ Se requiere una máquina de fácil instalación y manipulación, que facilite la interacción con el operario
- ✓ El compromiso ambiental de la empresa LADRILLOS PRENSADOS DE OCCIDENTE acorde con la problemática actual, solicitó que el desarrollo de la producción de la máquina en planta sea ecológico

3. PLANTEAMIENTO Y EVALUACIÓN DE ALTERNATIVAS

La presión es aquella variable que en este proceso requiere mayor atención debido a que de ésta depende el éxito del desarrollo del producto final, para este fin las alternativas de solución presentadas a continuación son respectivamente dirigidas a la solución del sistema que genera presión para la compactación de materia prima.

Las opciones que se tienen en consideración para el diseño de la máquina compactadora, dentro de sus características y funcionalidad deben resaltar el cumplimiento de diferentes atributos que permiten hacer una evaluación y selección de la mejor alternativa.

Las alternativas de solución deben tener en cuenta los siguientes atributos para el desarrollo del diseño;

- ✓ Fácil instalación y montaje
- ✓ Presión constante
- ✓ Menor costo de fabricación
- ✓ Fácil manipulación para el operario

La valoración numérica de los atributos es de 3 a 1, esto con la finalidad de evaluar la funcionalidad de cada uno de estos dentro de las alternativas de solución, con esta información es posible realizar la ponderación y posterior análisis de resultados permitiendo de esta forma hacer la selección de la mejor alternativa.

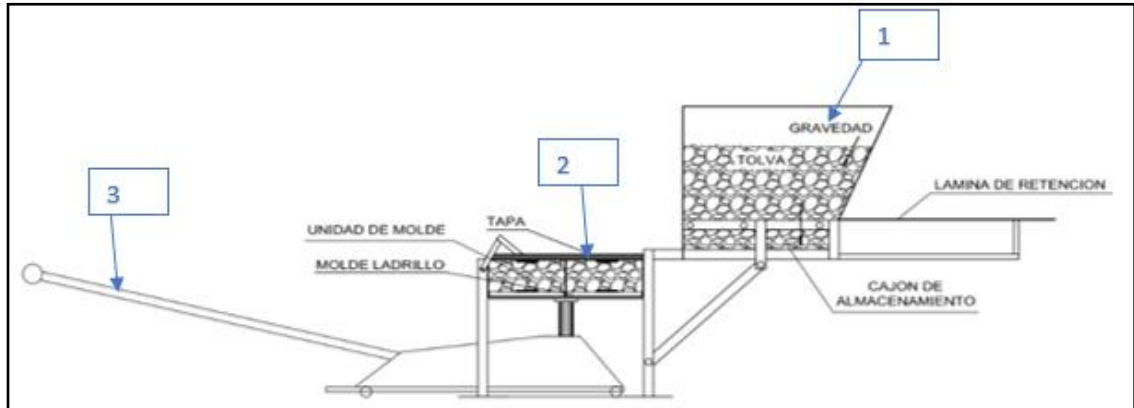
A continuación, se muestra la escala para realizar la ponderación de atributos reflejados en los cuadros 1 y 2: no muy favorable (1), no favorable (2), muy favorable (3).

3.1 ALTERNATIVA 1

Como alternativa para la solución al problema de la fabricación de ladrillo prensado manualmente, se plantea la implementación de un gato hidráulico accionado por una palanca manualmente, donde garantiza un aumento de presión al proceso de compactación de materia prima (1) suministrada por el operario a través de la tolva de la máquina dirigiendo el contenido que cae por gravedad al cajón de almacenamiento, a continuación este permite distribuir la mezcla en las unidades de moldes (2) y finalmente realiza la operación de compactación al accionar el gato hidráulico (3). (Ver gráfico 2).

Este sistema genera mayor presión en la compactación de los componentes empleados para la fabricación de ladrillo a comparación de un sistema de palanca convencional, pero genera mayor uso de tiempo al requerir que el operario accione repetidas veces la palanca del gato hidráulico.

Gráfico 2. Esquema máquina con gato hidráulico

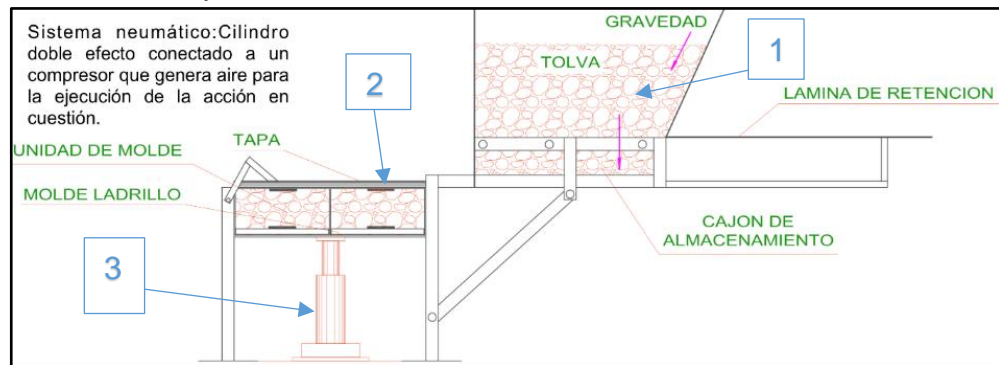


Fuente: Elaboración propia.

3.2 ALTERNATIVA 2

Como segunda alternativa de solución al problema de fabricación de ladrillos prensados manualmente se plantea un sistema de compactación neumático, donde garantice una velocidad y presión constante que sea eficaz al momento de hablar de producción, este sistema cuenta con un abastecimiento por parte del operario que introduce la materia prima por la tolva de la máquina (1) que cae por gravedad al cajón de almacenamiento que posteriormente deja distribuir la mezcla en las unidades del molde (2), finalmente se realiza el proceso de compactación con el accionamiento del sistema neumático (3). (Ver gráfico 3).

Gráfico 3. Esquema sistema Neumático

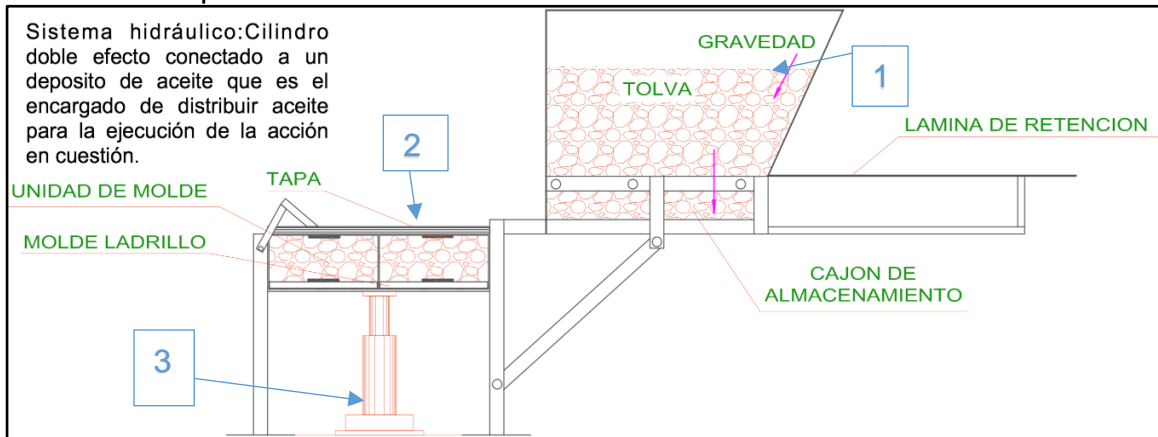


Fuente: Elaboración propia.

3.3 ALTERNATIVA 3

Una tercera alternativa de solución para la fabricación de ladrillos prensados, es la implementación de un sistema hidráulico a la máquina encargada de la compactación de la materia prima que es suministrada por la empresa, es aquí donde el operario introduce la mezcla en la tolva de la máquina (1) que cae por efecto de la gravedad al cajón de almacenamiento para posteriormente distribuir el material proveniente de la tolva a las unidades de molde del ladrillo (2), finalmente al accionamiento del sistema hidráulico compacta la mezcla (3). (ver gráfico 4).

Gráfico 4. Esquema sistema hidráulico



Fuente: Elaboración propia.

3.4 EVALUACIÓN Y SELECCIÓN DE ALTERNATIVAS

Para la selección de la mejor alternativa se requiere un método que permita evaluar los atributos con escalas numéricas. El método (scoring), otorga una función de valor para cada alternativa generando preferencias según el resultado de su ponderación.

La implementación del método scoring permite identificar lo siguiente;

- ✓ Alcance del problema
- ✓ Alternativas de solución
- ✓ Criterios en toma de decisiones
- ✓ Ponderación de atributos
- ✓ Alternativa mas favorable

A continuación, se le otorgará a cada atributo según su importancia un valor de ponderación de acuerdo a parámetros técnicos¹ y de la empresa LADRILLOS PRENSADOS DE OCCIDENTE para el desarrollo del diseño del proyecto.

Cuadro 1. Evaluación de atributos

Ítems	Ponderación	Alternativa		
		Hidráulica de palanca	Sist. neumático	Sist. hidráulico
Fácil instalación y montaje	15%	2	2	3
Presión constante	40%	1	3	3
Menor costo de fabricación	25%	3	1	2
Fácil manipulación	20%	1	3	3
Totales	100%	7	9	11

Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 2. Ponderación de atributos

Ítems	Ponderación	Alternativa		
		Hidráulica de palanca	Sist. neumático	Sist. hidráulico
Fácil instalación y montaje	15%	0,3	0,3	0,45
Presión constante	40%	0,4	1,2	1,2
Menor costo de fabricación	25%	0,75	0,25	0,45
Fácil manipulación	20%	0,2	0,6	0,6
Totales	100%	1,65	2,35	2,7

Fuente: Elaboración propia.

Con la ayuda de este método de selección, se destacan las diferentes ponderaciones que tiene cada variable respecto a las alternativas de solución propuestas anteriormente, de acuerdo con los puntajes asignados a cada categoría se concluye que la alternativa número tres es la opción más viable y eficiente que garantiza el mayor aprovechamiento del proyecto cumpliendo con las especificaciones de diseño que el cliente solicita.

¹ TOSKANO HURTADO, Gérard Bruno. El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. [En línea]. Tesis de grado Licenciado en Investigación Operativa. Lima, Perú.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas, 2005. P. 19. [consultado el 21 de abril del 2018]. Disponible en: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/monografias/Basic/toskano_hg/toskano_hg.htm>

La alternativa seleccionada, al funcionar con un sistema hidráulico permite una velocidad y presión constantes durante el ciclo de producción de ladrillos prensados, además, el costo de fabricación de esta máquina se compensa con el número de unidades producidas al día respecto a las alternativas de solución restantes. La instalación y manipulación de esta opción permite al operario una fácil interacción con la máquina.

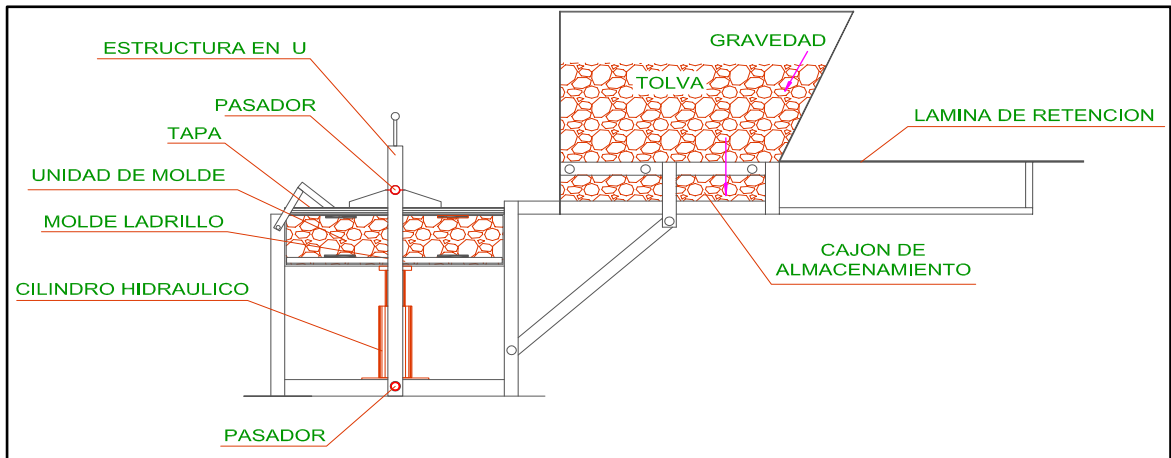
3.5 DISEÑO FUNCIONAL

Los elementos que componen la máquina compactadora de la alternativa 3 seleccionada en el numeral 3.2, son;

- ✓ Pasadores
- ✓ Estructura base
- ✓ Unidad de moldes
- ✓ Placa móvil o moldes de ladrillos
- ✓ Tapa
- ✓ Estructura en U
- ✓ Cajón de almacenamiento
- ✓ Tolva

El proceso de producción de ladrillo prensado inicia cuando la tapa del sistema esta abierta, la adición de materia prima es proporcionada por el operario en la tolva de la estructura, posteriormente ésta cae por efecto de la gravedad hasta el cajón de almacenamiento donde permite la distribución de la mezcla en las unidades del molde, una vez éstas estén llenas se cierra la tapa y se fija en la estructura en U y finalmente se acciona el cilindro hidráulico para que ejecute la función de compactación al transmitir su fuerza por medio de los moldes de ladrillo o placa móvil, cuando el proceso llega a este punto, la extracción del producto final consiste en liberar el sistema de cierre compuesto por la tapa y la estructura en U para que el cilindro hidráulico al ser activado nuevamente pueda expulsar los ladrillos prensados y así los operarios puedan llevarlos a la siguiente etapa. (ver gráfico 5).

Gráfico 5. Esquema máquina compactadora de ladrillo



Fuente: Elaboración propia.

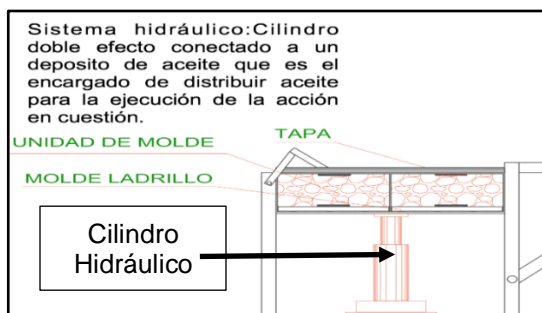
4. DISEÑO DETALLADO

Este capítulo está dirigido al desarrollo detallado del diseño del sistema hidráulico y componentes de una máquina capaz de compactar materiales arcillosos, abarca el diseño y selección de la unidad hidráulica, cálculos estructurales, pasadores, moldes y selección de pernos para su ajuste; esto con el fin de desarrollar un diseño funcional.

4.1 CÁLCULO DE ELEMENTOS SISTEMA HIDRÁULICO

Para el cálculo y diseño del sistema hidráulico es importante destacar que los elementos de este estudio se basan en determinar las condiciones más favorables para el desarrollo de la actividad en cuestión (fabricación de ladrillos), se realiza el cálculo de las dimensiones del cilindro hidráulico, selección de mandos y componentes de accionamiento del sistema, diseño del depósito de aceite y selección de mangueras como se muestra a continuación.

Grafico 6. Sistema hidráulico

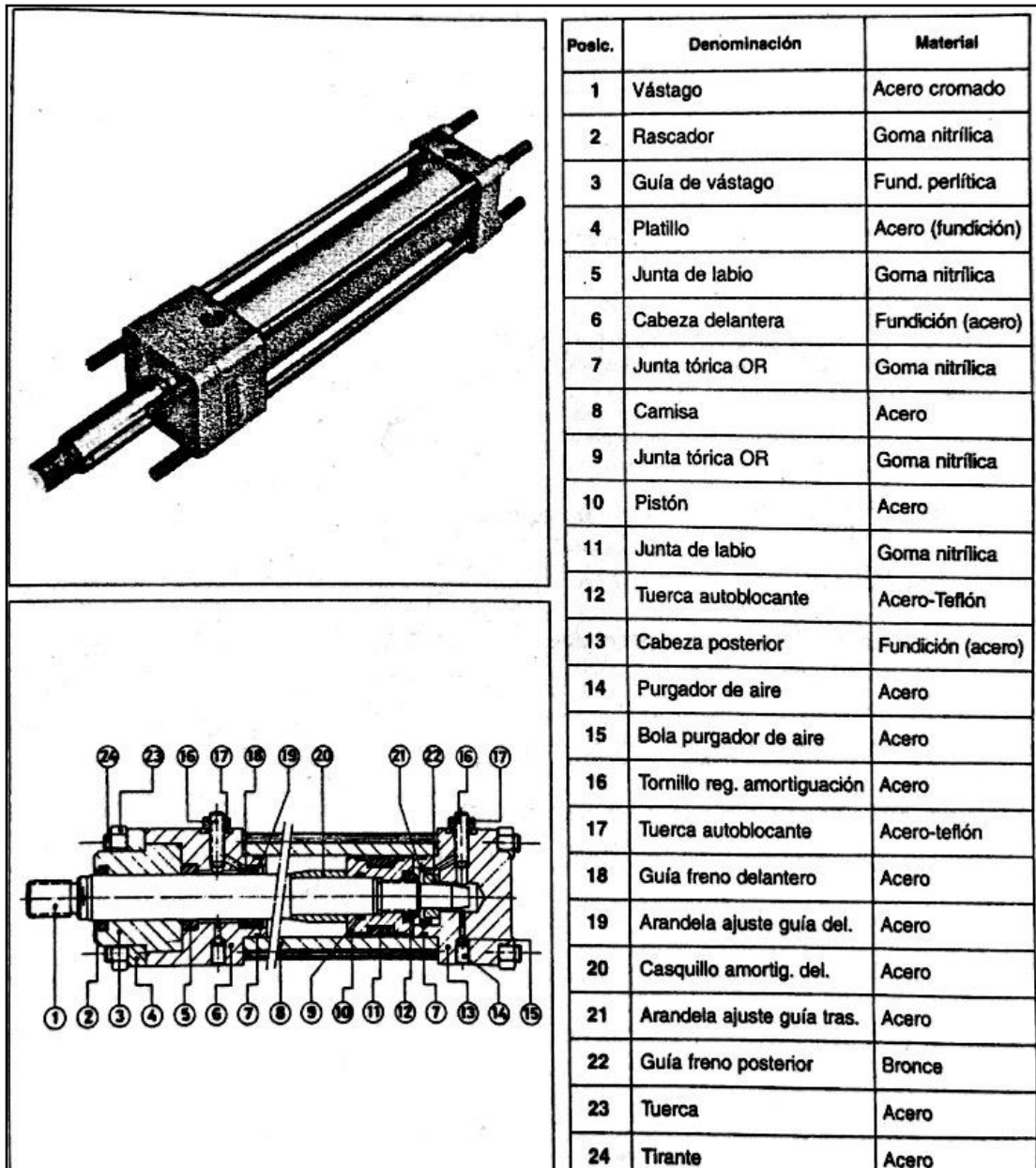


Fuente: Elaboración propia.

Los cálculos realizados para el diseño hidráulico junto con todos sus componentes a continuación, son tomados de acuerdo con la guía metodológica del libro Prontuario de hidráulica industrial de José Roldán Vilorio.

4.1.1 Materiales del cilindro hidráulico. La buena selección de los componentes del cilindro hidráulico genera beneficios en el desarrollo de procesos teniendo en cuenta su durabilidad, entre otros.

Imagen 5. Materiales del cilindro hidráulico



Fuente: Roldan J. Prontuario de hidráulica industrial. 2.001.

4.1.2 Fuerza de compactación. Para ladrillos compuestos por una mezcla de suelo-cemento con un área de $0,033m^2$, se establece que la fuerza necesaria para su

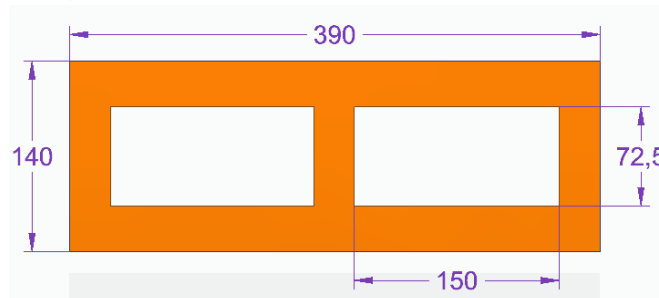
compactación es de 8 toneladas fuerza (TF)² para cada ladrillo. Para el nuevo proceso de fabricación se estipulo en el numeral 2.2 que por ciclo de producción deben realizarse cuatro unidades de ladrillo, lo que requiere una fuerza total en el sistema de 32 toneladas fuerza (TF).

Teniendo en cuenta la variación respecto a la humedad de la mezcla establecida en el numeral 2.2, se estima un aumento del 10% a la fuerza del sistema requerida generando una carga final de 35 toneladas fuerza (TF), garantizando así una carga de compactación suficiente para lograr un producto que cumpla con la normatividad.

Para mayor información consulte anexo A.

La empresa, establece que las nuevas dimensiones del ladrillo prensado deben ser de 390 mm x 140 mm x 60 mm estipuladas en el numeral 2.2, además, de aumentar por ciclo de producción de dos a cuatro unidades.

Imagen 6. Área del ladrillo



Fuente: Elaboración propia.

$$A_{ladrillo} = 0,39m * 0,14m - 2 * (0,15m * 0,0725m) = 0,033m^2 \times 4 \text{ ladrillos}$$

$$A_{ladrillos} = 0,132m^2$$

Una vez establecidos los parámetros de fuerza y área de compactación se desarrollan los siguientes cálculos que determinan las condiciones de diseño del sistema hidráulico como se muestra a continuación;

$$35 TF * \frac{1KN}{0,1123TF} = 311,66 KN * \frac{1 lbf}{4,44 \times 10^{-3} KN} = 70,194 lbf$$

² GATANI, Mariana. Ladrillos de suelo-cemento: Mampuesto tradicional en base a un material sostenible. [En línea]. En: Informes de la Construcción. marzo-abril, 2000, vol. 51, no. 466., p. 35-47. [Consultado el 03 de septiembre de 2018]. Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/download/713/798>

Con la fuerza de compactación establecida se reemplaza en la siguiente ecuación para determinar la presión de compactación requerida;

$$F = A \times P$$

Donde;

F= Fuerza

A= Área del émbolo

P= Presión del fluido

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

$$P = \frac{70,194 \text{ lbf}}{0,132 \text{ m}^2 * \frac{1,550 \text{ in}^2}{1 \text{ m}^2}} = 343,079 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

$$P_{compactación} = 343,079 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$$

La presión ejercida sobre el material de compactación para la fabricación de ladrillos prensados es de $343,079 \frac{\text{lbf}}{\text{in}^2}$, en un área total de $0,132 \text{ m}^2$.

Cuadro 3. Diámetros normalizados

Carreras normalizadas según Cetop															
25	50	80	125	400	500	600	800	1.000	1.250	1.500	2.000	2.500	(mm)		
Bajo demanda se fabrican cilindros con otras carreras.															
Diámetros de pistones (émbolos)															
25	32	40	50	63	80	100	125	160	200	250	320	400	(mm)		
Bajo demanda se fabrican cilindros con otros diámetros.															
Diámetros de los vástagos															
12	16	18	22	28	36	45	56	70	90	110	140	180	220	280	(mm)
Bajo demanda se fabrican cilindros con otros diámetros.															

Fuente: Roldan J. Prontuario de hidráulica industrial. 2.001.

4.1.3 Longitud de carrera. Este procedimiento está debidamente ligado a la necesidad del producto, para este caso se requiere una altura de 6 cm en el elemento final (ladrillo prensado), donde se tiene en consideración según la guía metodología del libro Prontuario de hidráulica industrial de José Roldán Viloria que la altura máxima será el doble de la altura final, y la altura mínima será la mitad de la altura total permitiendo determinar la longitud de carrera del vástago para el proceso como se muestra a continuación;

$$Lc = Hmax - Hmin$$

Donde;

Lc= Longitud de carrera

Hmax= Altura máxima

Hmin= altura mínima

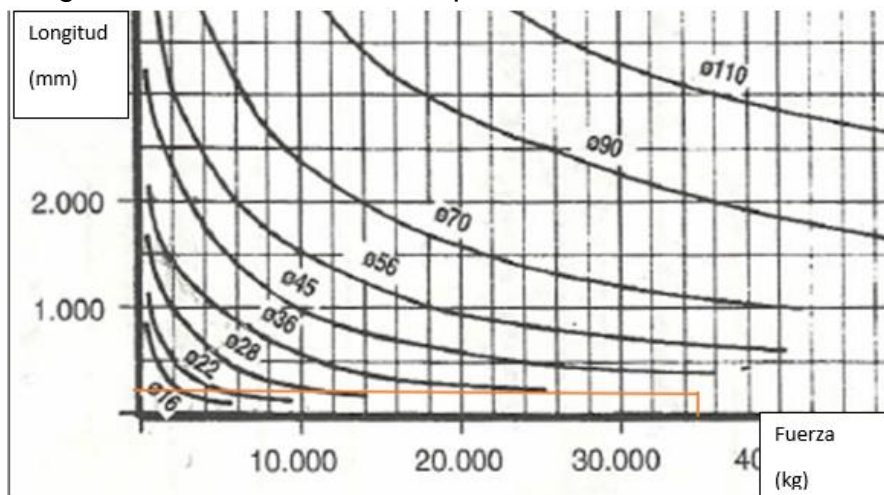
$$Lc = 12 \text{ cm} - 3 \text{ cm} = 9 \text{ cm} * \frac{10 \text{ mm}}{1 \text{ cm}} = 90 \text{ mm}$$

La longitud de carrera de 90 mm no es una medida comercial, por tanto, se toma una medida normalizada de 125 mm como se muestra en el cuadro 3.

4.1.4 Cálculo del vástago. Corresponde al elemento encargado de transmitir la fuerza hidráulica del sistema a la placa móvil.

4.1.4.1 Diámetro mínimo de pandeo. Determinar el diámetro mínimo de pandeo permite garantizar que la selección de dimensiones del elemento pueda soportar las condiciones de operación. Para este caso la longitud de carrera del vástago normalizada es 125 mm determinada en el numeral 4.1.3 con una carga máxima de 35 toneladas fuerza (TF), y se evalúa en la siguiente imagen;

Imagen 7. Diámetro mínimo de pandeo



Fuente: Roldan J. Prontuario de hidráulica industrial. 2.001.

Como se muestra en la imagen 7, el diámetro mínimo para evitar el pandeo del vástago según las condiciones establecidas corresponde a 36 mm, con esta información se procede a realizar cálculos de verificación.

4.1.4.2 Carga admisible del vástago. Se determina según la siguiente ecuación;

$$F = k \frac{\pi^2 \cdot I \cdot E}{L^2}$$

Donde;

F = Fuerza máxima a soportar

I = Momento de inercia mínimo para secciones transversales

E = Módulo de elasticidad (Cuadro 4)

L = Longitud sometida al pandeo

k = Coeficiente que depende según el tipo de fijación

El momento de inercia para secciones transversales está determinado por la siguiente ecuación;

$$I = D^4 \frac{\pi}{64} = (36 \text{ mm})^4 \times \frac{\pi}{64} = 82.447 \text{ mm}^4$$

Cuadro 4. Módulo de elasticidad (Kg/ [(mm)] ^2).

Hierro	20.000
Acero	22.000
Acero duro	22.000
Acero templado	22.000
Alambre de hierro	20.000
Alambre de acero	23.000
Fundición de hierro	10.000

Fuente: Roldan J. Prontuario de hidráulica industrial. 2.001.

La longitud real sometida al pandeo depende de la fijación del cilindro en el sistema de compactación, para este caso se toma un $K= 0,5$ como se indica en la siguiente imagen.;

Imagen 8. Coeficiente K

CILINDROS HIDRÁULICOS			4
PANDEO DEL VÁSTAGO			107
E. COEFICIENTE k PARA CILINDROS DE ACUERDO AL SISTEMA DE FIJACIÓN ADOPTADO			
Fijación del cilindro	Representación esquemática de la aplicación	Fijación del extremo del vástago en la aplicación	k
Patas delante y atrás.		Fijo y rigidamente guiado.	0,5
			
		Articulado y rigidamente guiado.	0,7
			

Fuente: Roldan J. Prontuario de hidráulica industrial. 2.001.

Una vez determinado el coeficiente $K=0,5$ se reemplaza en la siguiente formula tomada del libro prontuario de hidráulica industrial de Jose Roldán Vilora para hallar la longitud virtual del vástago del cilindro;

$$L_i = C \times k$$

Donde;

L_i = Longitud virtual del vástago del cilindro

C = Carrera cilindro L_c

K = Coeficiente seleccionado

$$L_i = C \times k = 250 \text{ mm} \times 0,5 = 125 \text{ mm}$$

El coeficiente S se halla según la siguiente imagen;

Imagen 9. Coeficiente S

4		CILINDROS HIDRÁULICOS			
110		SOLICITUDES DEL VÁSTAGO, SEGÚN EULER			
		Caso 1	Caso 2 (básico)	Caso 3	Caso 4
Gráfico		Un extremo libre. Un extremo fijo.	Dos extremos articulados	Un extremo articulado	Dos extremos fijos
Longitud libre de pandeo		$S = 2l$	$S = l$	$S = 0,7l$	$S = \frac{l}{2}$
Situación del montaje del cilindro					
				Gulado cuidadoso de la carga. Posible bloqueo.	Desfavorable. Gran posibilidad de bloqueo.

Fuente: Roldan J. Prontuario de hidráulica industrial. 2.001.

- Caso1= $K=S=\frac{1}{4}$
- Caso2= $K=S=1$
- Caso3= $K=S=2$
- Caso4= $K=S=4$

Para el desarrollo de este ejercicio se toma el coeficiente $S=4$ correspondiente al caso 4.

Reemplazando se obtiene que;

$$F = k \frac{\pi^2 \cdot I \cdot E}{L^2} = 4 \times \frac{\pi^2 \times 82.447,96 \text{ mm}^4 \times 22.000 \frac{\text{kg}}{\text{mm}^2}}{(125 \text{ mm})^2} = 4.582,920 \text{ kp} * \frac{0,0980665 \text{ KN}}{1 \text{ kp}} = 449,4 \text{ KN}$$

Se determinó que la fuerza máxima que soporta el vástago es de 449 KN. Lo que permite inferir, que la fuerza mínima requerida para la compactación de ladrillo es menor (343 KN) y por tanto el diámetro del vástago no presenta fallas.

4.1.4.3 Calculo del diámetro del émbolo. Para este procedimiento se tiene en cuenta la fuerza requerida para la compactación (343 KN) con el fin de determinar la presión del fluido del sistema hidráulico y posteriormente establecer el valor del diámetro del émbolo. Para ello se recurre a catálogos comerciales;

Imagen 10. Catálogo comercial

Bore	Rod	Area ratio	Bore	Areas Rod	Annulus	Force at 200 bar ¹			Flow at 0,1 m/s ²		
Kolben	Kolbenstange	Flächenverhältnis	Kolben	Flächen Stange	Ring.	Push	Regen.	Pull	Out	Regen.	In
Alesage	Tige	Rapport de section	Alesage	Sections Tige	Annulaire	Force à 200 bar ¹			Débit à 0,1 m/s ²		
Pistón	Vástago	Relación secciones	Pistón	Sección Vástago	Anular	Empuje	Diferencial	Tracción	Salida	Diferencial	Entrada
AL	MM	Ø	A ₁	A ₂	A ₃	F ₁	F ₂	F ₃	q _{v1}	q _{v2}	q _{v3}
Ø mm	Ø mm	A1/A3	cm ²	cm ²	cm ²	kN	kN	kN	l/min	l/min	l/min
40	18 22 28	1,25 1,43 1,96	12,57	2,54 3,80 6,16	10,03 8,77 6,41	24,64	4,99 7,45 12,07	19,64 17,18 12,56	7,54	1,53 2,28 3,69	6,01 5,26 3,85
50	22 28 36	1,24 1,46 2,08	19,63	3,80 6,16 10,18	15,83 13,47 9,45	38,49	7,45 12,07 19,95	31,03 26,42 18,53	11,78	2,28 3,69 6,11	9,50 8,09 5,67
63	28 36 45	1,25 1,48 2,04	31,17	6,16 10,18 15,90	25,01 20,99 15,27	61,11	12,07 19,95 31,17	49,03 41,15 29,93	18,70	3,69 6,11 9,54	15,01 12,60 9,16
80	36 45 56	1,25 1,46 1,96	50,27	10,18 15,90 24,63	40,09 34,37 25,64	98,56	19,95 31,17 48,27	78,57 67,35 50,25	30,16	6,11 9,54 14,78	24,05 20,62 15,38
100	45 56 70	1,25 1,46 1,96	78,54	15,90 24,63 38,48	62,64 53,91 40,06	154,00	31,17 48,27 75,43	122,77 105,66 78,51	47,12	9,54 14,78 23,09	37,58 32,35 24,03
125	56 70 90	1,25 1,46 2,08	122,72	24,63 38,48 63,62	98,09 84,24 59,10	240,62	48,27 75,43 124,69	192,25 165,10 115,84	73,63	14,78 23,09 38,17	58,85 50,54 35,46
140	70 90 100	1,33 1,70 2,04	153,94	38,48 63,62 78,54	115,46 90,32 75,40	301,84	75,43 124,69 153,94	226,29 177,03 147,78	92,36	23,09 38,17 47,12	69,27 54,19 45,24
160	70 90 110	1,24 1,46 1,90	201,06	38,48 63,62 95,03	162,58 137,44 106,03	394,23	75,43 124,69 186,27	318,65 269,39 207,82	120,64	23,09 38,17 57,02	97,55 82,47 63,62
180	90 110 125	1,33 1,60 1,93	254,47	63,62 95,03 122,72	190,85 159,44 131,75	498,96	124,69 186,27 240,53	374,07 312,49 258,23	152,68	38,17 57,02 73,63	114,51 95,66 79,05

Fuente: Cilindros hidráulicos GLUAL; GLUAL hidráulica.

Después de establecer la presión del fluido (200 bar), según el catálogo se reemplaza en la siguiente ecuación;

$$F = P \times A$$

Donde;

F= Fuerza

P= Presión

A= Área de la placa

$$F = P \times \frac{\pi * D^2}{4}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * F}{\pi * P}}$$

$$D = \sqrt{\frac{4 * 70.194 \text{ lbf}}{\pi * 2.900 \text{ psi}}}$$

$$D = 5,55 \text{ in} * \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} = 141,1 \text{ mm}$$

El diámetro del émbolo corresponde a 141,1 mm, este valor se debe acercar a un estándar normalizado. Con esta información se selecciona cilindros hidráulicos comerciales como se indica en la imagen 10, determinando que el diámetro del pistón o del émbolo es 160 mm, y del vástago 70 mm.

4.2 CÁLCULO DE LA UNIDAD HIDRÁULICA

4.2.1 Cálculo del volumen del cilindro. Para determinar el volumen de aceite necesario para el avance y retroceso del cilindro hidráulico se tiene en cuenta los parámetros de diseño del mismo. (D. émbolo= 16 cm, D. vástago= 7 cm, L. carrera= 12,5 cm) y se evalúan en las siguientes ecuaciones;

$$V_a = A_A \times L_C$$

Donde;

V_a = Volumen de avance
 A_A = Área de avance
 L_C = Longitud de carrera

$$V_r = A_r \times L_C$$

Donde;

V_r = Volumen de retroceso
 A_r = Área de retroceso
 L_C = Longitud de carrera

$$A_A = \pi * \frac{D_1^2}{4} = \pi * \frac{(16 \text{ cm})^2}{4} = 201,06 \text{ cm}^2$$

$$A_r = \pi * \frac{D_1^2 - D_2^2}{4} = \pi * \frac{(16 \text{ cm})^2 - (7 \text{ cm})^2}{4} = 162,57 \text{ cm}^2$$

El volumen se determina de la siguiente forma;

$$V_A = 201,06 \text{ cm}^2 \times 12,5 \text{ cm} = 2.513,25 \text{ cm}^3 \times \frac{0,00026417 \text{ Gal}}{1 \text{ cm}^3} = 0,66 \text{ gal}$$

$$V_r = 162,57 \text{ cm}^2 \times 12,5 \text{ cm} = 2.031,75 \text{ cm}^3 \times \frac{0,00026417 \text{ gal}}{1 \text{ cm}^3} = 0,53 \text{ gal}$$

4.2.2 Cálculo del caudal del aceite. Para el cálculo del caudal de aceite es necesario determinar la velocidad de avance del émbolo, según las características del cilindro³ se establece que la velocidad corresponde a 40 mm/s;

$$Q = A_a \times V_a$$

Donde;

Q = Caudal de aceite

V_a = Velocidad de avance del pistón

A_a = Área de avance

$$Q_s = 201,06 \text{ cm}^2 * 4 \frac{\text{cm}}{\text{s}} = 804,24 \frac{\text{cm}^3}{\text{s}} * \frac{0,001 \text{ l}}{1 \text{ cm}^3} = 0,804 \frac{\text{l}}{\text{s}} \times \frac{60 \text{ s}}{1 \text{ min}} = 48 \text{ l/min}$$

Según el Libro Prontuario de Hidráulica Industrial de Jose Roldan Vilorio, el tiempo de salida del émbolo se evalúa en la siguiente ecuación;

$$t = \frac{lc}{va}$$

Donde;

t = Tiempo

lc = Longitud de carrera

va = Velocidad de avance

$$t = \frac{125 \text{ mm}}{40 \text{ mm/s}}$$

$$t = 3,125 \text{ s}$$

Una vez establecido el tiempo que tarda el sistema en expulsar el ladrillo (3,125 s), se establece el tiempo total que toma el proceso de producción. Por información compartida por la empresa se sabe que el tiempo de llenado de la tolva tarda 10 segundos, la distribución de mezcla en las unidades de moldes 5 segundos y la

³ GLUAL HIDRAÚLICA. Cilindros Hidráulicos. [en línea]. [consultado el 05 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.glual.com/pdf/catalogos/catalogo_KZ_KP_K.pdf>

compactación 5 segundos, estimando un tiempo de producción de 24 segundos para la fabricación de 4 ladrillos prensados.

Teniendo en cuenta lo estipulado en el numeral 2.2, la máquina debe producir 4.320 unidades diarias en 8 horas de trabajo, para su comprobación se realiza el siguiente calculo;

$$\frac{4.320 \text{ unidades}}{8 \text{ hr/dia}} = 540 \text{ unidades/hr}$$

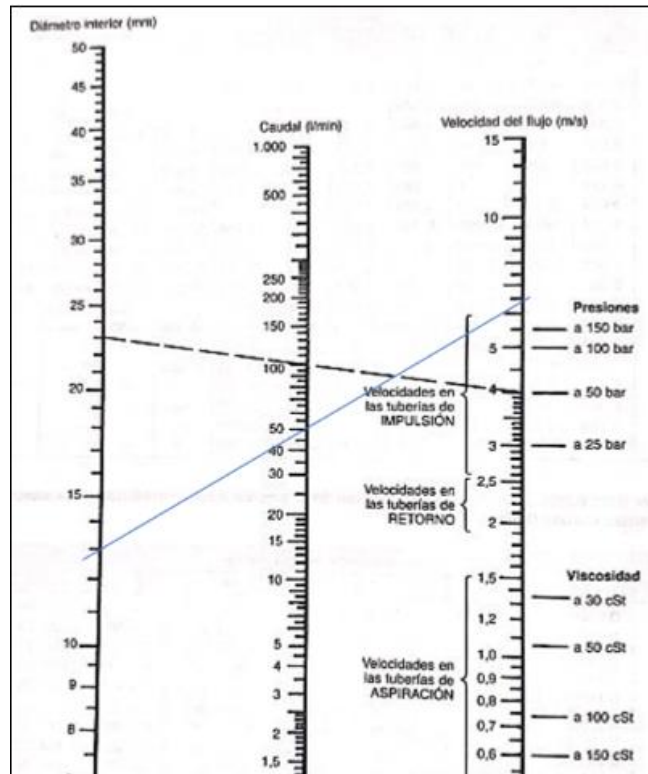
$$540 \frac{\text{unidades}}{\text{hr}} * \frac{1 \text{ hr}}{60 \text{ min}} = 9 \text{ unidades/min}$$

$$4 \text{ ladrillos en } 24 \text{ segundos} * 2 = 8 \text{ ladrillos en } 48 \text{ segundos}$$

Según los tiempos establecidos anteriormente la máquina hace 8 unidades en 48 segundos, lo que permite al operario realizar 4 unidades mas, debido a que la capacidad de la tolva permite desarrollar mas de 4 ciclos de producción continuos como se establece en el numeral 4.4.6, garantizando así la producción mínima estipulada.

4.2.3 Selección de mangueras. La selección del diámetro interno de la tubería del sistema se obtiene según los siguientes datos calculados anteriormente. Se determinó que el caudal máximo es (48 l/min) como requerimiento para el funcionamiento del sistema a una presión de 2.900 psi o 200 bar, luego se ubican estos valores en las escalas correspondientes para realizar el cruce de estos dos parámetros con líneas rectas prolongándolas hasta la escala de diámetros, obteniendo así el valor de este como se indica en la imagen 11.

Imagen 11. Diámetro de tuberías



Fuente: Roldan J. Prontuario de hidráulica industrial. 2.001.

Imagen 12. Selección de mangueras

Central de mangueras S.A. ISO 9001:2008 **CATALOGO DE MANGUERAS HIDRÁULICAS Mangueras Parker**

722 TC MANGUERA SAE 100R12

Manguera para aplicaciones hidráulicas de alta presión. Manguera con las características de una SAE 100R12 pero con la mitad del radio de curvatura de esta, lo que permite ahorrar manguera y dinero en sus instalaciones. Compatible con acoples serie 43.

Tubo : Hule sintético..
Refuerzo: 4 mallas en espiral
Cubierta : Hule sintético
Factor de seguridad : 4:1
Temperatura : -40°C a 125°C

Código	Diámetro interno		Presión trabajo PSI	Radio curvatura mm
	Pulgadas	mm		
001722TC06	3/8"	10	4000	125
001722TC08	1/2"	12.7	4000	90
001722TC10	5/8"	15.8	4000	100
001722TC12	3/4"	19	4000	120
001722TC16	1"	25.4	4000	150
001722TC20	1 1/4"	31.8	3000	210

NOTA : Utilice acoples de la serie 43 y serie 71

Fuente: Mangueras Parker; catálogo de mangueras Hidráulicas.

Una vez determinado el diámetro de la tubería (13 mm) y la presión del sistema (2.900 psi o 200 bar), se recurre a un catálogo de mangueras de uso hidráulico donde se realiza la selección de las mangueras más favorable para el sistema como se muestra en la imagen 12, estableciendo que el diámetro de tubería en este caso es 5/8" o 15,8 mm, debido a que la medida calculada no corresponde a dimensiones comerciales disponibles.

4.2.4 Cálculo de velocidad del fluido en la tubería. Se calcula según las siguientes ecuaciones;

$$vt = \frac{Q}{St}$$

Donde;

Q = Caudal de aceite
 vt = Velocidad tubería
 St = Selección tubería

$$St = \frac{\pi * (1,58 \text{ cm})^2}{4} = 1,96 \text{ cm}$$

El cálculo de la velocidad del fluido en la tubería a la salida del vástago está debidamente relacionado con el caudal del aceite (0,804 l/s) calculado en el numeral 4.2.2 y el diámetro de la tubería seleccionada (15,8 mm) determinada en el numeral 4.2.3 y se evalúa en la siguiente ecuación;

$$Q = 0,804 \text{ l/s} * \frac{1 \text{ cm}^3}{0,001 \text{ l}} = 804 \text{ cm}^3$$

$$vt = \frac{(804 \text{ cm}^3)}{1,96 \text{ cm}} = 410,20 \frac{\text{cm}}{\text{s}} * \frac{0,01 \text{ m}}{1 \text{ cm}} = 4,10 \text{ m/s}$$

La velocidad del flujo de aceite en el interior de la tubería corresponde a 4,10 m/s.

4.2.5 Selección del aceite. El aceite es un elemento de vital importancia en el funcionamiento de sistemas hidráulicos ya que tiene como principal objetivo transmitir presión y accionar el émbolo a su paso.

Para el desarrollo de este proyecto es pertinente utilizar un aceite que evite problemas de desgaste erosivo o adhesivo en los mecanismos lubricados, además, se debe tener en cuenta la temperatura como una constante de operación del

sistema que garantice el correcto funcionamiento del mismo a las condiciones de trabajo.

El sistema en este caso, corresponde a un equipo industrial estacionario donde se establece que su adecuado funcionamiento está ligado a la utilización de un aceite sin detergente con un contenido de aditivo anti-desgaste y de demulsificación que permite la separación del agua del aceite, estos sistemas⁴ por lo general ejecutan su función a una temperatura entre 50° C y 60° C, dando lugar a la aplicación de un aceite ISO 68.

Imagen 13. Propiedades del aceite

Ensayos	Unidad	Método ASTM	PRODUCTOS		
			10	46	68
ISO V.G.	----	----	10	46	68
Viscosidad a 40 °C	cSt	D-445	10	44	68
Índice de Viscosidad	----	D-2270	92	92	92
Punto de Inflamación	°C	D-92	160	210	210
Punto de Escurrimiento	°C	D-97	-18	-12	-9
Herrumbre	----	D-665 B	Pasa	Pasa	Pasa
Corrosión S/Cu (3 h a 100 °C)	----	D-130	1b	1b	1b
Número de Ácido	mg KOH/g	D-974	0,6	0,6	0,6
Emulsión a 54,4°C (0-0-80)	min	D-1401	30	30	30
Evacuación de Aire	min	D-3427	6	8	10

Fuente: Aceite hidráulico; catálogos lubricantes YPF.

4.2.6 Selección de la bomba. Con la información proporcionada anteriormente respecto al caudal (0,20 l/s) y presión del sistema (2.900 psi), se calcula la potencia requerida que el motor va a transmitir a la bomba para el accionamiento del sistema hidráulico de la siguiente forma;

$$Q = \frac{Hp * 1,714 * \rho}{Pb}$$

⁴ COMERCIAL ROSHFRANS S.A. Hoja de datos técnicos división industrial. Aceite para sistemas hidráulicos. 2016. [en línea]. [consultado el 08 de septiembre de 2018]. Disponible en: <<http://www.roshfrans.com/wp-content/uploads/2015/03/55-HDT-HIDRAULICO-AW-ISO-VG-68-R6.pdf>>

$$Hp = \frac{Q \times Pb}{1,714 \times \rho}$$

Donde;

Hp = Potencia (no se usan unidades porque 1,714 es un factor de conversión)

Q = Caudal de la bomba en Gpm

Pb = Presión de la bomba

ρ = Eficiencia de la bomba

Para determinar la eficiencia de la bomba se tiene en consideración la siguiente imagen;

Imagen 14. Eficiencia de bomba

Druck - Pressure		Eingangsdruck Inlet pressure [bar]	η_{VN} [%]	Drehzahl [U/min] Speed [rev/min]			Temperatur Temperature [°C]	Viskosität Viscosity [mm²/s]	Filtration Filtration [µm]
Pn [bar]	Pmax [bar]			n _n	n _{min}	n _{max}			
250	280	min. -0,3 max. 1,5	88	1500	1000	4500	-15 ... +80	12 ... 2000	20
			89						
			90		900	4000			
			91						
			92		800	3500			
			93						
			93,6		600	3000			
			94						
			94,5		500	2500			
			95						
95,5	2000								
96									
97									
235	250					empfohlen recommended	empfohlen recommended		
200	220					0 ... +60	25 ... 200		
160	180								
150	170								
140	160								

Fuente: Losi Getriebe-Steuerungen-Hydraulik GmbH

$$Q = 0,804 \frac{l}{s} \times \frac{15,8503 Gpm}{1 \frac{l}{s}} = 12,74 Gpm$$

$$Hp = \frac{12,74 Gpm \times 2.900 psi}{1,714 \times 0,95} = 22,7 Hp \cong 23 Hp * \frac{0,7457 kW}{1Hp} = 17 kW$$

A continuación, se selecciona la bomba teniendo en cuenta la potencia de accionamiento requerida (23 Hp o 17 kW) calculados en el numeral 4.2.6, se seleccionó una bomba PV7 BOSCH de paletas, con una potencia de accionamiento de 20,5 kW, como se muestra en la siguiente imagen;

Imagen 15. Selección de bomba

Tipo de construcción	Bomba de paletas precomandada, variable													
Tipo	PV7													
Tipo de sujeción	Brida de 4 agujeros (según VMDA 24560 parte 1 y ISO 3019/2)													
Conexiones de tubería	Rosca para tubos o conex. por brida SAE (en función del tam. const.)													
Posición de montaje	A elección, preferentemente horizontal (ver páginas 28 y 29)													
Carga de ejes	No se pueden aplicar fuerzas radiales ni axiales													
Sentido de rotación	Hacia la derecha (mirando hacia el extremo de eje)													
Velocidad de rotación	n	min^{-1}	900 hasta 1800											
Tamaño constructivo	TC		10	16	25	40	63	100						
Tamaño nominal	V_g	cm^3	14	20	20	30	30	45	45	71	71	94	118	150
Potencia del accionamiento ¹⁾	$P_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$	kW	6,3	5,8	8,5	6,8	13,7	10,2	20,5	16,5	33	20,9	51,5	33
Par admisible del accionamiento	$T_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$	Nm	90	140		180		280		440		680		
Caudal máximo ²⁾	q_V	l/min	21	29	29	43,5	43,5	66	66	104	108	136	171	218
Caudal de fuga en la carrera nula (a presión de servicio salida = $p_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$)	q_{VL}	l/min	2,7	1,9	4	2,5	5,3	3,2	6,5	4	8	5,3	11	7,3
Presión de servicio, absoluta														
– entrada	$p_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$	bar	0,8 hasta 2,5											
– salida ³⁾	$p_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$	bar	160	100	160	80	160	80	160	80	160	80	160	80
– salida de fugas	$p_{\text{m}\acute{\text{a}}\text{x}}$	bar	2											

Fuente: Bossch; catálogo bombas Bosch. Disponible: www.Bosch.com/bombash

4.2.7 Potencia del motor. Este proceso permite seleccionar el motor eléctrico para el funcionamiento del sistema hidráulico, para ello se tiene en consideración que la eficiencia eléctrica del motor respecto a lo establecido por la UPME ⁵, para motores trifásicos, se encuentra en un rango de 0,6-0,9. Para este caso se toma el valor correspondiente de 0,8 que se lo reemplaza en la siguiente ecuación;

$$Pot. \text{ motorel\acute{e}ctrico} = \frac{pot. \text{ bomba hidr\acute{a}ulica}}{eficiencia \text{ del motor}}$$

$$Pot. \text{ motorel\acute{e}ctrico} = \frac{23 \text{ Hp}}{0,8} = 28,75 \text{ Hp} \cong 29 \text{ Hp}$$

Se selecciona un motor trifásico de 30 Hp de jaula de ardilla, marca Siemens, como se muestra en la siguiente imagen;

⁵ *Ibíd.*, p. 12.

Imagen 16. Selección de motor

Descripción				Modelo		
Potencia en HP	Velocidad en RPM	Tensión a 60 Hz en Volts	Tamaño Armazón NEMA	RGZE Uso general Catálogo Spiridon	RGZESD Uso pesado Catálogo Spiridon	RGZESD A prueba de explosión Catálogo Spiridon
0.5	900	230/460	143T	1LA01438FF21	No disponible	No disponible
0.75	1800	230/460	143T	1LA01434FE21	*	1MU01434XE21
	1200	230/460	143T	1LA01436FE21	*	1MU01436XE21
	900	230/460	145T	1LA01458FE21	*	No disponible
1	3600	230/460	143T	1LA01432FE21	A7810000020167	1MU01432XE21
	1800	230/460	143T	1LA01444FE21	A7810000020169	1MU01444XE21
	1200	230/460	145T	1LA01456FE21	A7810000014868	1MU01456XE21
	900	230/460	182T	1LA01828FE21	A7810000020180	1MU01828XE21
1.5	3600	230/460	143T	1LA01442FE21	A7810000020181	1MU01442XE21
	1800	230/460	145T	1LA01454FE21	A7810000020182	1MU01454XE21
	1200	230/460	182T	1LA01826FE21	A7810000020184	1MU01826XE21
	900	230/460	184T	1LA01848FE21	A7810000020185	1MU01848XE21
2	3600	230/460	145T	1LA01452FE21	A7810000020186	1MU01452XE21
	1800	230/460	145T	1LA01464FE21	A7810000020187	1MU01464XE21
	1200	230/460	184T	1LA01846FE21	A7810000020188	1MU01846XE21
	900	230/460	213T	1LA02138FE21	A7810000020189	1MU02138XE21
3	3600	230/460	182T	1LA01822FE21	A7810000014829	1MU01822XE21
	1800	230/460	182T	1LA01824FE21	A7810000014845	1MU01824XE21
	1200	230/460	213T	1LA02136FE21	A7810000014869	1MU02136XE21
	900	230/460	215T	1LA02158FE21	A7810000020190	1MU02158XE21
5	3600	230/460	184T	1LA01842FE21	A7810000014850	1MU01842XE21
	1800	230/460	184T	1LA01844FE21	A7810000014846	1MU01844XE21
	1200	230/460	215T	1LA02156FE21	A7810000014890	1MU02156XE21
	900	230/460	254T	1LA02548FE21	A7810000020191	1MU02548XE21
7.5	3600	230/460	213T	1LA02132FE21	A7810000020192	1MU02132XE21
	1800	230/460	213T	1LA02134FE21	A7810000014847	1MU02134XE21
	1200	230/460	254T	1LA02546FE21	A7810000020193	1MU02546XE21
	900	230/460	256T	1LA02568FE21	A7810000020194	1MU02568XE21
10	3600	230/460	215T	1LA02152FE21	A7810000020195	1MU02152XE21
	1800	230/460	215T	1LA02154FE21	A7810000014865	1MU02154XE21
	1200	230/460	256T	1LA02566FE21	A7810000020196	1MU02566XE21
	900	230/460	284T	A7810000014281	A7810000013643	A7810000017089
15	3600	230/460	254T	1LA02542FE21	A7810000014851	1MU02542XE21
	1800	230/460	254T	1LA02544FE21	A7810000014866	1MU02544XE21
	1200	230/460	284T	A7810000014271	A7810000013645	A7810000014893
	900	230/460	286T	A7810000014282	A7810000013646	A7810000017110
20	3600	230/460	256T	1LA02562FE21	A7810000014853	1MU02562XE21
	1800	230/460	256T	1LA02564FE21	A7810000014867	1MU02564XE21
	1200	230/460	286T	A7810000014272	A7810000013647	A7810000014895
	900	230/460	324T	A7810000014283	A7810000013648	A7810000017111
25	3600	230/460	284TS	1LA02842FE22	A7810000013649	A7810000017112
	1800	230/460	284T	1LA02844FE21	A7810000013670	A7810000017114
	1200	230/460	324T	A7810000014273	A7810000013672	A7810000017115
	900	230/460	326T	A7810000014284	A7810000013673	A7810000017116
30	3600	230/460	286TS	1LA02862FE22	A7810000013674	A7810000017117
	1800	230/460	286T	1LA02864FE21	A7810000013675	A7810000017118
	1200	230/460	326T	A7810000014276	A7810000013676	A7810000017119
	900	230/460	364T	A7810000014285	A7810000013677	A7810000017120
40	3600	230/460	324TS	1LA03242FE22	A7810000013678	A7810000017122
	1800	230/460	324T	1LA03244FE21	A7810000013691	A7810000017124

Fuente: Siemens; catálogo motores eléctricos Siemens. Disponible: www.siemens.com/motoreselectricos

4.2.8 Cálculo del depósito de aceite. Según el libro Prontuario de hidráulica industrial de José Roldán Viloría, se establece que para el volumen del depósito hidráulico corresponde a 3 veces el caudal de la bomba hidráulica como se muestra a continuación;

$$V_a = 12,74 \text{ gal} \times 3 = 38,22 \text{ gal} \cong 38 \text{ gal} * \frac{3.785,41 \text{ cm}^3}{1 \text{ gal}} = 143.846 \text{ cm}^3$$

Una vez determinado el volumen del aceite, se selecciona por catálogos las dimensiones y referencia del depósito de aceite como se muestra a continuación;

Imagen 17. Dimensiones unidad hidráulica

MODELO		UG-V-M				
		30	40	60	100	160
Pot. Máx. Motor	HP	2	3	5,5	12,5	20
	kW	1,5	2,2	4	9,20	15
Pot. Min. Motor	HP	1	1,5	3	7,5	12,5
	kW	0,75	1,1	2,2	5,5	9,2
Volumen Nominal de Aceite	litros	33	41	76	121	173
Dimensiones	A mm	410	500	720	760	800
	B mm	365	405	435	555	615
	C mm	380	420	470	490	570
	D mm	360	450	670	710	750
	E mm	330	370	420	440	520
	F mm	280	350	445	490	530
Tamaño Válvulas	ISO	3	3	3	3/5	3/5

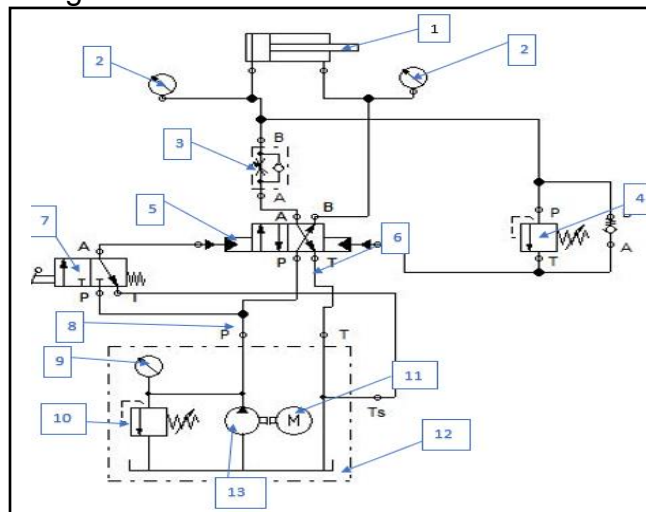
Fuente: Distritec; catálogo unidades hidráulicas. Disponible: www.distritec.com/unidadeshidraulicas

Se selecciono un deposito UG-V-M, con dimensiones 800 mm X 615 mm X 570 mm exteriores.

4.3 SISTEMA DE CONTROL HIDRÁULICO

En la imagen 18 se puede observar el esquema de control hidráulico para el funcionamiento del proceso de compactación;

Imagen 18. Sistema Hidráulico



Fuente: Elaboración propia.

Cuadro 5. Componentes sistema hidráulico

ÍTEMS ^α	DESCRIPCIÓN ^α
1 ^α	Cilindro hidráulico doble efecto ^α
2 ^α	Manómetro ^α
3 ^α	Válvula reguladora ^α
4 ^α	Válvula de secuencia ^α
5 ^α	Válvula 4/2 ^α
6 ^α	Línea de retorno ^α
7 ^α	Válvula pilotada ^α
8 ^α	Línea de presión ^α
9 ^α	Manómetro ^α
10 ^α	Limitadora de presión regulable ^α
11 ^α	Motor eléctrico ^α
12 ^α	Tanque ^α
13 ^α	Bomba ^α

Fuente: Elaboración propia.

4.4 CÁLCULOS ESTRUCTURALES

Los cálculos estructurales del diseño de la máquina compactadora de ladrillo prensado empiezan con el análisis de la fuerza (35 TF) que transmite el sistema hidráulico a los diferentes componentes estructurales con el fin de determinar los elementos óptimos para el sistema.

Se tiene en consideración la selección de perfiles estructurales de vigas y columnas, cálculo del diámetro de pasadores, cálculo de pernos y soldadura que componen la máquina. Con el fin de garantizar que la selección del material para el desarrollo de la estructura sea el adecuado, se establece según el libro de Robert Mott que el factor de seguridad debe estar por encima de 1,5 para evitar la falla del elemento, en el modelo general se estableció un factor de seguridad de 2.

Los materiales para los cálculos son acero A-572 grado 50 con límite de fluencia de 345 MPa y resistencia a la tracción de 450 MPa⁶, y para los pasadores barras de acero AISI 1045 estirado en frío, cuyas propiedades de resistencia a la fluencia y la tensión son $S_y=310$ MPa; $S_u=565$ MPa, respectivamente.

Para mayor información de los materiales se pueden consultar los anexos B y C.

Para determinar el esfuerzo permisible de cada elemento teniendo en cuenta el factor de diseño seleccionado, se utiliza la siguiente fórmula tomada del libro de diseño de elementos de máquinas de Robert Mott;

⁶ FERROCORTES. Ficha técnica lámina de alta resistencia ASTM A572 GR 50. [en línea]. [consultado el 23 de mayo del 2018]. Disponible en: <<http://www.ferrocortes.com.co/download/FT-12-001-ASTM-A572-GR50.pdf>>

$$\sigma_{permisible} = \frac{\sigma_{fluencia}}{\text{Factor de seguridad}}$$

Donde;

$\sigma_{permisible}$ = Esfuerzo máximo que soporta el elemento

$\sigma_{fluencia}$ = Esfuerzo de fluencia del material

Factor de seguridad de diseño

Para el acero A572 gr 50 se establece que;

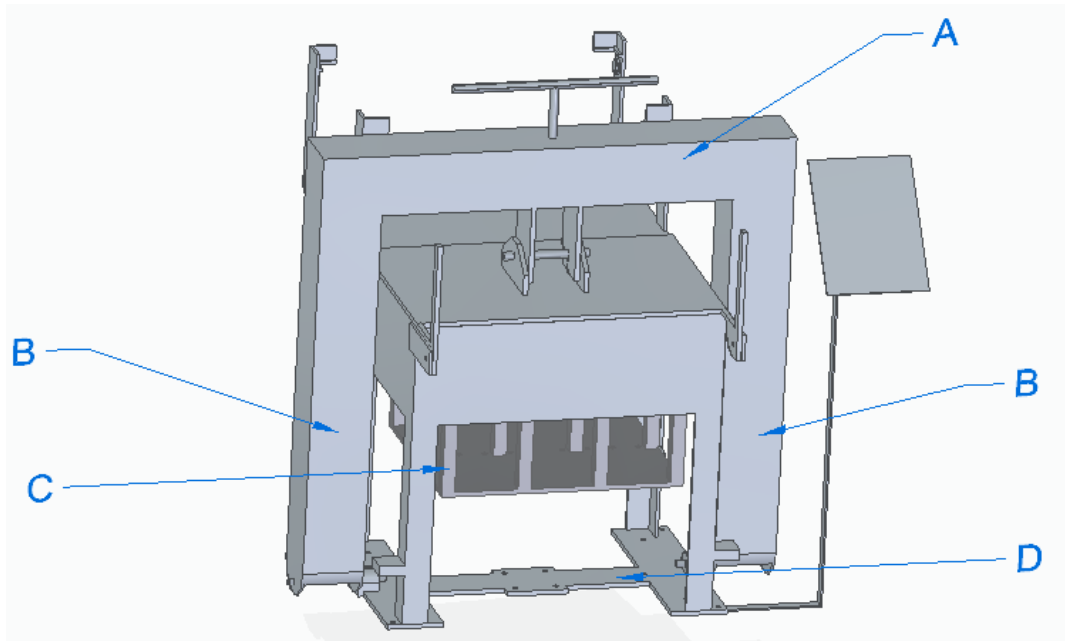
$$\sigma_{permisible} = \frac{345 \text{ MPa}}{2} = 172,5 \text{ MPa}$$

Con el fin de escoger los correctos perfiles y materiales estructurales capaces de soportar los esfuerzos a los que la máquina compactadora estará sometida, se establece que el esfuerzo permisible para los cálculos estructurales corresponde a 172,5 MPa.

4.4.1 Elementos críticos de la estructura. Para realizar el análisis de los elementos estructurales que mayor esfuerzo presentan a causa de la carga transmitida por el cilindro hidráulico de 35 (TF), Se selecciona los puntos críticos (ver imagen 19) que son los mas representativos en el comportamiento mecánico, con esto es posible determinar un tamaño aproximado de los perfiles tomando como referencia la sección transversal.

Es importante destacar que la estructura de la máquina estará fija al piso, al sujetar la plataforma (D) con pernos, a su vez el elemento D en sus extremos permite la sujeción de los pasadores que intervienen en el acople con la estructura en U (A).

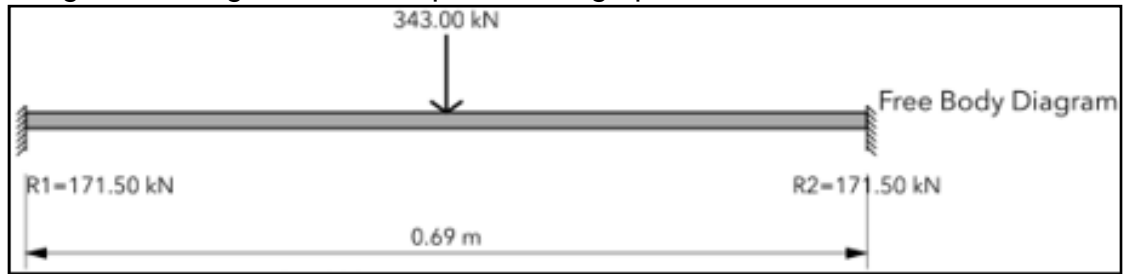
Imagen 19. Elementos críticos



Fuente: Elaboración propia.

4.4.2 Cálculo de la viga. Este procedimiento se realiza partiendo que el elemento A esta empotrado en sus dos extremos, a continuación, se encuentran los diagramas de cuerpo libre que reflejan el comportamiento de las diferentes reacciones;

Imagen 20. Diagrama de cuerpo libre carga puntual



Fuente: A-beam lite

El elemento de análisis es simétrico, por tanto, las reacciones en sus apoyos son iguales;

$$\sum F_y = 0$$

$$F1 - A_y - B_y = 0$$

$$343 \text{ KN} \times 0,344 \text{ m} - B_y \times 0,689 \text{ m} = 0$$

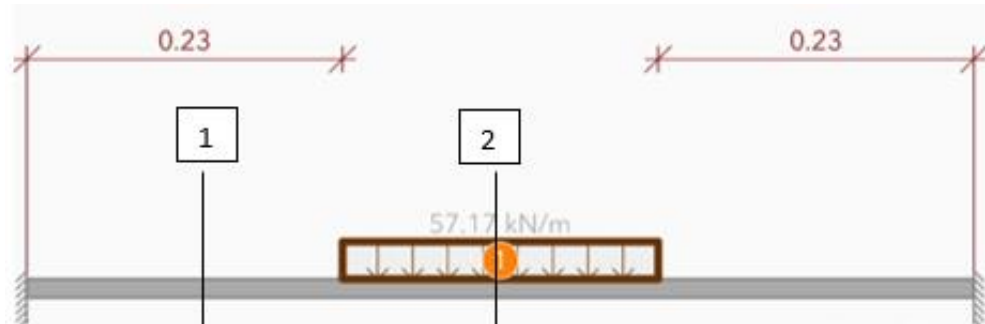
$$B_y = 171,25 \text{ KN}$$

Reemplazando se tiene que;

$$343 \text{ KN} - A_y - 171,25 \text{ KN} = 0$$

$$A_y = 171,25 \text{ KN}$$

Imagen 21. Cortes de la viga



Fuente: A-beam lite

Un elemento estáticamente indeterminado, puede resolverse por el método de doble integración como se muestra a continuación;

Sección 1: $(0 \leq X \leq 0,345 \text{ m})$

$$EIY'' = 343.000 \text{ NX} - M_A$$

$$EIY' = 171.500 \text{ NX}^2 - M_A X + C_1$$

$$EIY = 57.166 \text{ NX}^3 - \frac{M_A X^2}{2} + C_1 X + C_2$$

Para el análisis de la sección 1 se tiene en cuenta;

Si $x=0 \rightarrow \theta = 0$. Entonces $C_1=0$

Si $x=0 \rightarrow \gamma = 0$. Entonces $C_2=0$

Sección 2: $(0 \leq X \leq 0,689 \text{ m})$

$$EIY'' = 171.500 \text{ N} * X - M_B - \frac{57.166 \text{ N} * (X - 0,23 \text{ m})^2}{2}$$

$$EIY' = 85.750 N * X^2 - M_B X - \frac{57.166 N * (X - 0,23 m)^3}{6} + C_1$$

$$EIY = 29.250 N * X^3 - \frac{M_B X^2}{2} - \frac{57.166 N * (X - 0,23 m)^4}{24} + C_1 X + C_2$$

En la sección 2 se tiene en consideración que cuando;

$$x = 0,344 m; \frac{dy}{dx} \text{ es } 0$$

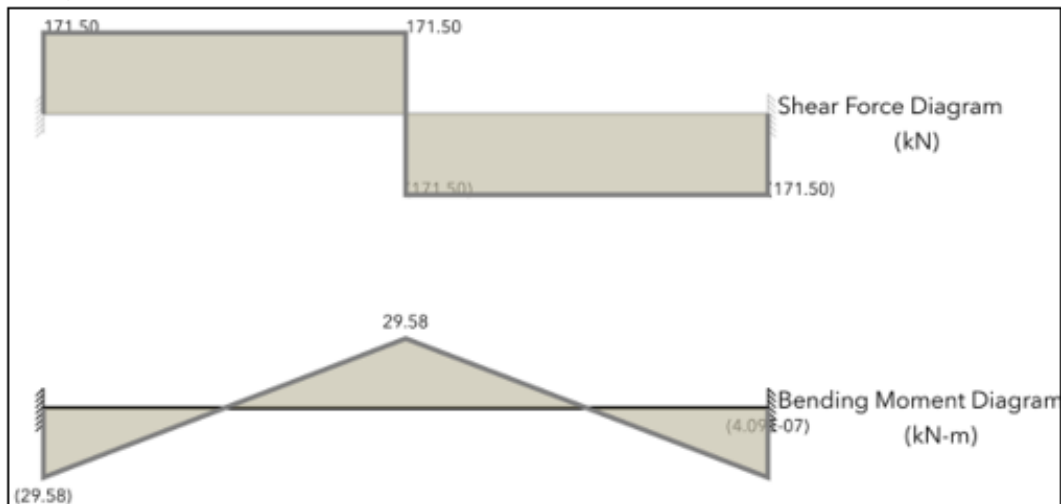
Para hallar el momento se reemplaza en la siguiente ecuación;

$$85.750 N * (0,344 m)^2 - M * (0,344 m) - \frac{57.166 N * (0,344 m - 0,23 m)^3}{6} = 0$$

$$M = 29.456,97 N/m$$

El momento máximo se desarrolla cuando $x=0,344 m$ y tiene un valor de 29.456,97 Nm. (ver imagen 22).

Imagen 22. Fuerza cortante y momento flector



Fuente: A-beam lite

Cálculo de flexión máxima;

Si $x=0 \rightarrow Y \rightarrow \theta = 0$. Entonces $C_1=0$

Si $x=0 \rightarrow \gamma = 0$. Entonces $C_2=0$

$$Y = \frac{28.583 N * X^3 - \frac{M_B X^2}{2} - \frac{57.166 N * (X - 0,23)m^4}{24}}{\frac{2,1 \times 10^{10} kgf}{m^2} \times 9,81 \frac{m}{s^2} \times 1,19 \times 10^{-7} m^4}$$

$$Y = -2,3 \times 10^{-5} m \times \frac{1.000 mm}{1 m} = -0,023 mm$$

Para este tipo de procedimientos se recomienda hacer un análisis que permita evaluar la deflexión máxima del elemento, con el fin de evaluar su resistencia frente a los esfuerzos a los que está sometido. Según la ACI [American concrete institute]⁷ se plantea la deflexión máxima admisible de la siguiente forma;

$$\frac{L}{360} = \frac{689 mm}{360} = 1,91 mm$$

$$0,023 mm \leq 1,91 mm$$

El anterior análisis permite establecer que la deflexión máxima de la viga es 1,91 mm según lo establecido por la ACI, sin embargo, se tiene en consideración el resultado analítico garantizando la efectividad del perfil seleccionado con una deflexión de 0,023 mm.

Después de haber definido el esfuerzo permisible del material (172,5 MPa) y el momento máximo de flexión, es posible hallar el módulo de sección (S) y por consiguiente el perfil que soporta las diferentes condiciones anteriormente calculadas;

$$S_{requerido} = \frac{M_{max}}{\sigma_{permisible}}$$

Donde;

S_{requerido}= S mínimo requerido

M_{Max}= Momento máximo de flexión

σ_{Permisible}= Esfuerzo permisible

$$S_{requerido} = \frac{29.456 N/m}{172.500.000 N/m^2} = 1,7 \times 10^{-4} m^3$$

⁷ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-05) y comentario (ACI 318SR-05). [en línea]. Michigan.: American Concrete Institute. 2005. [consultado el 21 de agosto del 2018]. Disponible en: <http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_318-05_Espanhol.pdf>

$$1,7 \times 10^{-4} m^3 \times \frac{1.000.000 cm^3}{1 m^3} = 170,7 cm^3$$

El S mínimo requerido es $170,7 cm^3$, esto permite elegir en catálogos el perfil que se ajusta como se muestra en la imagen 23.

Imagen 23. Perfiles comerciales

UPN

Perfil: U europea estándar de alas inclinadas

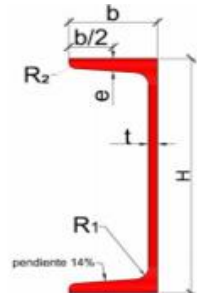
Normas: ASTM A36, ASTM A-572 G 50
(S5400), (S275JR), (St44-2), (A240ES)
(S5490), (A572 Gr50), (S355JR), (A345ESP)

Dimensiones: DIN 1026-1:00, NF A45-202:86

Tolerancias: EN 100279:00

Estado de la superficie: EN 100163-3:04, clase C subclase 1

Largos: 12.000 y 12.200 [mm]



Denominación	Alto	Ancho	Espesor Alma	Espesor Ala	Radio de Acuerdo		Altura recta	Momento de Inercia		Módulo resistente		Radio de giro		S _s	Área	Superficie a pintar	
					R ₁	R ₂		I _x	I _y	W _x	W _y	i _x	i _y			A _L	A _G
UPN H x Peso/m	H	b	t	e	R ₁	R ₂	d	I _x	I _y	W _x	W _y	i _x	i _y	z	A	A _L	A _G
[mm x kg/m]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[mm]	[cm ⁴]	[cm ⁴]	[cm ³]	[cm ³]	[cm]	[cm]	[mm]	[cm ²]	[m ² /m]	[m ² /m]
UPN 50 x 5,59	50	38	5,0	7,0	7,0	3,5	21	26,4	9,12	10,6	3,75	1,92	1,13	16,7	7,12	0,23	42,2
UPN 65 x 7,09	65	42	5,5	7,5	7,5	4,0	34	57,5	14,1	17,7	5,07	2,52	1,25	18,0	9,03	0,27	39,6
UPN 80 x 8,64	80	45	6,0	8,0	8,0	4,0	47	106	19,4	26,5	6,36	1,33	1,33	19,4	11,0	0,31	37,1
UPN/E 100 x 8,60	100	46	6,0	8,5	7,0	4,5	74	163	18,3	32,6	5,89	3,86	1,29	20,3	11,0	0,31	37,3
UPN 100 x 10,6	100	50	6,0	8,5	8,5	4,5	64	206	29,3	41,2	8,49	3,91	1,47	20,3	13,5	0,37	35,1
UPN/E 120 x 10,4	120	52	6,0	8,5	8,5	4,5	73	384	49,0	64,0	26,5	5,38	1,92	22,2	13,2	0,38	35,8
UPN 120 x 13,4	120	55	7,0	9,0	9,0	4,5	82	364	43,2	60,7	11,1	4,62	1,59	22,2	17,0	0,43	32,5
UPN 140 x 16,0	140	60	7,0	10,0	10,0	5,0	98	605	62,7	86,4	14,8	5,45	1,75	23,9	20,4	0,49	30,5
UPN/E 160 x 14,2	160	64	5,0	7,0	7,0	3,5	127	1043	102	130,0	44,9	7,59	2,37	25,3	18,1	0,54	40,0
UPN 160 x 18,8	160	65	7,5	10,5	10,5	5,5	115	925	85,3	116,0	18,3	6,21	1,89	25,3	24,0	0,55	29,0
UPN 180 x 22,0	180	70	8,0	11,0	11,0	5,5	133	1350	114	150,0	22,4	6,95	2,02	26,7	28,0	0,61	27,8
UPN 200 x 25,3	200	75	8,5	11,5	11,5	6,0	151	1910	148	191,0	27,0	7,70	2,14	28,1	32,2	0,66	26,2
UPN 220 x 29,4	220	80	9,0	12,5	12,5	6,5	167	2690	197	245,0	33,6	8,48	2,30	30,3	37,4	0,72	24,5
UPN 240 x 33,2	240	85	9,5	13,0	13,0	6,5	184	3600	248	300,0	39,6	9,22	2,42	31,7	42,3	0,78	23,3
UPN 260 x 37,9	260	90	10,0	14,0	14,0	7,0	200	4820	317	371,0	47,7	9,99	2,56	33,9	48,3	0,83	22,0

Fuente: www.fpetricio.cl

Se establece que el perfil de la viga debe ser UPN 200.

A continuación, se emplea la teoría de falla de la energía de distorsión máxima (Von Mises) que evalúe el comportamiento de este elemento por medio de la simulación de elementos finitos con el software Solid Edge obteniendo los siguientes resultados;

Según el libro de Diseño de elementos de máquinas de Shigley, Von Mises tiene en cuenta para su evaluación los siguientes parámetros;

- ✓ La carga a la que está sometida el elemento debe ser estática
- ✓ Debe ser un material dúctil

✓ Materiales con características isotrópicas

Von Mises permite hallar el factor de seguridad de la siguiente forma;

$$F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{VonMises}}$$

Donde;

σ_y = Esfuerzo de fluencia del material

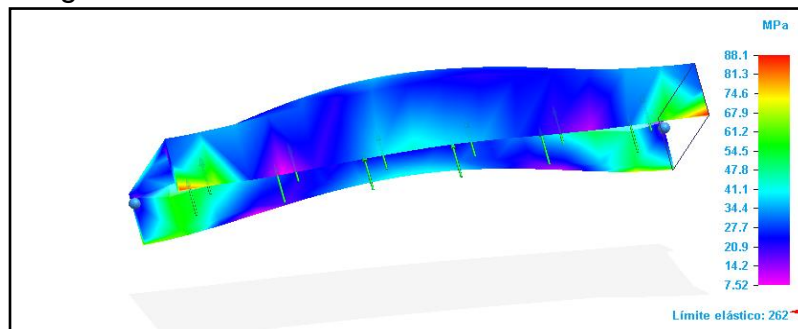
$\sigma_{VonMises}$ = Von Mises

F. S= Factor de seguridad

$$F.S = \frac{345 \text{ MPa}}{88,1 \text{ MPa}} = 3,9$$

El factor de seguridad (3,9) refleja que la viga no presenta falla.

Imagen 24. Von Mises



Fuente: Elaboración propia.

Por uniformidad del diseño, la estructura en U tendrá el mismo perfil, sin embargo, se realizan cálculos de verificación de la columna crítica para evaluar su comportamiento frente a las cargas aplicadas. (elemento B, ver imagen 19).

4.4.3 Cálculo de columna. Para este procedimiento se utiliza el método LRFD tomado del libro Diseño de estructuras en acero de McCormac que permite verificar el comportamiento de los perfiles sometidos a tensión (elemento B, ver imagen 19) seleccionados;

$$U = 1,4xD$$

$$U = 1,2 \times D + 1,6 \times L + 0,5 (Lr \text{ o } S \text{ o } R)$$

Donde;

D= Carga muerta

L= Carga viva

Lr= Cargas vivas en el techo

S= Cargas vivas de nieve

R= Cargas de lluvia o hielo

Se establecio que el cilindro hidráulico genera una carga de 35 toneladas fuerza (TF), sin embargo, al ser el sistema en U (ver imagen 19) permite distribuir la carga de forma uniforme por las dos columnas que componen el sistema para que esta sear transmitida por las mismas;

$$35 \text{ Ton} \times \frac{1.000 \text{ kg}}{1 \text{ Ton}} \times 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \frac{343.000 \text{ KN}}{2} = 171.500 \text{ KN}$$

La carga viva corresponde a 171.500 KN.

Para determinar el valor de la carga muerta se tiene en cuenta el área de sección transversal del perfil seleccionado (UPN 200) y el peso de los componentes estructurales del sistema, como se muestra a continuación;

$$\delta = \frac{m}{v}$$

Donde;

δ = Densidad del material (7.850 Kg/m³)

M= Masa

V= Volumen

El área del perfil seleccionado es 0,00322 m², con una longitud de 0,9 m, y se evalua de la siguiente forma;

$$V = 0,00322 \text{ m}^2 \times 0,9 \text{ m} = 0,002898 \text{ m}^3$$

Despejando se halla la masa de la columna;

$$M = \delta \times v$$

$$M = 7.850 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} \times 0,002898 \text{ m}^3 = 22,74 \text{ Kg}$$

El peso del perfil UPN 200 utilizado para las columnas es de 22,74 Kg cada uno.

$$D = 22,74 \text{ Kg}$$

Una vez establecidas las cargas muertas y cargas vivas que tiene el sistema se halla la carga ultima como se muestra en la siguiente ecuación;

$$U = 1,2 (22,74 Kg) + 1,6 (17.487 Kg) = 28.006 Kg$$

Después de determinar la carga ultima que soportará la estructura se calcula la resistencia del diseño y se evalua de la siguiente forma;

$$Rd = \phi \times Ag \times \sigma_y$$

Donde;

Rd= Resistencia del diseño

ϕ = Factor de resistencia. 0,85

Ag= Área del perfil

σ_y = Esfuerzo de fluencia del material

$$Rd = 0,85 \times 3.320 \text{ mm}^2 \times 345 \frac{N}{\text{mm}^2} = 973,59 \text{ KN} \times \frac{101,97 \text{ Kg}}{1 \text{ KN}} = 99.276 \text{ Kg}$$

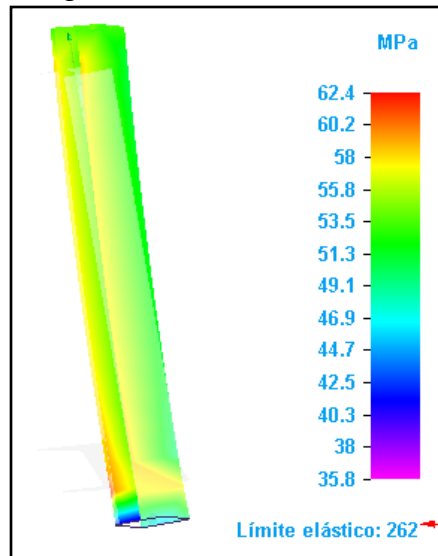
Según el libro de Diseño de Estructuras en Acero de McCormac se establece que la resistencia del diseño debe ser mayor que la carga ultima, como parámetro que garantiza que el perfil seleccionado no presentara fallas debido a las cargas a las que esta sometido como se muestra a continuación;

$$Rd > U$$

$$99.276 \text{ Kg} > 28.006 \text{ Kg}$$

Como un análisis adicional de corroboración de la selección del perfil se desarrolla por simulación de elementos finitos en el Software Solid Edge el elemento de estudio con una fuerza a tensión de 171.500 N.

Imagen 25. Von mises



Fuente: Elaboración propia.

Con el análisis de la teoría de falla de la energía de distorsión máxima (Von Mises) se puede hallar el factor de seguridad de la siguiente forma;

$$F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{VonMises}}$$

Donde;

σ_y = Esfuerzo de fluencia del material

$\sigma_{VonMises}$ = Von Mises

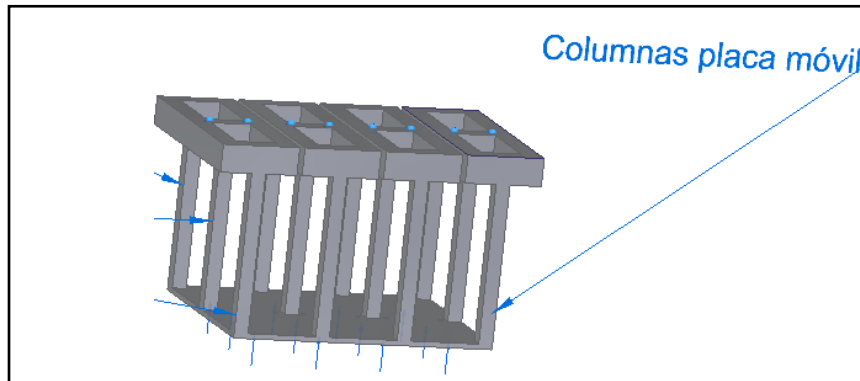
F. S = Factor de seguridad

$$F.S = \frac{345 \text{ MPa}}{62,4 \text{ MPa}} = 5,52$$

El factor de seguridad (5,52) por análisis de Von Mises refleja que la columna no presenta fallas, lo que permite inferir que la columna es apta para el diseño.

4.4.4 Columnas de placa móvil. Para determinar las dimensiones adecuadas capaces de resistir la carga suministrada por el cilindro hidráulico de 35 toneladas fuerza (TF) en las columnas (C, ver imagen 19) se estableció en el numeral 4.1.2 que cada ladrillo requiere 9 (TF) mínimas para la compactación de la mezcla (ver imagen 26). Con el fin de elegir el perfil con el área de sección transversal correcto se procede de la siguiente forma;

Imagen 26. Columnas placa móvil



Fuente: Elaboración Propia.

$$\sigma = \frac{F}{A}$$

Donde;

σ = Esfuerzo permisible

F= Fuerza a compresión

A= Área transversal del perfil

$$A = \frac{F}{\sigma}$$

$$A = \frac{89.676 \text{ N}}{172,5 \frac{\text{N}}{\text{mm}^2}} = 504,20 \text{ mm}^2 * \frac{0,01 \text{ cm}^2}{1 \text{ mm}^2} = 5,04 \text{ cm}^2$$

Una vez determinada la sección transversal ($5,04 \text{ cm}^2$) se recurre a un catálogo comercial de perfiles estructurales para la selección del elemento que corresponda.

Imagen 27. Perfil sección C

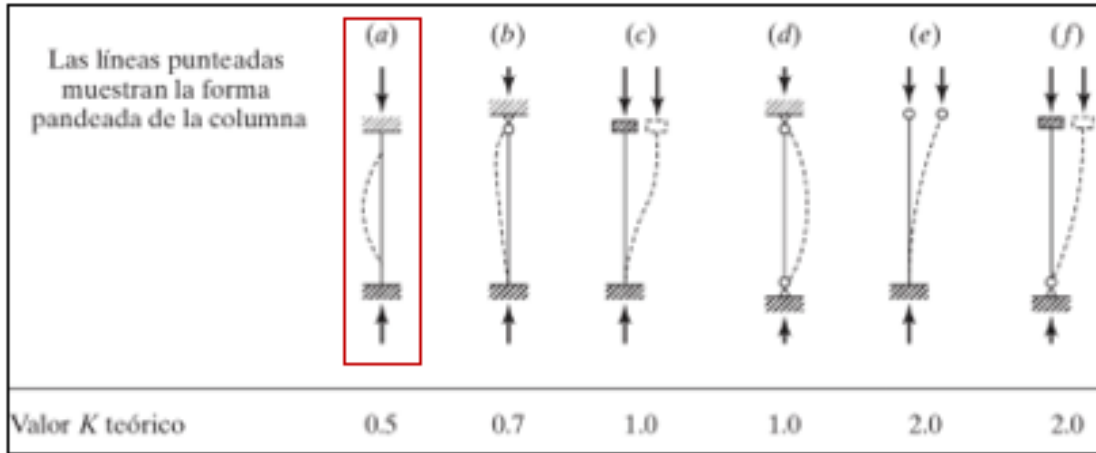
Lado, e	Masa (1)	Sección	Tolerancias (\pm) (2)	
			Lado, e	Dif., e / caras
mm	kg/m	cm ²	mm	mm
8	0,502	0,64	0,5	0,90
10	0,785	1,00	0,5	0,90
12	1,12	1,44	0,6	1,10
14	1,54	1,96	0,6	1,10
16	2,01	2,56	0,6	1,10
18	2,54	3,24	0,6	1,10
25	4,91	6,25	0,7	1,25

Fuente: www.gerdau.com

Se seleccionó un perfil cuadrado macizo de lado 25 mm con un radio de giro de 0,72

cm para los elementos C.

Imagen 28. Factor de longitud efectiva



Fuente: McCormac. En diseño de estructuras de acero. 2.012.

De la imagen 28 se establece que $K= 0,5$ al estar el elemento empotrado en sus extremos.

Con estos parámetros anteriormente establecidos es posible determinar si la columna es larga o corta según la siguiente ecuación;

Chequeo por esbeltez;

$$\gamma = \frac{KL}{\pi r} \sqrt{\frac{\sigma_y}{E}}$$

Donde;

L = Longitud de columna

K = Longitud efectiva

r = Radio de giro (0,72 cm)

σ_y = Esfuerzo de fluencia del material

E = Módulo de elasticidad del material. 199.000 MPa

$$\gamma = \frac{0,5 \times 294 \text{ mm}}{\pi \times 7,2 \text{ mm}} \sqrt{\frac{345 \text{ MPa}}{199.000 \text{ MPa}}} = 0,27$$

$$0,27 \leq 1,5$$

Se establece según el libro de Diseño de elementos de máquinas de Robert Mott que si $\gamma \leq 1,5$, se considera una columna corta.

Cálculo del esfuerzo crítico de la columna determinado por la siguiente ecuación;

$$\sigma_{cr} = (0,658^{\gamma^2}) * \sigma_y$$

Reemplazando se tiene que;

$$\sigma_{cr} = (0,658^{0,27^2}) * 345MPa = 334 MPa$$

Cálculo de la Resistencia de diseño;

$$R_d = \phi * A_g * \sigma_{cr}$$

Donde;

Rd= Resistencia de diseño

ϕ = Factor de resistencia. 0,85

σ_{cr} = Esfuerzo crítico

Ag= Área Gross. 6,25 cm²

$$R_d = 0,85 * 6,25 \text{ cm}^2 * 334 MPa * \frac{10mm^2}{1cm^2} = 177.437 N$$

$$89.676 N < 177.437 N$$

Con la resistencia de diseño es posible evaluar si la columna soporta la carga a la que esta sometida, en este caso no presenta fallas y es apta para el diseño.

Como un segundo método de comprobación se emplea el chequeo por esbeltez.

Chequeo por esbeltez;

$$\frac{KL}{r} \leq 200$$

Donde;

L= Longitud de columna

K= Factor de longitud efectiva

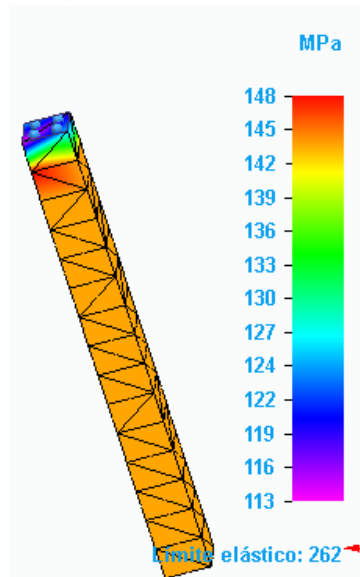
r= Radio de giro mínimo

$$Esbeltez = \frac{0,5 * 29,4 \text{ cm}}{0,72 \text{ cm}} = 20,41$$

$$20,41 \leq 200$$

Se determina el factor de seguridad respecto a los esfuerzos a los que estara sometidos por el metodo de falla de la energía de distorsión máxima (Von Mises) como se muestra a continuación:

Imagen 29. Von Mises



Fuente: Elaboración propia.

$$F.S = \frac{\sigma_y}{\sigma_{VonMises}}$$

Donde;

σ_y = Esfuerzo de fluencia del material

$\sigma_{VonMises}$ = Von Mises

F.s= Factor de seguridad

$$F.S = \frac{345 \text{ MPa}}{148 \text{ MPa}} = 2,33$$

El factor de seguridad (2,33) indica que el perfil no presenta fallas y es adecuado para el diseño. (catálogo del perfil en imagen 27).

4.4.5 Diseño y funcionamiento de moldes. Los moldes son los elementos encargados de dar forma a la materia prima, obteniendo como resultado ladrillo prensado compuesto por una mezcla de suelo-cemento.

Para el diseño se tiene en cuenta las dimensiones especificadas en el numeral 2.2 y se procede a realizar el dimensionamiento de estos;

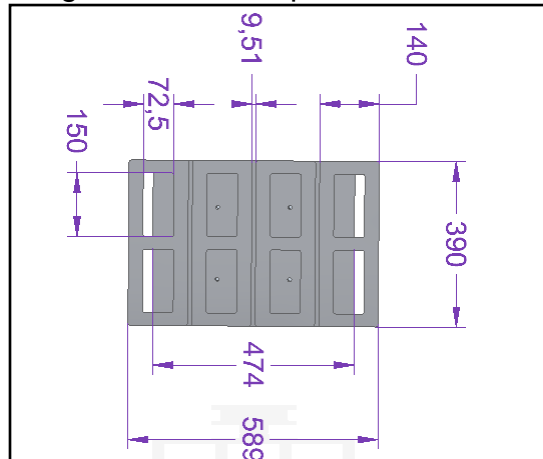
Dimensiones de ladrillo = 390 mm x 140 mm x 60 mm

Huecos de ladrillo = 150 mm x 72,5 mm x 60 mm

Ancho total = 140mm x 4 + 9,5mm distancia entre moldes x 3 = 589 mm

Longitud total = 390 mm

Imagen 30. Vista superior de moldes



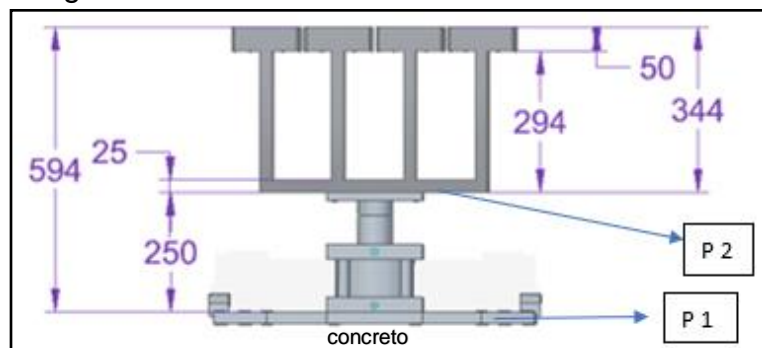
Fuente: Elaboración propia.

Teniendo en cuenta las condiciones de diseño especificadas anteriormente se establece que la longitud total de las barras de moldes está ligada a la necesidad de la altura final (60 mm) del producto.

Con la longitud total (250 mm) del cilindro hidráulico calculada en el numeral 4.1.3 se procede a evaluar la longitud total que requieren las barras de los moldes.

$$\text{longitud de barras de molde} = 344 \text{ mm} - 50 \text{ mm} - 25 \text{ mm} = 269 \text{ mm}$$

Imagen 31. Vista frontal de moldes



Fuente: Elaboración propia.

Además de garantizar las dimensiones establecidas, el sistema expulsa el ladrillo con una longitud total de 594 mm, involucrando la carrera del cilindro hidráulico y las dimensiones del molde como se muestra a continuación;

$$\text{longitud de expulsión} = 250 \text{ mm} + 344 \text{ mm} = 594 \text{ mm}$$

Para el cálculo el espesor de la placa capaz de transmitir la carga proporcionada por el cilindro hidráulico sin presentar falla se desarrolla teniendo en cuenta la guía metodológica del libro Diseño de Estructuras en Acero por el método LRFD como se muestra a continuación;

Peso total de la estructura de acero= 1.000 kg

Carga del cilindro hidráulico = 35.000 kg

Se determina la carga total que soportara la platina;

$$\text{Carga Total} = 1.000 \text{ Kg} + 35.000 \text{ Kg} = 36.000 \text{ Kg}$$

Para el anclaje de la platina se tiene en cuenta que el piso debe ser una fundición en concreto. (ver imagen 31).

Se establece el área requerida para la placa base como se muestra a continuación:

$$A_1 = \frac{P_u}{\phi_c(0,85x F'c)}$$

Donde;

A_1 = Área requerida de la placa

P_u = Carga total

ϕ_c = Factor por aplastamiento del concreto (0,6)

$F'c$ = Resistencia a la compresión del concreto (3 Ksi)

$$A_1 = \frac{36.000 \text{ Kg} * \frac{2,20462 \text{ lbf}}{1 \text{ Kg}}}{0,6 (0,85x3.000 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2})} = 51,9 \text{ in}^2$$

Según lo estipulado en el numeral 4.4.5 las dimensiones del perfil deben ser 18,7 in x 15,3 in, y se evalúa de la siguiente forma;

$$A_2 = 18,7 \text{ in} x 15,3 \text{ in} = 286,11 \text{ in}^2$$

Se realiza el proceso de optimización de la placa, con el fin de hallar las dimensiones del concreto para el anclaje;

$$\Delta = \frac{0,95 d - 0,8 b_f}{2}$$

Donde;

Δ = Factor de espesor para el concreto

d = Base del perfil

b_f = Altura del perfil

$$\Delta = \frac{0,95 \times 18,7 \text{ in} - 0,8 \times 15,3 \text{ in}}{2} = 2,76 \text{ in}$$

Altura del concreto;

$$N = \sqrt{A_1} + \Delta$$

Donde;

N = Altura del concreto

A_1 = Área de la lamina base

Δ = Factor de espesor para el concreto

$$N = \sqrt{51,9 \text{ in}^2} + 2,76 \text{ in} = 10 \text{ in}$$

Base del concreto;

$$B = \frac{A_1}{N}$$

Donde;

B = Base del concreto

A_1 = Área de la lámina base

N = Altura del concreto

$$B = \frac{51,9 \text{ in}^2}{10 \text{ in}} = 5,19 \text{ in}$$

Espesor requerido de la placa;

$$m = \frac{0,95 d - N}{2}$$

Donde;

m= Longitud libre del perfil a la lámina base

N= Altura del concreto

d= Base del perfil

$$m = \frac{0,95 \times 18,7 \text{ in} - 10 \text{ in}}{2} = 3,88 \text{ in}$$

Carga máxima que soporta la placa;

$$\phi_c F_u = 0,6x(0,85 \times F'c \times A_3)$$

Donde;

$\phi_c F_u$ = Carga máxima que soporta la lámina

A_3 = Área del conerto calculada

$F'c$ = Factor de resistencia del concreto

$$\phi_c F_u = 0,6x \left(0,85 \times 3 \frac{\text{lb}}{\text{in}^2} \times 10 \text{ in} \times 5,19 \text{ in} \right) = 79,407 \text{ Kip} \times \frac{0,453592 \text{ Ton}}{1 \text{ Kip}} = 36 \text{ Ton}$$

Factor de corrección para la longitud máxima;

$$x = \frac{P_u}{\phi_c P_u}$$

Donde;

P_u = Carga total

$\phi_c F_u$ = Carga máxima que soporta la lámina

$$x = \frac{79,366 \text{ Kip}}{79,407 \text{ Kip}} = 0,99$$

Espesor de placa corregido;

$$t = m \times \sqrt{\frac{2 \times P_u}{0,9 \times F_y \times B \times N}}$$

Donde;

t= Espesor de la placa

P_u = Carga total

F_y = Esfuerzo de fluencia del material

B= Base

N= Altura

m= Longitud

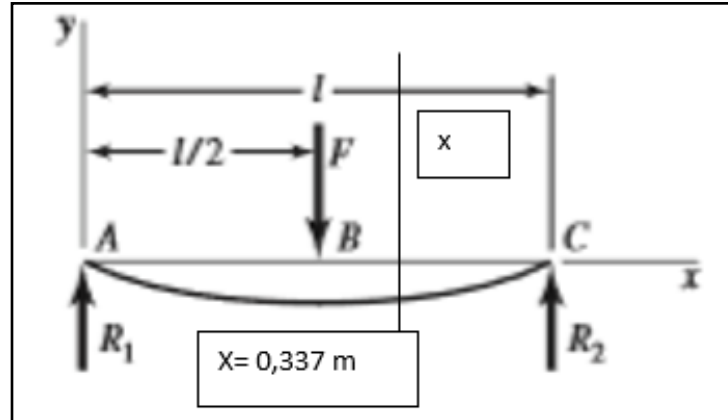
$$t = 3,88 \text{ in} \times \sqrt{\frac{2 \times 79,407 \text{ Kip}}{0,9 \times 50 \text{ Kip} \times 5,19 \text{ in} \times 10 \text{ in}}} = 1,01 \text{ in} \cong 1 \text{ in} \times \frac{25,4 \text{ mm}}{1 \text{ in}} = 25,4 \text{ mm}$$

El espesor de la lamina capaz de soportar la fuerza ejercida por el cilindro además de los componentes estructurales corresponde a 25,4 mm; por uniformidad de diseño y evaluación de resultados analíticos se establece que el espesor de la placa móvil de los moldes tendrá la misma medida sin presentar falla. (ver imagen 35).

Para garantizar la efectividad del diseño se evalua el desplazamiento máximo de la placa teniendo en cuenta el procedimiento del libro Diseño de Ingeniería mecánica de Shigley como se muestra a continuación;

Se sabe que la placa es la encargada de transmitir la totalidad de la carga al proceso (343 KN), como una fuerza distribuida.

Imagen 32. Diagrama de cuerpo libre placa



Fuente. Shigley. Diseño de Ingeniería mecánica.

Evaluando en la ecuación de deflexión parcial se tiene que;

$$y_{ab} = \frac{Fx}{48EI} * (4x^2 - 3l^2)$$

Donde;

y_{ab} = Deflexión parcial

F= Fuerza

E= Módulo de elasticidad del material (199.000 Mpa)

l= Longitud total

X= Corte a la viga

$$y_{ab} = \frac{343 \text{ KN} * 0,337 \text{ m}}{48 * 199.000 \text{ Mpa} * 0,474 \text{ m}} * (4 * 0,337 \text{ m}^2 - 3 * 0,474 \text{ m}^2) = -0,003 \text{ m}$$

Par hallar la deflexión máxima se valua en la siguiente ecuación;

$$y_{Max} = -\frac{Fl^3}{48EI}$$

Donde;

y_{max} = Deflexión máxima

F= Fuerza

E= Módulo de elasticidad del material (199.000 Mpa)

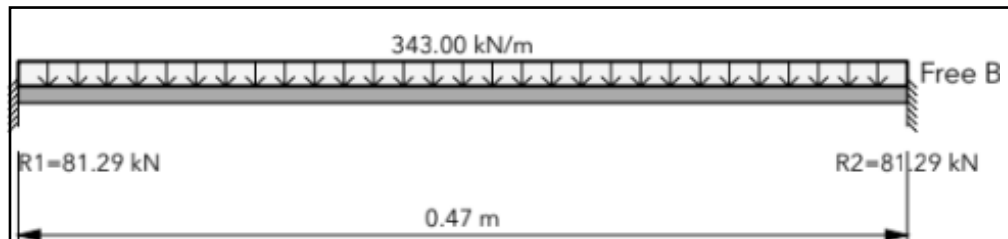
l= Longitud total

X= Corte a la viga

$$y_{Max} = -\frac{343 \text{ KN} * 0,474 \text{ m}^3}{48 * 199.000 \text{ Mpa} * 0,474 \text{ m}} = -0,008 \text{ m}$$

Se determino que la deflexión máxima que tiene este elemento es de 0,008 m. con esta información se evalua en el proceso real de la siguiente forma;

Imagen 33. Diagrama de cuerpo libre real



Fuente: A-beam lite.

Con el diagrama de cuerpo libre real se puede establecer que la aplicación de las cargas al ser distribuidas genera menor esfuerzo que en el caso anteriormente establecido, garantizando así, que el elemento no presente deformaciones en la aplicación de la fuerza transmitida por el cilindro hidráulico.

Para este tipo de procedimientos se recomienda hacer un análisis que permita evaluar la deflexión máxima del elemento, con el fin de evaluar su resistencia frente

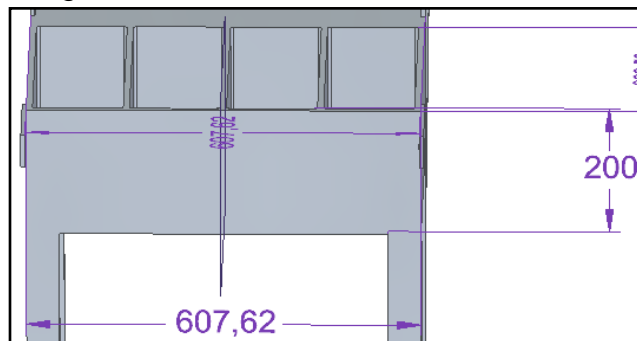
a los esfuerzos a los que está sometido. Según la ACI [American concrete institute]⁸ se plantea la deflexión máxima admisible de la siguiente forma;

$$\frac{L}{360} = \frac{474 \text{ mm}}{360} = 1,31 \text{ mm}$$

$$0,0080 \leq 1,31 \text{ mm}$$

El anterior análisis permite evaluar que la deflexion maxima de la viga es 1,31 mm según lo establecido por la ACI, sin embargo, se tiene en consideracion el resultado analítico garantizando la efectividad del perfil seleccionado con una deflexión de 0,0080 mm.

Imagen 34. Unidades de moldes



Fuente: Elaboración propia.

Para establecer el espesor de las laminas de las unidades de moldes se sabe que la presión requerida para la compactación de los 4 ladrillos presnados según lo estipulado en el numeral 2.2 es de $2,36 \times 10^7 Pa$, y se evalua en la siguiente ecuación;

$$t = \frac{P_w * r}{\sigma_y}$$

Donde;

t= Espesor de lamina

Pw= Presión en la pared

r= Radio

⁸ AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-05) y comentario (ACI 318SR-05). [en línea]. Michigan.: American Concrete Institute. 2005. [consultado el 21 de agosto del 2018]. Disponible en: <http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_318-05_Espanhol.pdf>

σ_y = Esfuerzo admisible del acero

El radio se determina según la imagen 46;

$$R = \frac{b * h}{b + 2h}$$

Donde;

b = Base

h = Altura

$$R = \frac{0,608 \text{ m} * 0,2 \text{ m}}{0,608 \text{ m} + 2 * 0,3 \text{ m}} = 0,121 \text{ m}$$

Una vez hallado el radio se reemplaza en la ecuación general;

$$t = \frac{2,36 \times 10^7 \text{ Pa} * 0,121 \text{ m}}{3,8 \times 10^8 \text{ Pa}} = 0,0075 \text{ m}$$

$$0,0075 \text{ m} \cong 0,008 \times \frac{1.000 \text{ m}}{1 \text{ mm}} = 8 \text{ mm}$$

Se establece que el espesor de las laminas requeridas en las unidades de molde corresponden a 7 mm, sin embargo, al ser este el espesor mínimo y con el fin de evitar la falla de estos elementos, se toma el valor en catálogos comerciales de una lamina de mayor espesor (8 mm) como se muestra en la imagen 35.

Imagen 35. Lámina acero A572 Gr 50

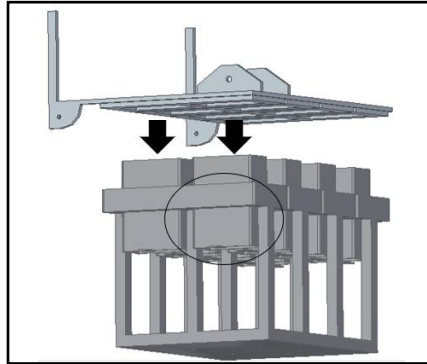
Lámina ASTM-A572 G50				
CALIBRE mm	FORMATO 4x8	PESO KG	FORMATO 8x20	PESO KG
6	1,22 x 2,44	140,21	2,44 x 6,1	701,04
8	1,22 x 2,44	186,94	2,44 x 6,1	934,72
9	1,22 x 2,44	210,31	2,44 x 6,1	1051,55
12	1,22 x 2,44	280,41	2,44 x 6,1	1402,07
15	1,22 x 2,44	350,52	2,44 x 6,1	1752,59
19	1,22 x 2,44	443,99	2,44 x 6,1	2219,95
25	1,22 x 2,44	584,20	2,44 x 6,1	2920,99
32	1,22 x 2,44	747,77	2,44 x 6,1	3738,86
38	1,22 x 2,44	887,98	2,44 x 6,1	4439,90

Fuente: www.acerosmapa.com.co

El funcionamiento de moldes ejecuta su función al accionamiento del cilindro hidráulico, estos, recorren de forma ascendente el espacio otorgado para su

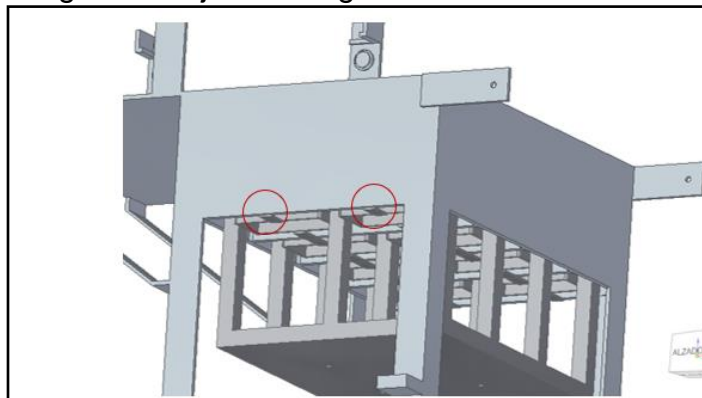
funcionamiento. La estructura base poseen unas guías que ayudan a los moldes a realizar los huecos característicos del diseño al restringir el desperdicio de mezcla, además en conjunto con la tapa se sella el sistema, como se muestra en las siguientes imágenes;

Imagen 36. Guías de moldes



Fuente. Elaboración propia.

Imagen 37. Fijación de guías de molde



Fuente: Elaboración propia.

Las guías de los moldes están soladas a la estructura base como se muestra en la imagen anterior.

Imagen 38. Guías de moldes actuales

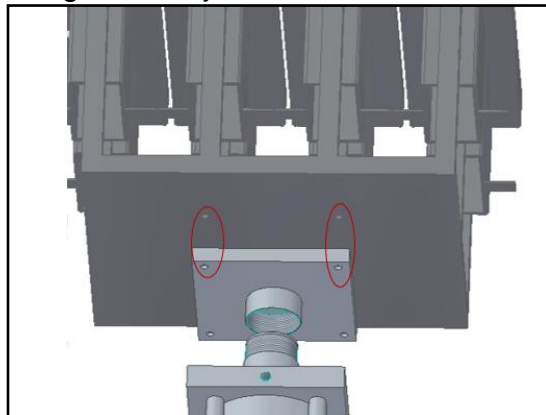


Fuente: Elaboración propia.

Para el desarrollo del diseño de la nueva máquina compactadora se tiene en cuenta la conceptualización de algunos elementos y procesos que lleva a cabo la empresa en la producción de ladrillo prensado, donde se establece que la guía de moldes (ver imagen 38) es un solo cuerpo que evita el desperdicio de mezcla además de formar los orificios característicos del modelo del ladrillo.

La fijación de los moldes para el correcto accionamiento del proceso debe tener una fijación al sistema hidráulico que permite la compactación y expulsión del ladrillo, para este caso se realiza un acople con pernos entre la placa del cilindro hidráulico y la placa móvil de los moldes como se muestra en la imagen 36, además la placa cuenta con un orificio roscado que permite en caso de modificar las dimensiones del ladrillo realizar el ajuste con el vástago hasta donde se requiera.

Imagen 39. Fijación del sistema

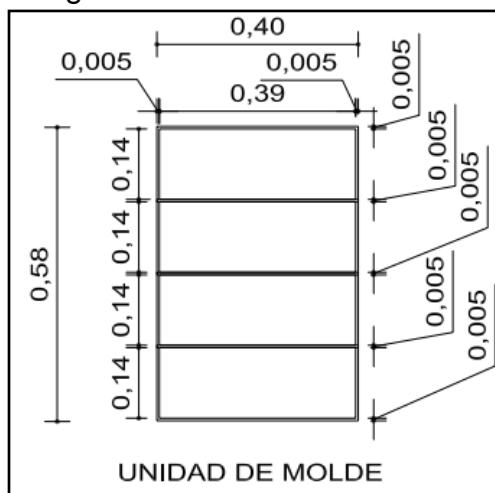


Fuente: Elaboración propia.

4.4.6 Diseño de elementos de abastecimiento. El diseño de estos elementos tiene como finalidad garantizar un abastecimiento suficiente entre la acumulación de la mezcla y la producción para que esta sea continua.

Se tiene en consideración para el cálculo del volumen de la tolva dimensiones y unidades del ladrillo prensado por ciclo (39 cm X 14 cm X 6 cm X 4 unidades), estipuladas en el numeral 2.2, adicional a esto para lograr una altura final de 6 cm en el ladrillo prensado se requiere el doble de la altura deseada, ya que está sufre una reducción de volumen en consecuencia de la fuerza que transmite el sistema hidráulico al proceso, como se determino en el numeral 4.1.3.

Imagen 40. Unidades de molde



Fuente: Elaboración propia.

El calculo del volumen requerido por ciclo se determina de la siguiente forma;

$$v = 0,39 \text{ m} \times 0,14 \text{ m} \times 0,12 \text{ m} \times 4 \text{ ladrillos} = 0,026 \text{ m}^3$$

Una vez hallado el volumen requerido por ciclo se establece el volumen de la tolva, como se muestra a continuación;

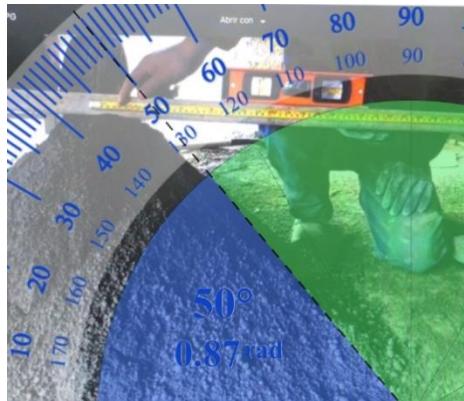
$$0,026 \text{ m}^3 \times 4 \text{ ciclos} = 0,104 \text{ m}^3$$

Con este valor se puede determinar la altura que requiere la tolva, teniendo en cuenta que sus lados inferiores miden (0,60 m y 0,40 m) por uniformidad dimensional con la unidad de molde. (ver imagen 40).

$$\text{altura de tolva} = \frac{0,104 \text{ m}^3}{0,60 \text{ m} \times 0,40 \text{ m}} = 0,43 \text{ m}$$

Una vez hallados los valores dimensionales básicos de la tolva, es necesario calcular el ángulo de reposo que requiere este elemento para que la mezcla (suelo-cemento) pueda fluir sin restricciones evitando que la producción sea lenta, para ello se realizó una serie de pruebas con la mezcla proporcionada por la empresa determinando así el valor del ángulo. (ver imagen 41).

Imagen 41. Ángulo de reposo



Fuente: Elaboración propia.

El valor del ángulo de reposo de la mezcla corresponde a 50° . La inclinación de la tolva necesaria para permitir que la mezcla fluya es aproximadamente 15° mas, que el ángulo de reposo⁹, como se muestra a continuación;

$$\beta = \alpha + 15^\circ$$

Donde;

β = Ángulo de reposo

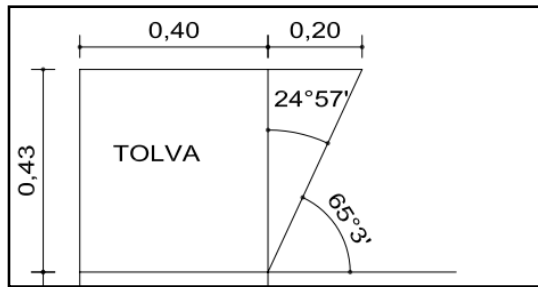
α = Ángulo de inclinación

$$\beta = 50^\circ + 15^\circ = 65^\circ$$

El ángulo de reposo necesario para este tipo de mezcla compuesta por suelo-cemento para el diseño de la tolva es de 65° . (ver imagen 42).

⁹ SIUCE, Bonifacio. Diseño de Tolvas. [dispositivas]. [consultado el 10 de septiembre del 2018]. Disponible en: <<https://www.slideshare.net/RamiroSIUCEBONIFACIO1/diseo-de-tolvas-63586969>>

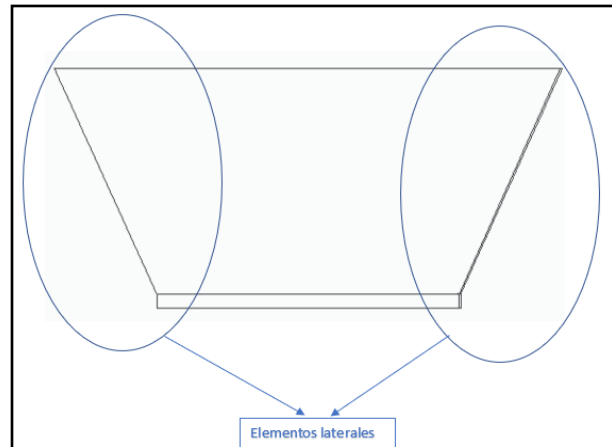
Imagen 42. Dimensiones de la tolva



Fuente: Elaboración propia.

Para hallar las dimensiones de los elementos laterales que complementan la tolva se toma el ángulo que se genera entre la inclinación de ésta (65°) y el punto que marca 90° como se muestra en la imagen 42.

Imagen 43. Elementos laterales de la tolva



Fuente: Elaboración propia.

$$\tan \alpha = \frac{Co}{Ca}$$

Donde;

Co= Cateto opuesto

Ca= Cateto adyacente

$$\tan 25^{\circ} = \frac{\text{lado lateral}}{0,43 \text{ m}}$$

$$\text{lado lateral} = 0,43 \text{ m} * \tan 25^{\circ}$$

$$\text{lado lateral} = 0,20 \text{ m}$$

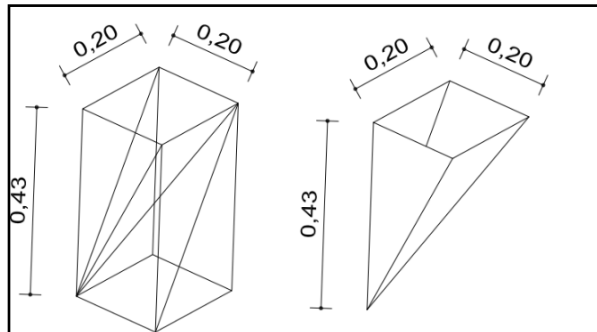
Volumen sección rectangular de la tolva;

$$\text{volumen seccion rectangular} = 0,6 \text{ m} \times 0,4 \text{ m} \times 0,43 \text{ m} = 0,1032 \text{ m}^3$$

Volumen elementos laterales de la tolva;

$$\text{volumen elementos laterales} = \frac{1}{3} \times 0,2 \text{ m} \times 0,43 \text{ m} = 0,0286 \text{ m}^3 \times 2 = 0,0573 \text{ m}^3$$

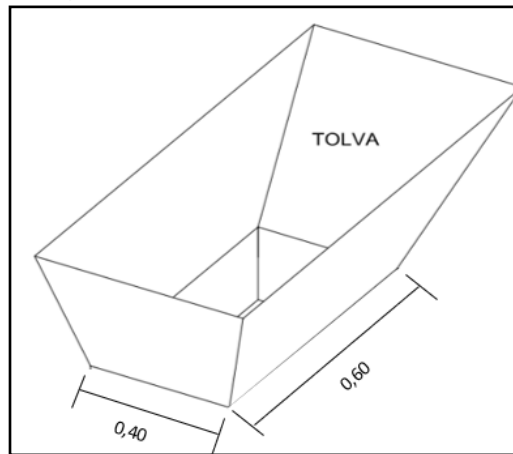
Imagen 44. Elementos complementarios



Fuente: Elaboración propia.

Después de hallar todos los volúmenes de los elementos que componen la tolva se suman para encontrar el volumen final como se muestra a continuación;

Imagen 45. Tolva



Fuente: Elaboración propia.

$$V. \text{total} = 0,0573 \text{ m}^3 + 0,1032 \text{ m}^3 = 0,16 \text{ m}^3$$

Una vez hallado el volumen total se determina la capacidad real de la tolva para la producción de ladrillo prensado, dividiendo este valor entre el volumen de las

unidades del molde por ciclo con el fin de determinar la cantidad de mezcla (suelo-cemento) en bultos de 50 Kg que se requiere, determinada de la siguiente forma;

$$\frac{0,016 \text{ m}^3}{0,026 \text{ m}^3} = 6,17 \cong 6 \text{ bultos de mezcla} * 50 \text{ Kg} = 300 \text{ Kg de mezcla}$$

Según lo anterior, la capacidad de abastecimiento de la tolva es hasta 300 kg de mezcla compuesta por suelo- cemento.

Para hallar el espesor de lamina necesario de la tolva para soportar el peso de la mezcla a satisfacción se tiene en consideración la siguiente ecuación;¹⁰

$$t = \frac{P_w * r}{\sigma_y}$$

Donde;

t= Espesor de lamina

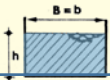
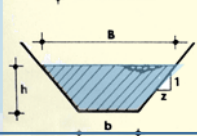
Pw= Presión en la pared de la tolva

r= Radio

σ_y = Esfuerzo admisible del acero

El radio se determina según la siguiente imagen;

Imagen 46. Radio

Sección transversal del canal	Superficie de la sección transversal A (m ²)	Perímetro mojado P (m)	Radio hidráulico R = (2) ÷ (3) (m)	Anchura de la parte superior B (m)
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)
	bh	b + 2h	$\frac{bh}{b + 2h}$	b
	(b + zh) h	b + 2h $\sqrt{1+z^2}$	$\frac{(b + zh) h}{b + 2h \sqrt{1+z^2}}$	b + 2zh

Fuente: www.fao.org

Una vez determinada la formula para establecer el radio se evalua teniendo en cuenta los datos dimensionales de la tolva calculados anteriormente, y se obtiene lo siguiente;

¹⁰ PAREDES GUERRA, Alfredo Jesús. Diseño Mecánico de tolvas industriales (tercera parte). [en línea]. [consultado el 30 de septiembre de 2018]. Disponible en: <<http://mecanotecnia.blogspot.com/2017/04/disenio-mecanico-de-tolvas-industriales.html>>

$$r = \frac{(b + Z * h) * h}{b + 2h * \sqrt{1 + z^2}}$$

Donde;

r= Radio

b= Longitud frontal

z= Angulo

h= Altura

$$r = \frac{(0,60 \text{ m} + 65^\circ * 0,43 \text{ m}) * 0,43}{0,60 \text{ m} + 2 * 0,43 \text{ m} * \sqrt{(1 + 65^\circ)^2}} = 0,2172 \text{ m}$$

Presión en el fondo de la tolva;

$$P_v = \frac{\rho^0 g D}{4\mu K g_c} * \left(1 - e^{\left(-\frac{4z\mu K}{D}\right)}\right)$$

Donde;

P_v = Presión en el fondo de la tolva

ρ^0 = Densidad del material (1.800 Kg/m³)

g= Gravedad (9,8 m/s²)

D= Diametro mayor de la tolva (0,60 m)

μ = Coeficiente de fricción (0,57)

K= 0,6

g_c = 1 Kg m/Ns²

Z= Altura de tolva (0,43 m)

$$P_v = \frac{1.800 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} * 0,60 \text{ m}}{4 * 0,57 * 0,6 * 1 \text{Kg m/Ns}^2} * \left(1 - e^{\left(-\frac{4 * 0,43 \text{ m} * 0,57 * 0,6}{0,60 \text{ m}}\right)}\right)$$

$$P_v = 4.834.281 \text{ Pa}$$

Se halla la presión en la pared de la tolva;

$$P_w = K * P_v$$

$$P_w = 0,6 * 4.834.281 \text{ Pa} = 2.900.568 \text{ Pa}$$

Reemplazando en la ecuación general;

$$t = \frac{2.900.568 \text{ Pa} * 0,2172 \text{ m}}{3,45 \times 10^8 \text{ Pa}} = 0,00185 \text{ m}$$

$$0,00185 \text{ m} * \frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 1,85 \text{ mm} \cong 2 \text{ mm}$$

El espesor mínimo de lámina que requiere la tolva para soportar a satisfacción las cargas a las que estará sometida corresponden a 2 mm.

Mayor información de propiedades y espesor de lámina disponible en anexo B.

Para saber si la tolva requiere elementos de refuerzo se evalúa de la siguiente forma;

Se halla C_c ;

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

Donde;

E= Módulo de elasticidad del material (200 Mpa)

σ_f = Esfuerzo de fluencia del material (345 MPa)

$$C_c = \sqrt{\frac{2\pi^2 200 \text{ Mpa}}{345 \text{ Mpa}}} = 3,38$$

Relación de esbeltez;

$$\frac{Kl}{r}$$

Donde;

K= Factor de longitud efectiva

L= longitud

R= radio

$$\frac{0,5 * 06 \text{ m}}{0,2172 \text{ m}} = 1,38$$

$$1,38 > 3,38$$

Cuando la relación de esbeltez excede C_c , se requiere material de aporte como refuerzo para la tolva, como es evidente en este caso no es necesario refuerzos para el desarrollo de funciones de abastecimiento.

Determinar el factor de seguridad;

$$F.S = \frac{5}{3} + \frac{3(Kl/r)}{8 * c_c} - \frac{\left(\frac{Kl}{r}\right)^3}{8c_c^3}$$

Donde;

F.S= Factor de seguridad

K= Factor de longitud efectiva (Ver imagen 28)

l= Longitud (0,60m)

r= Radio (0,2172 m)

$$F.S = \frac{5}{3} + \frac{3\left(\frac{0,5 * 0,6m}{0,2172 m}\right)}{8 * 3,38} - \frac{\left(\frac{0,5 * 0,6 m}{0,2172 m}\right)^3}{(8 * 3,38)^3} = 1,81$$

Se halla el factor de seguridad (1,8) de la tolva y corresponde a parametros de diseño seguros.

Sin embargo, se analiza el proceso de abastecimiento de la maquinaria actual de la empresa y se observa que con la misma mezcla compuesta por suelo-cemento con la finalidad de producir ladrillo prensado, la tolva no requiere refuerzos para su correcto funcionamiento como se muestra en la imagen 47.

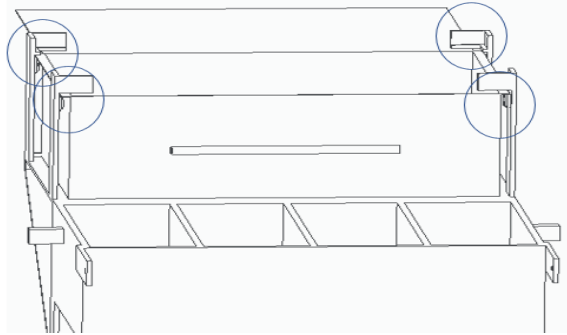
Imagen 47. Tolva actual



Fuente: Elaboración propia.

El cajón de abastecimiento es el elemento encargado de almacenar parcialmente la mezcla procedente de la tolva para después ser distribuido a las unidades de los moldes, este reposa sobre cuatro rodamientos de diámetro externo de 30 mm, rodamiento de especificación SKF W 639-2RZ. (ver imagen 48).

Imagen 48. Apoyo sobre rodamientos



Fuente: Elaboración propia.

En este caso no es necesario realizar cálculos por fatiga ya que la velocidad angular a la que están sometidos estos rodamientos es muy baja debido a que solo cumplen la función de permitir un movimiento de deslizamiento al cajón de almacenamiento, adicionalmente las cargas estáticas que soportan estos elementos están dentro de los límites máximos (236,57 kgf) dados por el fabricante de rodamientos. Consultar anexo D.

Para la verificación respecto a las cargas estáticas que están sometidos los rodamientos en este proceso y la carga real que soporta según especificaciones de catálogos, se evalúa de la siguiente forma;

fuerza requerida para el avance =

volumen requerido de llenado x densidad de mezcla

Donde;

Volumen requerido de llenado= $0,026m^3$

Densidad de la mezcla= $1.800kg/m^3$ (información proporcionada por la empresa)

Ce= Carga estática

$$0,026m^3 \times 1.800kg/m^3 = 46,8kg$$

$$Ce = \frac{46,8 \text{ kgf}}{4} = 11,7 \text{ kgf}$$

$$11,7 \text{ kgf} < 236,57 \text{ kgf}$$

De lo anterior se infiere, que la carga a la que estos elementos están sometidos (11,7 kgf) en el proceso de almacenamiento y distribución es muy baja por lo cual no requiere cálculos por fatiga de dichos elementos.

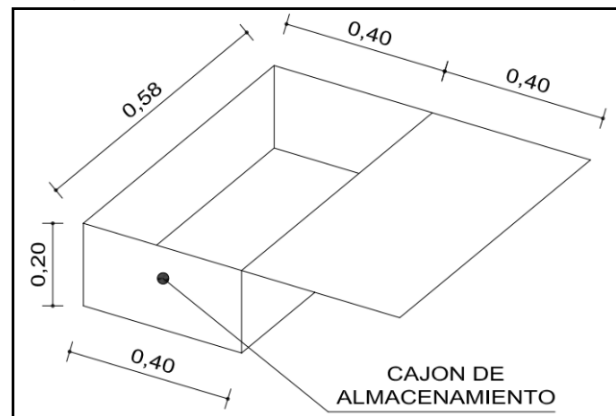
Según la información proporcionada anteriormente respecto a las dimensiones de la tolva (0,6 m x 0,4 m) y el volumen requerido por ciclo de producción en las unidades de molde ($0,026m^3$), por uniformidad de diseño se establecen las medidas del cajón de almacenamiento capaz de abastecer el sistema de la siguiente forma;

$$\text{altura del cajón} \times 0,4 \text{ m} \times 0,6 \text{ m} = 0,026m^3$$

$$\text{altura del cajón} = \frac{0,026m^3}{0,4m \times 0,6m} = 0,10 \text{ m}$$

El valor de la altura del cajón es muy pequeño debido a que está determinado por el volumen de llenado en las unidades de molde a condiciones exactas, sin embargo, al ser este un proceso repetitivo se considera desborde de mezcla y residuos en los diferentes componentes de la máquina, y por tanto se toma una altura del cajón de 0,20 m garantizando un llenado suficiente del volumen a las unidades de molde.

Imagen 49. Cajón de almacenamiento



Fuente: Elaboración propia.

4.5 CÁLCULO DE PASADORES

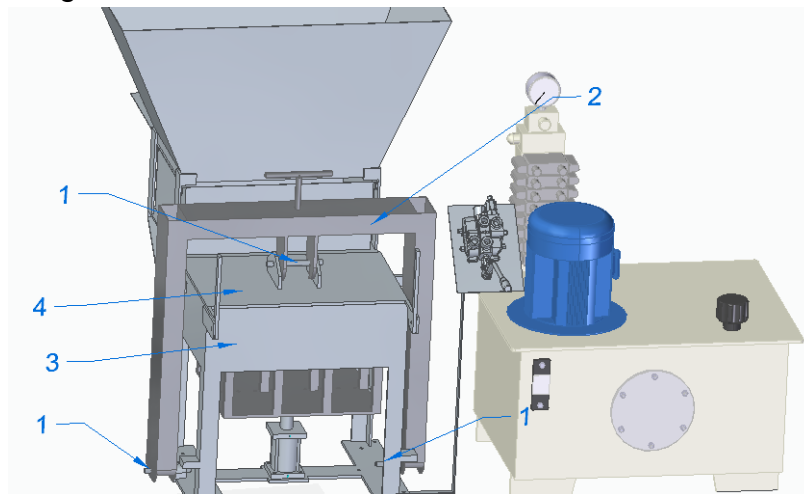
Los pasadores son “vástagos de acero de forma cilíndrica o cónica, cuyos extremos están mecanizados en forma de chaflán para facilitar su introducción en un orificio común a dos o más piezas, provocando su inmovilización (pasador de sujeción), o

asegurando la posición relativa entre las piezas (pasador de posición). También se puede utilizar como elemento de guía o articulación¹¹”.

Para este análisis se tienen en cuenta los siguientes componentes: pasadores (1), estructura en U (2), estructura base (3), tapa (4).

La aplicación de pasadores, se requiere para la fijación de la estructura en U a la estructura base y a su vez para realizar el bloqueo de la tapa, como se indica en la siguiente imagen;

Imagen 50. Pasadores



Fuente: Elaboración propia.

Los pasadores son elementos que están sometidos a un esfuerzo cortante a causa de la carga de 35 toneladas fuerza (TF)¹² transmitida por el sistema hidráulico.

4.5.1 Selección del material. Para este caso se selecciona un acero AISI 1045 estirado en frío, cuyas propiedades de resistencia a la fluencia y la tensión son $S_y=310$ MPa, $S_u=565$ MPa. Catálogo del material disponible en anexo C.

4.5.2 Cálculo del diámetro mínimo de pasadores. El cálculo de pasadores se realiza teniendo en cuenta diferentes aspectos como la fuerza ejercida por el sistema hidráulico (35 TF o 343 kN) y el número de pasadores (3) que se involucran como también la estructura en donde van a intervenir (ver imagen 49). La máquina compactadora tiene una estructura en U compuesta por elementos estructurales

¹¹ ECURED. Pasadores (Mecánica). Definición. [en línea]. [consultado el 20 de mayo del 2018]. Disponible en: <[https://www.ecured.cu/Pasadores_\(mecánica\)](https://www.ecured.cu/Pasadores_(mecánica))>

¹² GATANI. Op Cit., p. 39.

UPN 200, calculados en el numeral 4.4.1, con un peso de 73 Kg¹³ al sumar todos sus componentes que actúan sobre los pasadores. El cálculo se desarrolla de la siguiente forma.

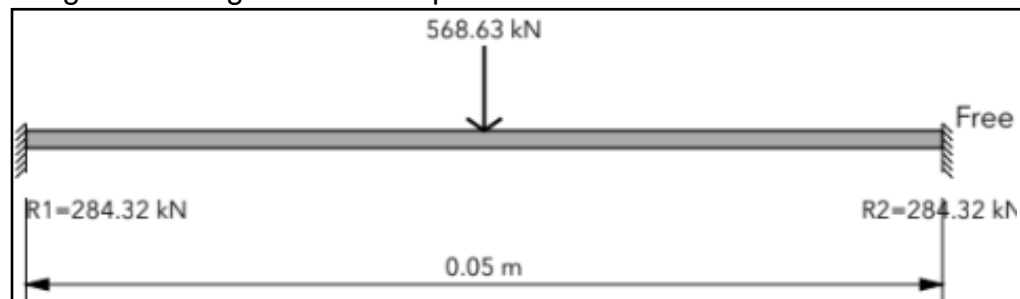
Para el cálculo del pasador de la tapa se establece lo siguiente;

$$Fuerza\ del\ cilindro = \frac{343\ kN}{1} = 343\ kN$$

$$Carga\ estructura\ U = 23\ Kg * 9,8\ \frac{m}{s^2} = 225,63\ kN$$

$$Carga\ puntual = 343\ kN + 225,63\ kN = 568,63\ kN$$

Imagen 51. Diagrama de cuerpo libre



Fuente: A-beam lite

Para el cálculo del diámetro mínimo del pasador es necesario encontrar el esfuerzo cortante al que este está sometido para así realizar los cálculos correspondientes, de esta forma se emplea la teoría de la energía de la distorsión para materiales dúctiles tomada del libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley como se muestra a continuación;

$$S_{sy} = 0,577 * S_y$$

Donde;

S_{sy} = Esfuerzo cortante

S_y = Límite de fluencia del material (310 MPa)

$$S_{sy} = 0,577 * 310\ MPa$$

$$S_{sy} = 178,87\ MPa$$

¹³ CELSA. Catálogo de Aceros. [en línea]. [Consultado el 08 de septiembre de 2018]. Disponible en: <<https://www.fnb.upc.edu/mecanica/s11-pw/Prontuario%20-%20Perfiles%20Laminados.pdf>>

Como se muestra en la imagen 51, la carga total (V) del cortante interno es aplicada en la mitad del pasador, generando reacciones en sentido opuesto al estar fijo en sus extremos, entonces la carga corresponde a la mitad de la carga total en un punto (P/2). Para su evaluación se desarrolla el siguiente procedimiento;

$$\tau = \frac{V}{A} = \frac{\frac{P}{2}}{A} = \frac{P}{2A}$$

Donde;

τ = Esfuerzo cortante

P= Carga aplicada sobre el pasador

A= Área del pasador

$$A = \frac{P}{\tau * 2}$$

$$A = \frac{568,63 \text{ N}}{178,87 \text{ Mpa} * \frac{1,0 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{1 \text{ Mpa}} * 2}$$

$$A = 1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Del área se puede despejar el diámetro mínimo para el pasador con la siguiente ecuación;

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

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

Donde;

D= Diámetro mínimo del pasador

A= Área del pasador

$$D = \sqrt{\frac{4 * 1,6 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{\pi}} = 0,045 \text{ m} * \frac{1.000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 45,13 \text{ mm}$$

Se requiere un diámetro mayor de diseño a 45,13 mm para garantizar soportar una carga de 568,3 KN y evitar que el elemento falle, teniendo en cuenta lo anterior se

selecciona un elemento comercial y se recurre a un catálogo como se muestra a continuación y se establece que el diámetro correcto para el diseño corresponde a 47,63 mm.

Imagen 52. Catálogo de pasadores

Medida		Forma			Medida		Forma		
Pulgada	mm	Redondo	Hexagonal	Cuadrado	Pulgada	mm	Redondo	Hexagonal	Cuadrado
3/16	4,76	0,14	0,15	0,18	3.1/8	79,39	38,81	42,79	49,41
1/4	6,35	0,25	0,27	0,32	3.1/4	82,55	42,25	46,34	53,83
5/16	7,94	0,39	0,44	0,51	3.1/2	88,90	49,00	53,74	62,44
3/8	9,53	0,57	0,63	0,78	3.3/4	92,25	56,25	61,69	71,67
7/16	11,11	0,75	0,82	0,96	4	101,60	64,00	70,19	81,55
1/2	12,70	1,00	1,10	1,27	4.1/4	107,90	71,80	79,12	91,40
9/16	14,29	1,27	1,39	1,61	4.3/8	111,13	76,07	83,88	96,66
5/8	15,88	1,56	1,71	1,99	4.1/2	114,30	82,00	89,93	104,50
11/16	17,46	1,89	2,07	2,41	4.3/4	120,65	90,25	98,98	115,00
3/4	19,05	2,25	2,47	2,87	5	127,00	100,00	109,70	127,42
13/16	20,64	2,62	2,89	3,34	5.1/2	139,70	121,50	133,30	154,80
7/8	22,23	3,06	3,36	3,85	6	152,40	144,00	157,94	183,48
15/16	23,81	3,52	3,86	4,48	6.1/4	158,75	158,70	174,10	202,40
1	25,40	4,00	4,38	5,08	6.1/2	165,10	169,00	185,35	215,34
1.1/8	28,58	5,06	5,55	6,45	7	177,80	196,00	214,97	249,74
1.1/4	31,75	6,25	6,85	7,97	7.1/2	190,50	225,00	246,77	286,69
1.3/8	34,93	7,56	8,29	9,66	8	203,20	257,00	280,77	326,19
1.7/16	36,51	8,21	9,05	10,46	8.1/2	215,90	284,00	311,30	361,20
1.1/2	38,10	9,00	9,86	11,47	9	228,60	324,00	355,35	412,84
1.5/8	41,28	10,42	11,43	13,28	9.1/2	241,30	357,10	391,70	455,00
1.3/4	44,45	12,56	13,77	16,00	10	254,00	400,00	438,71	509,68
1.7/8	47,63	14,06	15,42	17,92	10.1/2	266,70	452,00	495,70	575,90

Fuente: <http://www.acerosbravo.cl/imgmodulo/Imagen/113.pdf>

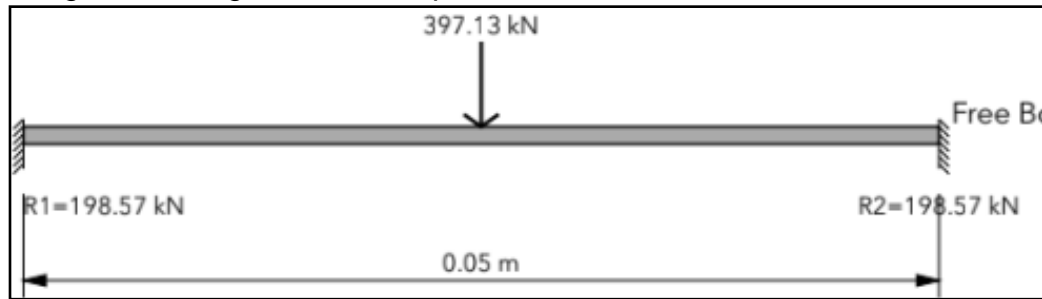
Para establecer el diámetro de los pasadores de la plataforma y estructura en U se tiene en cuenta que la fuerza total se divide entre dos para así tener una distribución de cargas acorde al sistema de la máquina como se muestra a continuación;

$$Fuerza\ del\ cilindro = \frac{343\ kN}{2} = 171,5\ kN$$

$$Carga\ estructura\ U = 23\ Kg * 9,8\ \frac{m}{s^2} = 225,63\ kN$$

$$Carga\ puntual = 171,5\ kN + 225,63\ kN = 397,13\ kN$$

Imagen 53. Diagrama de cuerpo libre



Fuente: A-beam lite

Para el cálculo del diámetro mínimo del pasador es necesario encontrar el esfuerzo cortante al que este está sometido para así realizar los cálculos correspondientes, de esta forma se emplea la teoría de la energía de la distorsión para materiales dúctiles tomada del libro Diseño en ingeniería mecánica de Shigley como se muestra a continuación;

$$S_{sy} = 0,577 * S_y$$

Donde;

S_{sy} = Esfuerzo cortante

S_y = Límite de fluencia del material (345 MPa)

$$S_{sy} = 0,577 * 310 \text{ MPa}$$

$$S_{sy} = 178,87 \text{ MPa}$$

Para hallar el área del pasador se usa la siguiente formula;

$$\tau = \frac{P}{2A}$$

Donde;

τ = Esfuerzo cortante

P = Carga aplicada sobre el pasador

A = Área del pasador

$$A = \frac{P}{\tau * 2}$$

$$A = \frac{397,13 \text{ N}}{178,87 \text{ Mpa} * \frac{1,0 \times 10^6 \text{ N/m}^2}{1 \text{ Mpa}} * 2}$$

$$A = 1,11 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Del área se puede despejar el diámetro mínimo para el pasador con la siguiente ecuación;

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

$$D = \sqrt{\frac{4 * A}{\pi}}$$

Donde;

D= Diámetro mínimo del pasador

A= Área del pasador

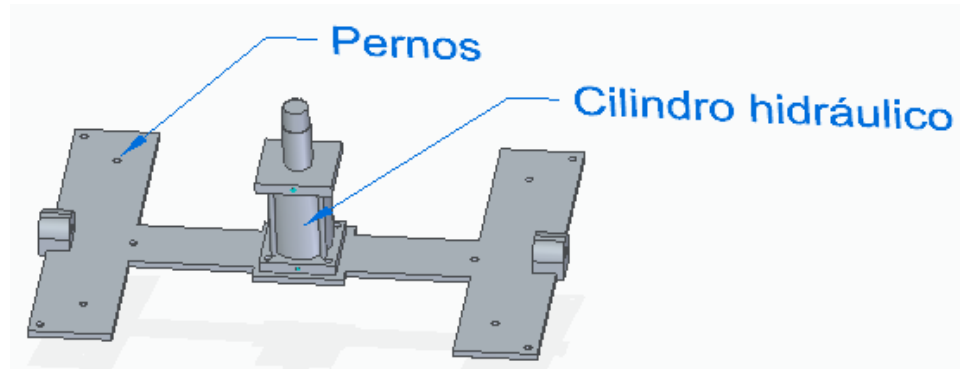
$$D = \sqrt{\frac{4 * 1,11 \times 10^{-3} \text{ m}^2}{\pi}} = 0,0375 \text{ m} * \frac{1.000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} = 37,6 \text{ mm}$$

Se requiere un diámetro mayor a 37,6 mm con el fin de que este garantice soportar la fuerza de 17,5 (TF), transmitida por el sistema hidráulico. Para la selección de un elemento comercial se recurre a un catálogo como se muestra en la imagen 52 y se establece que el elemento para el diseño corresponde a un diámetro de 38,1 mm.

4.6 CÁLCULO DE PERNOS

El cálculo de pernos se desarrolla teniendo en cuenta que van a ser elementos encargados de sujetar la estructura. El cilindro hidráulico genera una fuerza de compactación de 35.000 Kgf, teniendo en cuenta la distribución de cargas se divide entre el número de elementos totales que intervienen (14) otorgando a cada perno una carga de 2,5 Kgf. A continuación, se desarrollará el cálculo y selección de elementos de ajuste;

Imagen 54. Pernos



Fuente: Elaboración propia.

Para este caso se toma un perno de 1 in SAE grado 4, con una resistencia de prueba mínima de 65.000 psi, límite a la fluencia de 100.000 psi y una resistencia a la tensión de 115.000 psi como se indica en la imagen 55;

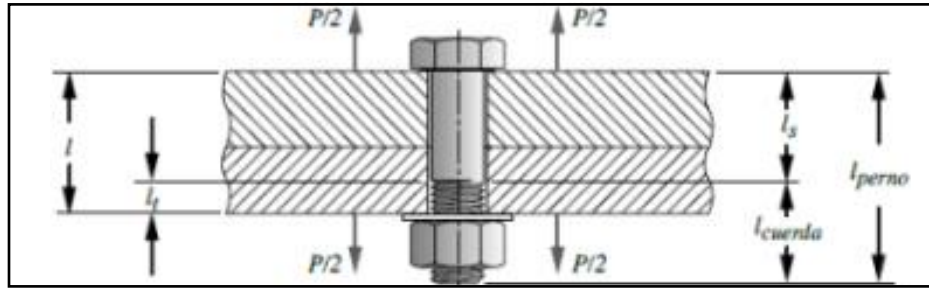
Imagen 55. Especificaciones

Especificaciones y resistencias de la SAE para pernos de acero					
Número de grado de la SAE	Intervalo del tamaño del diám. ext. (in)	Resistencia de prueba mínima (kpsi)	Resistencia a la fluencia mínima (kpsi)	Resistencia a la tensión mínima (kpsi)	Material
1	0.25-1.5	33	36	60	bajo o medio carbono
2	0.25-0.75	55	57	74	bajo o medio carbono
2	0.875-1.5	33	36	60	bajo o medio carbono
4	0.25-1.5	65	100	115	medio carbono, forjado en frío
5	0.25-1.0	85	92	120	medio carbono, Q&T*
5	1.125-1.5	74	81	105	medio carbono, Q&T
5.2	0.25-1.0	85	92	120	martensita al bajo carbono, Q&T
7	0.25-1.5	105	115	133	aleación al medio carbono, Q&T
8	0.25-1.5	120	130	150	aleación al medio carbono, Q&T
8.2	0.25-1.0	120	130	150	martensita al bajo carbono, Q&T

Fuente: Robert L. Mott. Diseño de elementos de máquina 2.006.

Para el cálculo de pernos es importante tener en cuenta sus componentes como se indica en la imagen 56;

Imagen 56. Perno



Fuente: Fuente: Robert L. Mott. Diseño de elementos de Máquina.

Donde;

L= Longitud de la unión

L_s= Longitud del vástago sin rosca

L_c= Longitud rosca

L_t= Longitud de la rosca dentro de la zona de sujeción

L_p= Longitud del perno

Imagen 57. Longitud de sujeción

Información de instalación	Símbolo	U	Diámetro nominal de la varilla						
			3/8	1/2	5/8	3/4	7/8	1	1-1/4
Diámetro nominal de la broca	d _o	pulg.	7/16	9/16	3/4	7/8	1	1-1/8	1-3/8
Empotramiento efectivo	Mínimo	h _{ef,min}	pulg. 2-3/8 (60)	2-3/4 (70)	3-1/8 (79)	3-1/2 (89)	3-1/2 (89)	4 (102)	5 (127)
	Máximo	h _{ef,max}	pulg. 7-1/2 (191)	10 (254)	12-1/2 (318)	15 (381)	17-1/2 (445)	20 (508)	25 (635)
Diámetro de la fijación del dispositivo	a través de la placa		pulg. 1/2 (12.7)	5/8 (15.9)	13/16' (20.6')	15/16' (23.8')	1-1/8' (28.6')	1-1/4' (31.8')	1-1/2' (38.1')
	directo en el concreto		pulg. 7/16 (11.1)	9/16 (14.3)	11/16 (17.5)	13/16 (20.6)	15/16 (23.8)	1-1/8 (28.6)	1-3/8 (34.9)
Torque de instalación	T _{inst}	ft-lb (Nm)	15 (20)	30 (40)	60 (80)	100 (136)	125 (169)	150 (203)	200 (271)
Espesor mínimo del elemento de concreto	h _{min}	pulg. (mm)	h _{ef} +1-1/4 (h _{ef} +30)			h _{ef} +2d _o			
Distancia al borde mínima	c _{min}	pulg. (mm)	1-7/8 (48)	2-1/2 (64)	3-1/8 (79)	3-3/4 (95)	4-3/8 (111)	5 (127)	6-1/4 (159)
Espacio mínimo	s _{min}	pulg. (mm)	1-7/8 (48)	2-1/2 (64)	3-1/8 (79)	3-3/4 (95)	4-3/8 (111)	5 (127)	6-1/4 (159)

Figura 10 – Varillas roscaadas HAS

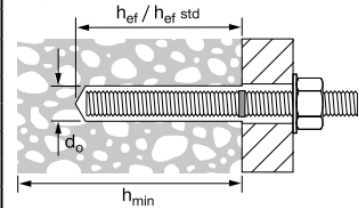


Figura 11 – Instalación con arandelas



Especificaciones de la varilla roscaada de acero al carbono HAS-E

Las varillas roscaadas de acero de carbono cumplen con ISO 898 clase 5.8, con una resistencia mínima a la tracción (f_t) de 72.5 ksi (500 MPa) y una resistencia mínima a la fluencia (f_y) de 58 ksi (400 MPa).

Fuente: www.Hilti.com.ar

Teniendo en cuenta la imagen anterior se establece que el empotramiento mínimo para un perno de 1 in corresponde a 4 in. El concreto tiene una altura de 10 in como se estipulo en el numeral 4.4.5 garantizando a satisfacción la sujeción y funcionamiento de la máquina, además se sabe que cada perno tiene una carga de

0,25 Mpa comparada con la que resiste el perno por catálogo (400 Mpa) permite concluir que no presentara fallas.

La longitud de sujeción es de 4 in, correspondiente al espesor de la zona de fijación entre la placa el cilindro hidráulico y la fundición de concreto. Una vez determinadas las condiciones a las que el perno estará sometido y siguiendo la guía metodológica según el libro de Diseño de elementos de máquinas de Robert Mott, se evalúa el procedimiento como se muestra a continuación;

$$F_i = 0,8 \times S_p \times A_t$$

Donde;

Fi= Precarga
 Sp= Resistencia de prueba mínima
 At= Área de esfuerzo a tensión
 0,8= Factor de operación

$$F_i = 0,8 \times 65.000 \text{ psi} \times 0,6060 \text{ in}^2 = 31.512 \text{ lb}$$

Longitud roscada;

$$l_c = 2 d + 0,25$$

Donde;

lc= Longitud roscada
 D= Diámetro tentativo de perno

$$l_c = 4 \times (1 \text{ in}) + 0,25 = 4,25 \text{ in}$$

Imagen 58. Dimensiones de perno

DIAMETRO NOMINAL d (pulg)	SERIE DE PASO BASTO - UNC			SERIE DE PASO FINO - UNF			ALTURA DE LA TUERCA H (pulg)
	PASO P hilos pulg	AREA DE ESFUERZO DE TRACION A _T (pulg ²)	AREA DE RAIZ A _r (pulg ²)	PASO P hilos pulg	AREA DE ESFUERZO DE TRACCION A _T (pulg ²)	AREA DE RAIZ A _r (pulg ²)	
1/4	20	0.0318	0.0269	28	0.0364	0.0326	7/32
5/16	18	0.0524	0.0454	24	0.0580	0.0524	17/64
3/8	16	0.0775	0.0678	24	0.0878	0.0809	21/64
7/16	14	0.1063	0.0933	20	0.1187	0.1090	3/8
1/2	13	0.1419	0.1257	20	0.1599	0.1486	7/16
9/16	12	0.1820	0.1620	18	0.2030	0.1890	31/64
5/8	11	0.2260	0.2020	18	0.2560	0.2400	35/64
3/4	10	0.3340	0.2030	16	0.3730	0.3510	41/64
7/8	9	0.4620	0.4190	14	0.5090	0.4800	3/4
1	8	0.6060	0.5510	14	0.6630	0.6250	55/64
1 1/4	7	0.9690	0.8900	12	1.0730	1.0240	1 1/6
1 1/2	6	1.4050	1.2940	12	1.5810	1.5210	1 9/32

Fuente: Unified National standard

Longitud del perno;

$$L = I + H$$

Donde;

I= Longitud de junta
H= Altura de la tuerca

$$L = 4 \text{ in} + 0,8593 = 4,85 \text{ in}$$

Longitud del vástago;

$$I_s = L - I_c$$

Donde;

I_s= Longitud del vástago sin roscar
L= Longitud del perno
I_c= Longitud roscada

$$I_s = 4,85 \text{ in} - 4,25 \text{ in} = 0,6093 \text{ in}$$

Longitud zona de sujeción;

$$I_t = L - I_s$$

Donde;

I_t= Longitud de la rosca dentro de la zona de sujeción
I= Longitud de zona de sujeción
I_s= Longitud del vástago sin rosca

$$I_t = 4,85 \text{ in} - 0,6093 \text{ in} = 4,25 \text{ in}$$

Rigidez del material;

$$\frac{1}{k_b} = \frac{I_t}{A_t \times E} + \frac{I_s}{A_b \times E}$$

Donde;

1/K_b= Rigidez del perno
A_t= Área del esfuerzo a tensión

l_s = Longitud del vástago
 l_t = Longitud de zona de sujeción
 A_b = Área de diámetro mayor
 E = Módulo de elasticidad material A36

$$\frac{1}{k_b} = \frac{4,25 \text{ in}}{0,6060 \text{ in}^2 \times 30 \times 10^6 \text{ lb/in}^2} + \frac{0,6093 \text{ in}}{0,78539 \text{ in}^2 \times 30 \times 10^6 \text{ lb/in}^2}$$

$$K_b = 3.851,588 \text{ lb/in}$$

Rigidez del material;

$$K_m = d * E * A * e^{b * (\frac{d}{l_t})}$$

Donde;

K_m = Rigidez del material
 E = Módulo elástico
 l_t = Longitud zona de sujeción
 D = Diámetro mayor
 A = Parámetros de rigidez
 b = Parámetros de rigidez

$$K_m = (1 \text{ in}) * 30 \times 10^6 \text{ lb/in}^2 * 0,78715 * e^{0,62873 * (\frac{1 \text{ in}}{2,85 \text{ in}})}$$

$$K_m = 29.232,007 \text{ lb/in}$$

Factor de rigidez;

$$C = \frac{K_b}{K_m + K_b}$$

Donde;

K_b = Rigidez del material
 C = Factor de rigidez
 K_m = Rigidez del material

$$C = \frac{3.851,588 \text{ lb/in}}{29.232,007 \text{ lb/in} + 3.851,588 \text{ lb/in}} = 0,99$$

Carga en proporción aplicada que sufre el perno;

$$P_b = C \times P$$

Donde;

P_b= Carga en proporción aplicada

C= Factor de rigidez

P= Carga a soportar

$$P_b = 0,99 \times 5,511 \text{ lbf} = 5,45 \text{ lb}$$

Carga en proporción aplicada respecto al material;

$$P_m = (1 - C) \times P$$

Donde;

P_m= Carga en proporción aplicada respecto al material

C= Factor de rigidez

P= Carga a soportar

$$P_m = (1 - 0,99) \times 5,511 \text{ lb} = 0,055 \text{ lb}$$

Carga resultante para el material;

$$F_b = F_i + P_b$$

Donde;

F_b= Carga resultante para el perno

F_i= Precarga

P_b= Carga en proporción aplicada al perno

$$F_b = 31.512 \text{ lb} + 5,45 \text{ lb} = 31.571 \text{ lb}$$

Carga resultante para el material;

$$F_m = F_i - P_m$$

Donde;

F_m= Carga resultante para el material

F_i= Precarga

P_m= Carga en proporción aplicada respecto al material

$$F_m = 31.512 \text{ lb} - 0,055 \text{ lb} = 31.511 \text{ lb}$$

Esfuerzo admisible del perno;

$$\sigma_b = \frac{F_b}{A_t}$$

Donde;

σ_b = Esfuerzo admisible del perno
Fb= Carga resultante para el perno
At= Área del esfuerzo a tensión

$$\sigma_b = \frac{31.571 \text{ lb}}{0,6060 \text{ in}^2} = 52.008 \text{ psi}$$

Factor de seguridad;

$$N_y = \frac{S_y}{\sigma_b}$$

Donde;

σ_b = Esfuerzo admisible del material
Ny= Factor de seguridad
Sy= Limite de fluencia del material del perno grado 2

$$N_y = \frac{115.000 \text{ psi}}{52.008 \text{ psi}} = 2,2$$

El factor de seguridad de diseño de los pernos equivale a 2,21, lo que permite inferir que resisten a satisfacción las cargas a los que están sometidos sin presentar fallas.

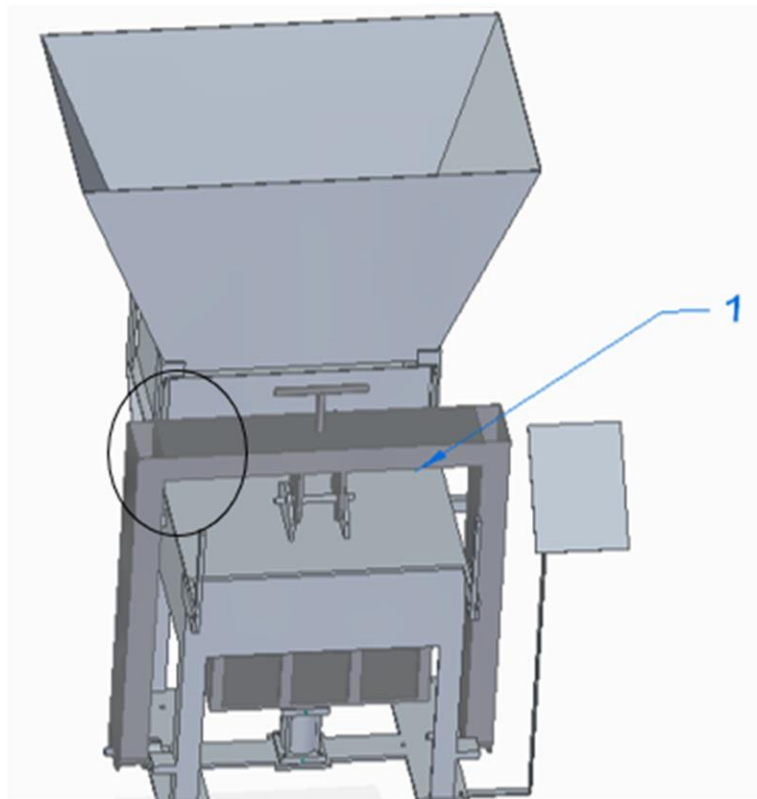
4.7 SOLDADURA

Según el libro Diseño de estructuras de acero de McCormac por el método LRFD “la soldadura de filete no se debe diseñar con un esfuerzo mayor que el esfuerzo de diseño de los miembros adyacentes a la conexión. Si la fuerza externa aplicada al miembro (tensión o compresión) es paralela al eje de la soldadura, la resistencia de diseño¹⁴ de esta, no debe exceder la resistencia de diseño axial del miembro”

¹⁴ MCCORMAC, Jack. Conexiones Soldadas. En: Estructuras de acero método LRFD. 2 ed. México: Alfaomega, 2002. p. 454.

La soldadura para el desarrollo de este proyecto se realiza con el estudio del elemento que mayor esfuerzo presenta (Estructura en U (1)) donde se establece el cálculo, selección y posición correcta de la soldadura, con este parámetro se aplica el mismo proceso para la fijación de laminas, columnas, y ángulos que componen la máquina compactadora en acero A572 gr 50.

Imagen 59. Soldadura



Fuente: Elaboración propia.

”

Es común utilizar para este tipo de procesos en estructuras de acero soldaduras correspondientes a E70xx con una fuerza admisible por pulgada de lado 11.200 lb/in, donde hace referencia a la resistencia del material de aporte (1ksi = 7MPa), el coeficiente¹⁵ de soldadura respectivamente es $C1 = 1,00$, por diseño de los componentes de la máquina el tipo de junta a emplear corresponde a (T) con soldadura de filete.

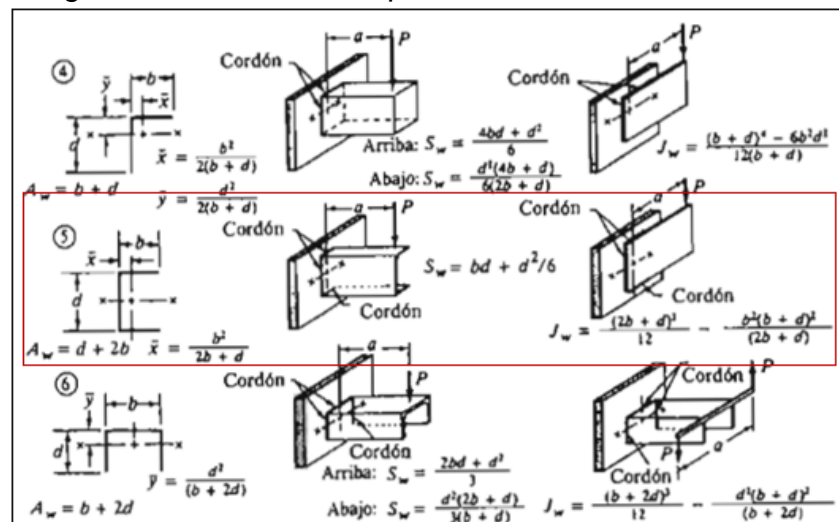
¹⁵ Ibíd., p. 469

Imagen 60. Resistencia de soldadura

TABLA 14.1 (Continuación).					
Tipo y dirección de la carga en relación con el eje de la soldadura	Metal pertinente	ϕ y Ω	Resistencia nominal (F_{nBM} o F_{nv}) klb/plg ² (MPa)	Área efectiva (A_{BM} o A_{ve}) plg ² (mm ²)	Nivel de resistencia requerido del metal de aportación ^{(a)(b)}
SOLDADURAS DE FILETE INCLUYENDO FILETES EN LOS AGUJEROS Y RANURAS ASÍ COMO JUNTAS T ESVIAJADAS					
Cortante	Base	Regido por J4			Se permite metal de aportación con un nivel de resistencia igual o menor que el metal de aportación compatible.
	Soldadura	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	$0.60 F_{EXX}$	Véase J2.1a	
Tensión o compresión Paralela al eje de la soldadura	No es necesario considerar tensión o compresión en partes unidas en sentido paralelo a la soldadura para el diseño de las soldaduras que unen a las partes.				
SOLDADURAS DE TAPÓN Y DE MUESCA					
Cortante Paralela al área de contacto en el área efectiva	Base	Regido por J4			Se permite metal de aportación con un nivel de resistencia igual o menor que el metal de aportación compatible.
	Soldadura	$\phi = 0.75$ $\Omega = 2.00$	$0.60 F_{EXX}$	J2.3a	

Fuente: McCormac. En diseño de estructuras de acero. 2.012.

Imagen 61. Selección de tipo de soldadura



Fuente: Diseño de elementos de máquinas Robert Mott.

Se calcula el factor geométrico con base en la selección del cordón, teniendo en cuenta el perfil en UPN 200;

$$A_w = d + 2b$$

Donde;

A_w = Dimensiones de la soldadura

b = Dimensiones del perfil seleccionado

$$A_w = 0,2 m + 2 (0,075 m) = 0,35 m$$

Cálculo del valor geométrico a flexión;

$$s_w = bd + \frac{d^2}{6}$$

Donde;

Sw= Factor geométrico a flexión

b=d= Dimensiones del perfil seleccionado

$$s_w = 0,075 \text{ m} * 0,2 \text{ m} + \frac{0,2 \text{ m}^2}{6} = 0,0525 \text{ m}^2$$

Cálculo de factor de esfuerzo cortante y esfuerzo de flexión sometido a soldadura.

$$F_s = \frac{V}{A_w}$$

Donde;

Fs= Fuerza cortante vertical

Aw= Dimensiones de soldadura

V= Carga

$$F_s = \frac{171,500 \text{ N}}{0,692 \text{ m}} = 247.832 \text{ N/M} * \frac{0,057101 \frac{\text{lb}}{\text{in}}}{1 \frac{\text{N}}{\text{M}}} = 1.415,15 \text{ lb/in}$$

Factor de esfuerzo flexión;

$$F_b = \frac{M}{s_w}$$

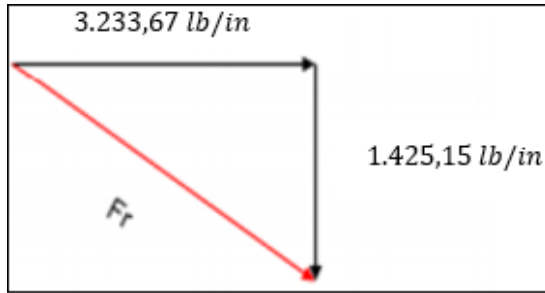
Donde;

M= Momento máximo sobre la viga

Sw= Factor geométrico a flexión

$$F_b = \frac{29.371 \text{ N/m}}{0,0525 \text{ m}^2} = 566.304 \text{ N/M} * \frac{1 \text{ lb}}{4,4482 \text{ N}} * \frac{1 \text{ m}}{39,37 \text{ in}} = 3.233,67 \text{ lb/in}$$

Imagen 62. Fuerza resultante



Fuente: Elaboración propia.

Según el libro de Diseño de elementos de máquinas de Robert Mott, para encontrar la fuerza resultante se debe hacer un análisis de fuerzas que actúan sobre la soldadura como se ve en la imagen 62.

$$F_r = \sqrt{(3.233,67 \text{ lb/in})^2 + (1.425,15 \text{ lb/in})^2} = 3.529,09 \text{ lb/in}$$

Con la fuerza resultante y la fuerza admisible por pulgada de lado¹⁶ del electrodo (11.200 lb/in) se puede determinar el diámetro del electrodo como se muestra en la siguiente ecuación;

$$W = \frac{F_r}{\text{Fuerza admisible lb/in}}$$

Donde;

W= Diámetro de electrodo

Fr= Fuerza resultante

$$W = \frac{3.529,09 \text{ lb/in}}{11.200 \text{ lb/in}} = 0,3150 \text{ in}$$

$$W = 0,3150 \text{ in} * \frac{25,4 \text{ in}}{1 \text{ in}} = 8,003 \text{ mm}$$

¹⁶ Ibíd., p. 469

Imagen 63. Diámetro de electrodo

DIÁMETRO DEL ELECTRODO		CORRIENTE (AMPERIOS)	
mm	pulgadas	CARBÓN	GRAFITO
ELECTRODO ÚNICO			
3.2	$\frac{1}{8}$	15-30	15-35
4.8	$\frac{3}{16}$	25-55	25-60
6.4	$\frac{1}{4}$	50-85	50-90
7.9	$\frac{5}{16}$	75-115	80-125
9.5	$\frac{3}{8}$	100-150	110-165
11.1	$\frac{7}{16}$	125-185	140-210

Fuente: LANSHUO. Soldadura por inducción.

Para el proceso de unión de los diferentes componentes de la máquina compactadora se requiere un diámetro normalizado de soldadura correspondiente a un electrodo de 3/8 in.

5. ANÁLISIS POR ELEMENTOS FINITOS

Para el análisis de elementos finitos se utiliza el software (NX V.9:0) que permita hacer un chequeo del comportamiento de los elementos sometidos a las diferentes condiciones de operación, en este capítulo se ejecutarán procedimientos para hallar el factor de seguridad de diseño como comprobación final de un sistema funcional y seguro.

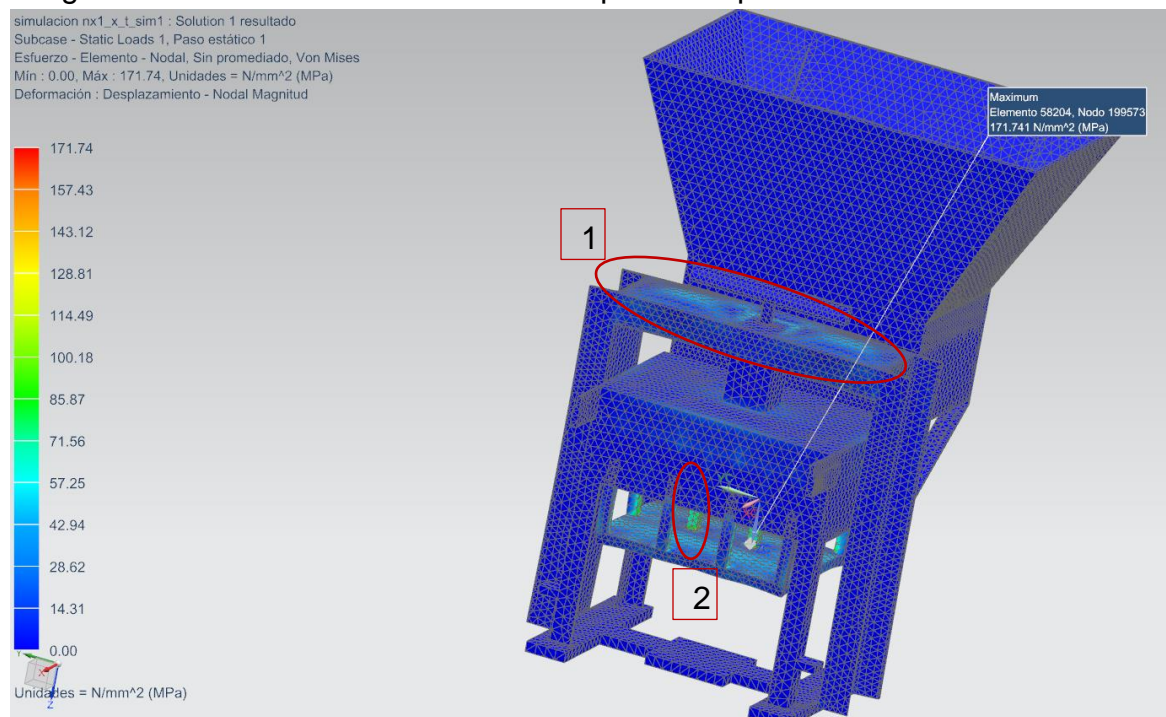
Se tiene en consideración que el esfuerzo de fluencia del material A 572 GR 50 es 345 MPa. Consultar anexo B.

5.1 MÁQUINA COMPACTADORA

El análisis de elementos finitos de la máquina compactadora se desarrolla con el fin de analizar los valores de los esfuerzos a los que los diferentes elementos estructurales están sometidos.

La malla utilizada corresponde a dimensiones de 15 mm garantizando que los resultados obtenidos sean semejantes a los procedimientos analíticos y de esta manera validar el procedimiento efectuado.

Imagen 64. Análisis elementos finitos máquina compactadora



Fuente: Elaboración propia.

El esfuerzo máximo de la máquina compactadora se presenta en la placa móvil y en la viga de estructura en U al aplicar la carga transmitida por el cilindro hidráulico de 343 KN, teniendo en cuenta lo anterior se evidencio que el esfuerzo del elemento total tiene un esfuerzo de 171,74 MPa, información que permite el cálculo del factor de seguridad que garantiza la efectividad del diseño como se muestra a continuación;

$$\frac{\sigma_{Fall\grave{a}}}{\sigma_{VonMisses}} = F.S$$

Donde;

$\sigma_{Fall\grave{a}}$ = Esfuerzo de fluencia del material 345 Mpa

$\sigma_{VonMisses}$ = Esfuerzo de Von Misses

F. S = Factor de seguridad

$$\frac{345 MPa}{171,74 MPa} = 2,1$$

El factor de seguridad corresponde a 2,1; valor dentro del rango admisible para diseño de estructuras en acero¹⁷. Por tanto, el diseño cumple a satisfacción el desarrollo de actividades de compactación.

Para la comparación del diseño analítico y el desarrollo por elementos finitos se tiene en consideración que el material utilizado coresponde a un acero A572 GR 50 con un limite de fluencia de 345 Mpa en los dos casos, con un esfuerzo de Von Misses de 172,5 Mpa y 171,74 Mpa respectivamente. Se sabe que para la evaluación de procesos se tomo un factor de seguridad de 2 garantizando la efectividad de los cálculos, sin embargo, se establecio según los resultados de la simulación que el factor de seguridad corresponde a 2,1.

En el procedimiento analítico se determino un factor de seguridad para el elemento 1 (ver imagen 64) de 3,39; que en comparación con el de la simulación donde sus esfuerzos oscilan entre 71-86 Mpa se establece que para este elemento critico (viga) el factor de seguridad corresponde a 4,1 con el esfuerzo máximo, la variación de valores en los resultados obtenidos se deben a que en el desarrollo del proceso analítico se toma el elemento individual y se fijan restricciones en sus extremos, ahora bien, el programa toma está fijación como soldadura y analiza la distribución de cargas en el componente del sistema general. Por las caracterisíticas numericas que maneja el programa y teniendo en cuenta la precisión de datos que este proporciona, se establece que el valor entregado es el realmente exacto, sin embargo, se tiene en consideración el valor obtenido analíticamente quien por las

¹⁷. INVENTOR. Coeficiente de Seguridad. [en línea]. [consultado el 08 de septiembre de 2018]. Disponible en: <http://help.autodesk.com/view/INVNTOR/2015/ESP/?guid=GUID-D541AE00-F9FB-4B7E-A595-402219353010>

características de diseño permiten generar una idea del valor que debería dar el resultado en la simulación.

Para el elemento 2 (ver imagen 64) por el desarrollo analítico se estableció un factor de seguridad de 2,33; siendo este el más crítico en el desarrollo de funciones de compactación. Como se muestra en la imagen 64, el esfuerzo máximo de este elemento (columna) corresponde a 171,74 Mpa con un factor de seguridad de 2,1; que refleja una baja diferencia con el valor analítico teniendo que ver con la fijación en el estudio como elemento individual y no en conjunto soldado como se desarrolla en el modelo general. Para efecto del desarrollo del diseño se toma el valor de seguridad obtenido en la simulación siendo este un parámetro de condiciones reales del funcionamiento general de la máquina, de igual forma se evaluó el comportamiento de la viga a tensión obteniendo un factor de seguridad por el método analítico de 5,52 vs el generado por el programa donde su esfuerzo varía entre 58-71 Mpa con un F.S de 4,9; para tal caso, se hace el mismo análisis anteriormente mencionado y se concluye que no presenta fallas.

Es importante destacar que el esfuerzo que determina el factor de seguridad corresponde al máximo (2,1), fruto de la envolvente en las combinaciones de cargas establecidas generando así para el diseño seguridad y eficiencia en los materiales que se emplean.

La carga aplicada es la relación de la fuerza ejercida por el cilindro hidráulico a la placa móvil, teniendo en cuenta esto, es posible identificar las secciones que mayor esfuerzo presentan al aplicar la carga transmitida. (ver imagen 65).

Imagen 65. Estado de cargas

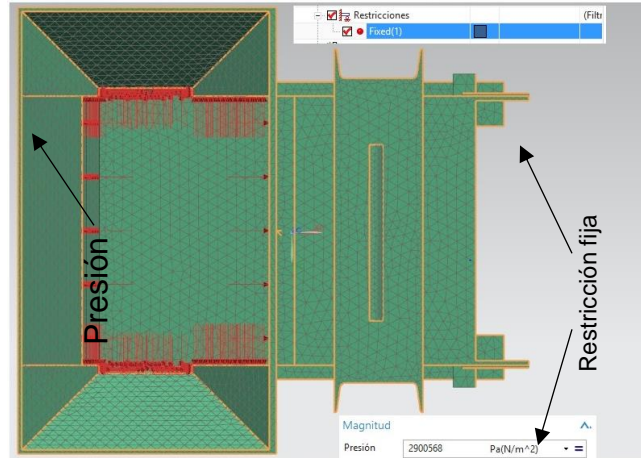


Fuente: Elaboración propia.

La ubicación de las cargas a las que está sometida la tolva corresponden a la parte inferior del elemento como se muestra en la siguiente imagen, estos al ser estos los puntos que mayor esfuerzo presentan a causa de la adición de mezcla para la

producción de ladrillo presado son los que permiten el correcto análisis de la simulación.

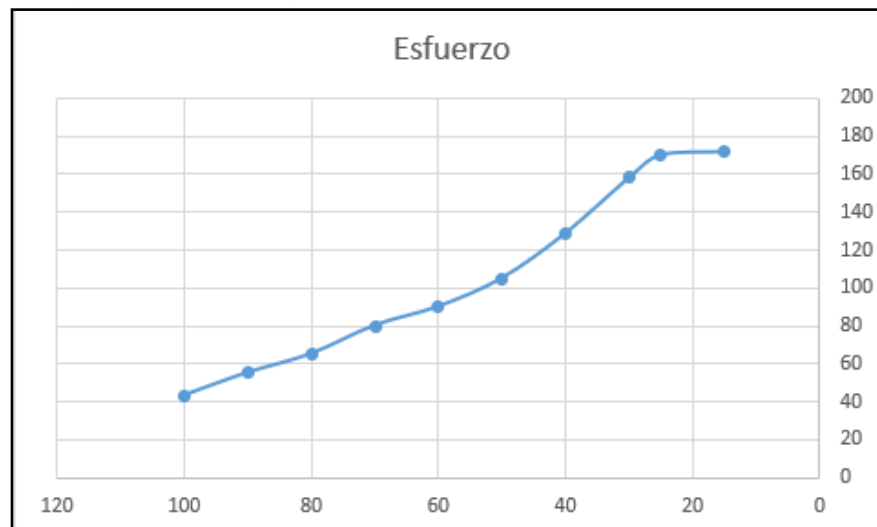
Imagen 66. Estado de cargas en la tolva



Fuente: Elaboración propia.

Como se muestra en la imagen 67, la trayectoria de convergencia de malla iterando entre diferentes valores, la variación del esfuerzo (Von Misses) no es alta cuando la malla oscila entre 10, 15 y 20 mm, lo que permite evaluar en el factor de seguridad (2,1) que existe una convergencia acercándose a valores de diseño reales asumiendo así, que el diseño es eficiente y seguro.

Imagen 67. Convergencia de malla

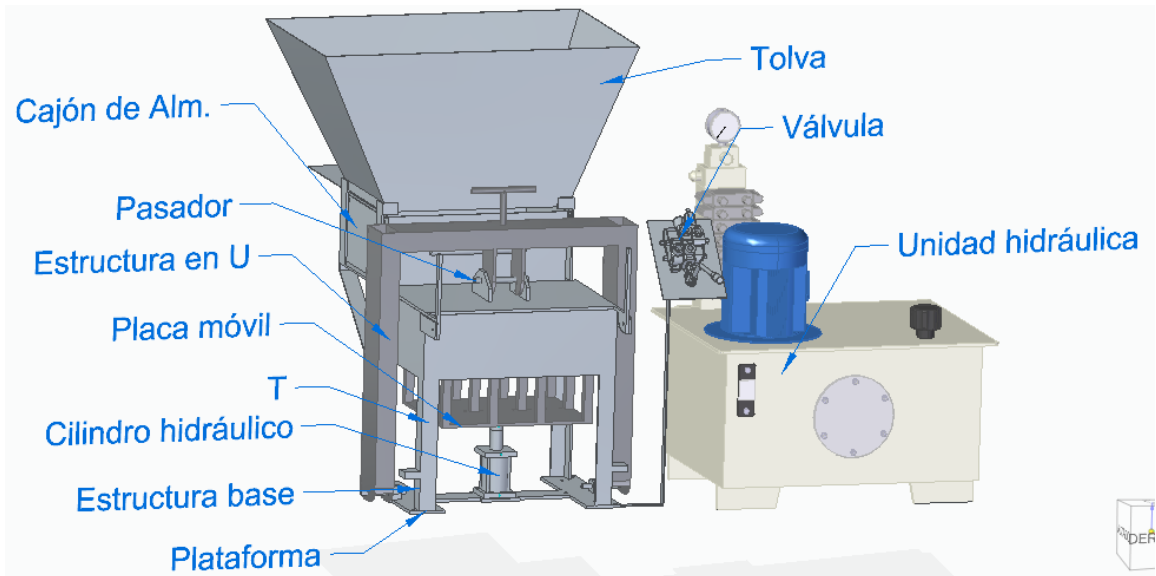


Fuente: Elaboración propia”

6. MANUALES

En este capítulo se especifica el modo correcto de los pasos que se deben seguir para la instalación, funcionamiento y mantenimiento del equipo, con el objetivo de cumplir en su totalidad y a satisfacción la causa de su diseño.

Imagen 68. Máquina compactadora para ladrillo prensado



Fuente: Elaboración propia.

DESCRIPCIÓN DE LA MÁQUINA

La máquina compactadora de ladrillo prensado genera una carga máxima de 35 toneladas fuerza (TF), está conformada por un sistema hidráulico con un motor de 7.5 hp, capaz de compactar un área total de $0,132 \text{ m}^2$. Los elementos estructurales del sistema se desarrollan en acero A572 Gr 50 y AISI 1045.

6.1 INSTALACIÓN DE LA MÁQUINA

Este numeral tiene como objetivo exponer los diferentes pasos para la correcta instalación de la máquina. Sin embargo, el fabricante expone que el equipo se entrega ensamblado en su totalidad.

Con el fin de garantizar las mejores condiciones de trabajo para la máquina compactadora se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones;

- ✓ Se debe tener en cuenta que el área donde el equipo va a funcionar debe contar con una conexión trifásica de corriente eléctrica de 220 v; 60 Hz.

- ✓ El área de instalación debe estar libre de humedad
- ✓ La máquina compactadora de ladrillos prensados debe ser transportada en un montacargas, hasta su lugar de trabajo
- ✓ Se recomienda que la superficie de anclaje del equipo sea sobre una fundición en concreto

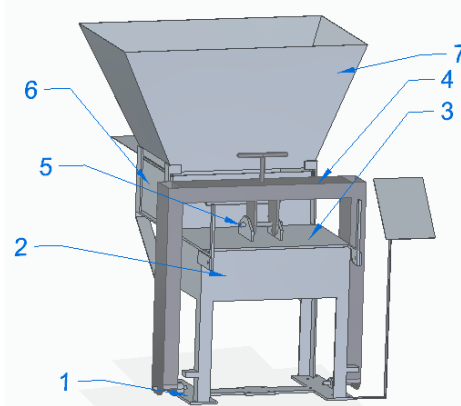
6.2 COMPONENTES DE LA MÁQUINA

Este numeral describe los principales componentes de la máquina compactadora de ladrillos prensados, como se indica a continuación.

6.2.1 Estructura general. Este elemento fue diseñado con el objetivo de llevar a cabo procesos de compactación de materiales compuestos por mezclas de suelo-cemento, adicionalmente soporta todos los componentes estructurales, además lleva a cabo la conformación de ladrillos prensados al permitir el movimiento de la placa móvil en su interior.

La estructura general de la máquina se compone por los siguientes elementos; (1) plataforma, (2) estructura base, (3) tapa, (4) estructura en U, (5) pasadores, (6) cajón de almacenamiento, (7) tolva como se muestra en la siguiente imagen.

Imagen 69. Estructura general

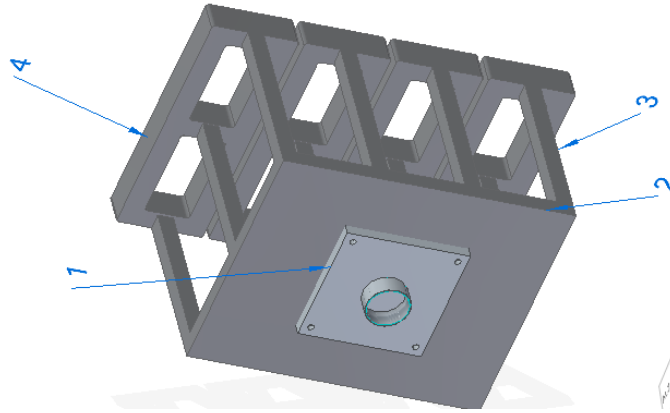


Fuente: Elaboración propia.

6.2.2 Placa móvil. Este elemento tiene como función la compactación de materia prima (suelo-cemento), su accionamiento se debe a la fuerza transmitida por el cilindro hidráulico generando un desplazamiento guiado en el interior de la estructura base, además, al estar sujeto a una placa con 4 pernos está se fija al vástago del cilindro hidráulico permitiendo el avance y retroceso de la misma como se estableció en el numeral 4.4.5.

La placa móvil se compone de los siguientes elementos; (1) T, (2) placa, (3) barras cuadradas, (4) moldes de ladrillo como se muestra en la siguiente imagen.

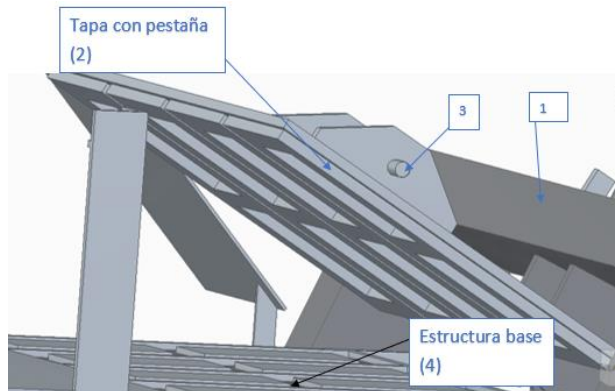
Imagen 70. Placa móvil



Fuente: Elaboración propia.

6.2.3 Sistema de sello y seguridad. Este sistema está compuesto por los siguientes elementos; (1) estructura en U, (2) tapa, (3) pasador, (4) estructura base, su funcionamiento consiste en realizar un sello entre la tapa y la estructura base evitando que la mezcla se escape durante la compactación, como se muestra en la imagen 71.

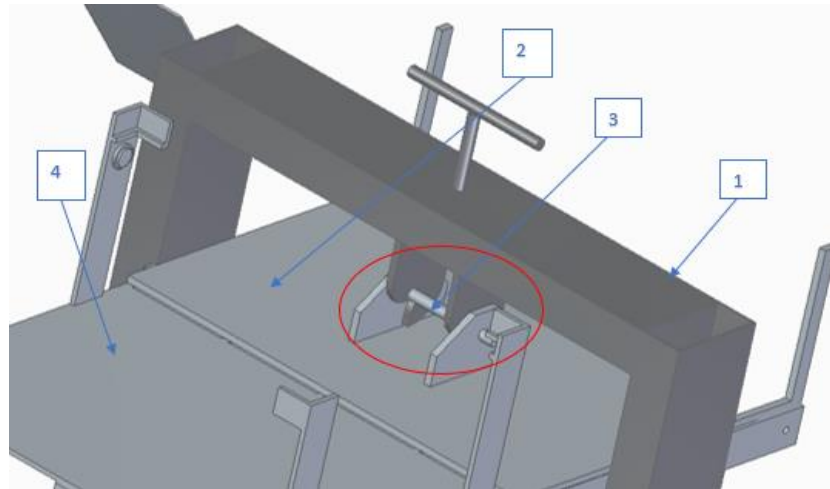
Imagen 71. Sello de tapa



Fuente: Elaboración propia.

El sistema de seguridad consiste en mantener fija la tapa cuando el cilindro hidráulico accione la placa móvil con la estructura en U que en su interior tiene un elemento con un corte en media luna que asegura con el pasador el sistema evitando que la tapa se levante evitando así el desperdicio de mezcla como se muestra en la imagen 72.

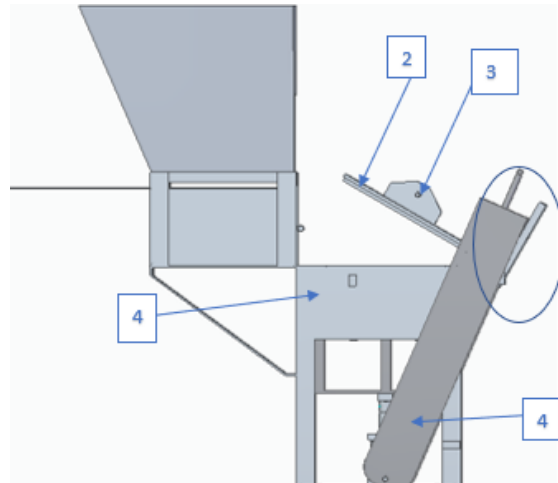
Imagen 72. Sistema de sello y seguridad



Fuente: Elaboración propia.

El sistema de la máquina para levantar la tapa y permitir el abastecimiento de materia prima a las unidades de molde se lleva a cabo cuando la estructura en U pega con sus perfiles superiores en dos barras que la tapa tiene en sus extremos como se muestra en la imagen 73, permitiendo que el sistema pueda abastecerse.

Imagen 73. Funcionamiento de tapa



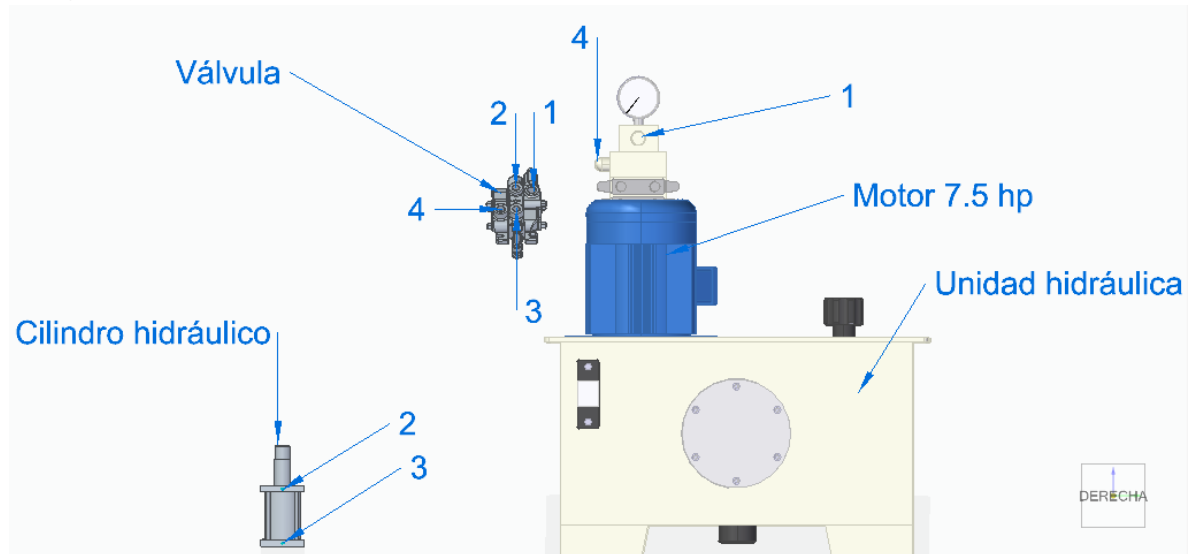
Fuente: Elaboración propia.

6.2.4 Sistema hidráulico. Todo este conjunto de elementos se encarga de transmitir fuerza, potencia y movimiento a la placa móvil encargada de la compactación a consecuencia del accionamiento del cilindro hidráulico.

La conexión del sistema se desarrolla con mangueras hidráulicas de la siguiente forma; (1-1) manómetro conectado a la unidad hidráulica a entrada de presión en la válvula, (2-2) salida frontal de la válvula a entrada del cilindro hidráulico, (3-3)

segunda salida frontal de la válvula a entrada del cilindro hidráulico, (4-4) descarga de la válvula a la unidad hidráulica como se muestra en la siguiente imagen. Catálogo de válvula en anexo E.

Imagen 74. Sistema hidráulico



Fuente: Elaboración propia.

6.3 OPERACIÓN DE LA MÁQUINA

Es importante que antes de poner en funcionamiento la máquina se identifiquen los componentes que la van a accionar. En este numeral se describen los procedimientos que llevan a poner en marcha el equipo.

6.3.1 Encendido. La máquina consta de un interruptor de dos botones (START-STOP), que da arranque o parada al motor eléctrico, este a su vez inicia y finaliza operaciones del sistema de la unidad hidráulica.

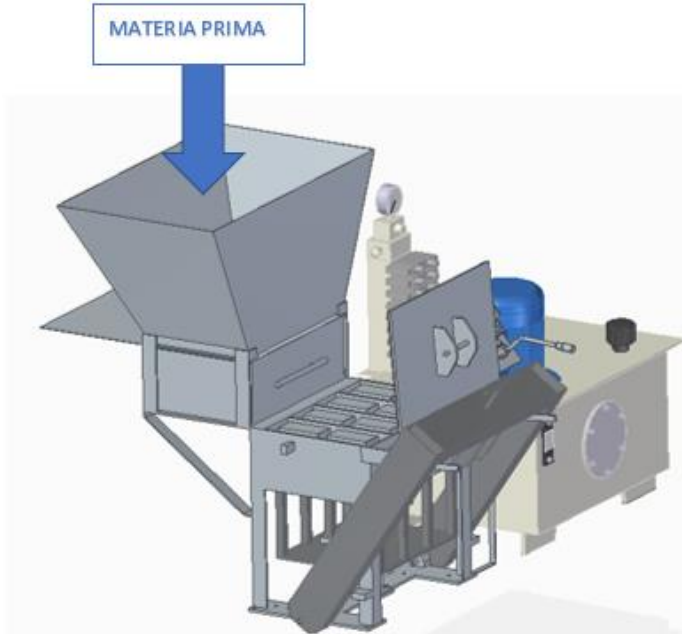
Imagen 75. Interruptor de arranque y parada



Fuente: <https://sites.google.com>

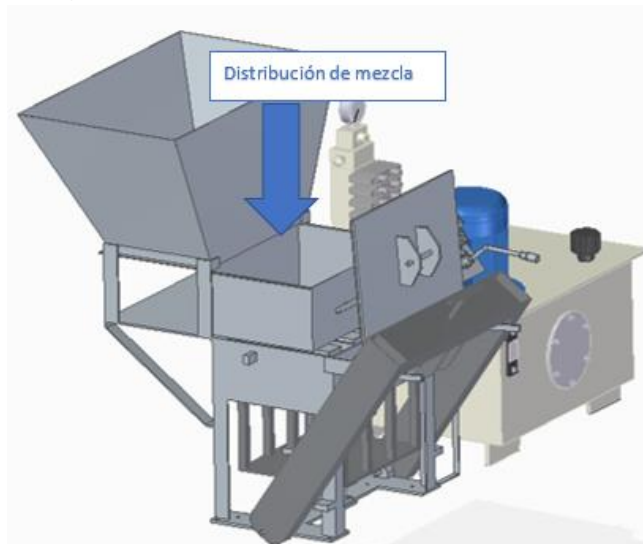
6.3.2 Abastecimiento y distribución. El proceso de abastecimiento de materia prima lo realiza un operario que deposita mezcla al interior de la tolva, está llegara hasta el cajón de almacenamiento para después desplazarse sobre los rodamientos fijos en la estructura base determinados en el numeral 4.4.6 dejando caer en las unidades de molde mezcla (suelo-cemento) como se muestran en las siguientes imágenes;

Imagen 76. Abastecimiento de mezcla



Fuente: Elaboración propia.

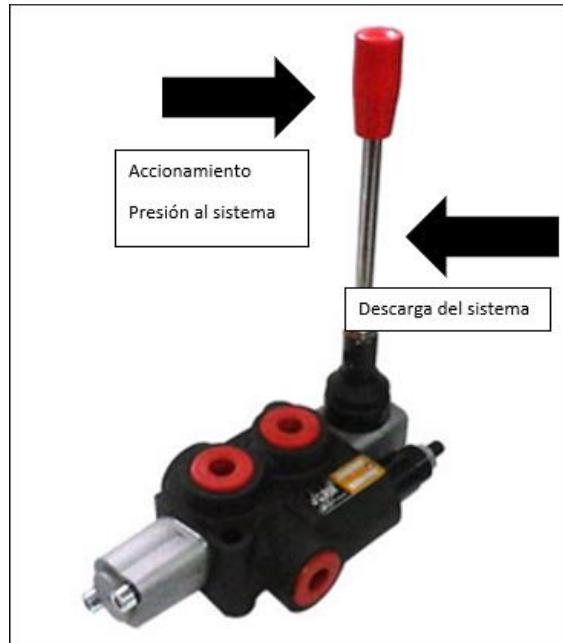
Imagen 77. Distribución de mezcla



Fuente: Elaboración propia.

6.3.3 Compactación. Este proceso se lleva a cabo cuando todo el sistema se encuentra sellado y asegurado, es ahí donde el cilindro hidráulico que por efecto del accionamiento de la válvula (ver imagen 78) mueve la placa móvil para realizar el proceso de compactación como se muestra en la siguiente imagen;

Imagen 78. Válvula



Fuente: www.logismarket.cl

Imagen 79. Compactación

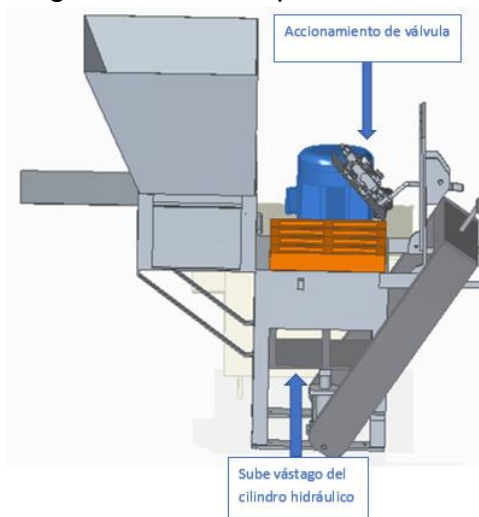


Fuente: Elaboración propia.

6.3.4 Producto final. El proceso final de compactación genera ladrillos prensados con presión y fuerza constante entregada por el sistema hidráulico durante todo el ciclo de producción.

Para retirar el producto de los moldes, se acciona la válvula controlada por el operario para que el cilindro hidráulico suba la placa móvil sujeta a este por otra placa como se especifico en el numeral 4.4.5, llevandolos hasta la superficie de la estructura base, permitiendo así retirar de los moldes el ladrillo final como se muestra en la siguiente imagen;

Imagen 80. Ladrillo prensado



Fuente: Elaboración propia.

6.4 MANUAL DE MANTENIMIENTO

La eficiencia y durabilidad de una máquina está debidamente ligado a su cuidado y mantenimiento, consecuente a lo anterior, se establece el debido proceso de acción y corrección de funciones en sistemas y subcomponentes de los mismos, que permiten el funcionamiento continuo de los equipos como se muestran a continuación;

Para el mantenimiento de la unidad hidráulica se tiene en cuenta;

- ✓ Nivel de aceite a través de la mirrilla que posee el deposito de aceite
- ✓ Aspecto del aceite sin espuma ya que esto indica entrada de aire en la bomba, línea de aspiración o en los ajustes del sistema, en caso de tener aspecto turbio puede existir presencia de agua

- ✓ Limpieza mensual del filtro de aspiración
- ✓ Inspección de fugas en los sellos del sistema hidráulico. Se debe llevar a cabo el cambio de sellos antes de encender la máquina con un tiempo estimado de 4 semanas
- ✓ Seguimiento de la temperatura de aceite hidráulico (50-60 °c) con el fin de mantener la durabilidad de los componentes del sistema
- ✓ El funcionamiento correcto de los elementos móviles (Vástago) del sistema hidráulico reflajn una buena condición de la bomba
- ✓ El deposito de aceite no debe presentar oxidación, de ser el caso debe cepillarse la zona afectada y volverse a pintar
- ✓ Seguimiento a las vibraciones del motor eléctrico y presión del sistema durante el proceso de producción

Para el mantenimiento de elementos estructurales se tiene en consideración los siguientes aspectos;

- ✓ Al inicio de cada jornada de trabajo se debe verificar el ajuste general de los elementos que componene la estructura garantizando que el funcionamiento durante la producción sea seguro
- ✓ Al finalizar las labores de trajado debe limpiarse cada componente garantizando durabilidad a los mismos

Nota: Los protocolos de limpieza e inspección garantizan un equipo protector higienizado y un ajuste seguro de sus componentes. Las reparaciones sencillas y las labores de mantenimiento también suponen un ahorro de tiempo y dinero.¹⁸

¹⁸ DRÄGER SAFETY S.A. Minería. Aplicaciones. [en línea]. [consultado el 30 de septiembre de 2018]. Disponible en: <https://www.draeger.com/es_mx/Mining/Applications/Equipment-Maintenance?cid=sm-std-mx-mining-applicationequipmentmaintenance-programa-mantenimiento>

7. ANÁLISIS DEL IMPACTO AMBIENTAL

La empresa LADRILLOS PRENSADOS DE OCCIDENTE, esta comprometida con el medio ambiente, teniendo en cuenta la situación actual respecto a la contaminación por industrias, se desarrollo una máquina ecológica capaz de fabricar ladrillo prensado.

Este análisis se enfoca en el impacto ambiental que causa el accionamiento de la máquina compactadora en planta, como se muestra en el siguiente cuadro;

Cuadro 6. Impacto ambiental

Proceso	Actividad	Aspecto Ambiental	Impacto Ambiental	Solución
Ruido	Motor unidad hidráulica; Genera la presión de compactación	Genera ruido por la operación del motor, consumo de energía eléctrica	Sin mayor afectación ya que está dentro de los rangos de decibeles permisibles	No exceder los decibeles permitidos 75 dB(A) ¹⁹
Producción	Desechos generados por la producción	Residuos o elementos defectuosos provenientes de la producción	Contaminación del suelo y entorno	Contar con programas de reciclaje
Aceite	Aceite hidráulico en deposito	Fugas en conexiones	Contaminación del suelo y entorno	Deposito en adecuados recipientes cuando cumpla su ciclo, y sellamiento adecuado de conexiones

Fuente: Elaboración propia.

¹⁹ COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 627 (07, abril, 2006). Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. [en línea]. [consultado el 30 de septiembre del 2018]. Disponible en: < http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemicos/pdf/Normativa/Resoluciones/res_0627_070406.pdf >

Como se evidenció en el anterior cuadro correspondiente al impacto ambiental el desarrollo de operaciones de la máquina genera mínimas afectaciones al medio ambiente.

8. EVALUACIÓN FINANCIERA DEL PROYECTO

El análisis financiero del desarrollo de la máquina compactadora de ladrillos, tiene en consideración los costos de materia prima, mano de obra y adicionales que requiera su fabricación.

8.1 INVERSIÓN

8.1.1 Costos de ingeniería. Este numeral hace referencia a la inversión en tiempo y dinero estimado que toma el diseño e ingeniería del proyecto teniendo en cuenta diferentes ítems para su desarrollo como se muestra en el siguiente cuadro.

Cuadro 7. Costos de ingeniería

ÍTEMS	UNIDAD	CANTIDAD	\$/UNIDAD	TOTAL	FUENTE FINANCIAD.
TALENTO HUMANO					
Proponente	H-H	1.200	7.500	9.000.000	Proponente
Orientador	H-H	32	15.000	480.000	FUA
Total talento humano				9.480.000	
GASTOS MAQUINARIA Y EQUIPO					
Computadora	Uni	1	2.000.000	2.000.000	Proponente
Software	Licencia	2	1.000.000	2.000.000	FUA
Total maquinaria y equipo				4.000.000	
FUNGIBLES					
Libros	Uni	3	100.000	300.000	Proponente
Papel	Resma	2	15.000	30.000	Proponente
Tinta	Tóner	3	70.000	210.000	Proponente
Total fungibles				540.000	
OTROS GASTOS					
Viajes	\$	3	800.000	2.400.000	Proponente
Total otros gastos				2.400.000	
Total antes de imprevistos				16.420.000	
Imprevistos 3%				492.000	
Costo Total				16.912.600	

Fuente: Elaboración propia.

8.1.2 Costos de materiales de fabricación. Los costos de fabricación se dividen en los costos de los elementos estructurales y elementos que componen el sistema hidráulico.

Cuadro 8. Costos de fabricación

SISTEMA	ELEMENTO	CANTIDAD	PRECIO	TOTAL
Estructura	Materiales estructurales, ensamble y pintura	1	4.319.000	4.319.000
Sistema hidráulico	Cilindro Hidráulico	1	1.050.000	1.050.000
	Unidad hidráulica completa	1	3.211.000	3.143.000
	Mangueras 2 mts	2	90.000	180.000
	Acoples Mangueras	4	17.000	68.000
Acometida eléctrica	Materiales	IND	5.000.000	5.000.000
	Diseño Elec	1	1.200.000	1.200.000
Puesta punto	P.A.P	1	800.000	800.000
Total				15.760.000

Fuente: Elaboración propia.

Mayor información de precios y elementos de los sistemas disponibles en los anexos F, G, J.

8.1.3 Costo total de fabricación. El costo total de la fabricación de una máquina compactadora de ladrillo prensado se determina según los resultados obtenidos en los cuadros 8 y 9. sumando los totales de los cuadros anteriormente mencionados se estima un valor total de \$32.672.600 millones de pesos (IVA incluido).

8.2 EVALUACIÓN DE COSTOS

Para la evaluación de costos se cotizó una máquina nacional con funciones similares con un valor de \$45.000.000 millones de pesos (IVA incluido), con el fin de resaltar el beneficio que obtendrá la empresa LADRILLOS PRENSADOS DE OCCIDENTE al desarrollar el proyecto obteniendo un ahorro del 27,4% en la fabricación de la máquina.

Mayor información del costo y funciones de la maquina nacional ver anexo H.

8.3 COSTOS DE OPERACIÓN Y MANTENIMIENTO

En la evaluación de operación y mantenimiento se tienen en cuenta los costos de energía, operarios y mantenimiento que requiere la máquina para su operación.

8.3.1 Costo de operario. La empresa LADRILLOS PRENSADOS DE OCCIDENTE paga anualmente a un operario el valor de \$1.235.707, teniendo en cuenta los aportes que por ley corresponden. El calculo del salario anual del operario se muestra a continuación;

$$\text{Costo anual} = \text{Salario mensual} \times 12$$

$$\text{Costo anual} = \$1.235.507 \times 12 = \$14.826.084$$

El costo anual del operario es \$14.826.084, trabajando 8 horas diarias evitando a la empresa gastos adicionales en horas extras con la operación de la máquina compactadora de ladrillos prensados.

8.3.2 Análisis de maquinaria. Se establece una comparación de costos de operación y beneficios que ofrece la máquina del mercado nacional y la máquina diseñada;

Cuadro 9. Evaluación entre máquina nacional y máquina diseñada

ÍTEMS	Máquina nacional	Máquina diseño
Potencia motor (hp)	10 Diesel	7,5
Motor (voltaje)	-	220
Amperaje (l)	-	25
Polos	-	4
Rpm	3600	1.800
Factor de potencia	0,85	0,85
Eficiencia	0,89	0,89
Accionamiento (seg)	5,2	3,2
Ladrillos por hora	375	540
Días de trabajo (mes)	20	20
Meses trabajados (año)	12	12
Costo operario (anual)	14.826.084	14.826.084
Costo mantenimiento (anual)	2.500.000	1.010.000
Costo Máquina	45.000.000	32.672.600
Total	62.326.084	48.508.684

Fuente: Elaboración propia.

Mayor información del costo del mantenimiento disponible en anexo I.

8.4 ANÁLISIS FINANCIERO

El análisis financiero evalúa la viabilidad del proyecto, teniendo en cuenta el valor de la inversión y el tiempo de recuperación del mismo, para este caso se adopta el método de costo anual equivalente (CAE), con un valor de salvamento del 20% sobre el valor inicial de la máquina.

Se estima un periodo de depreciación de 10 años con el fin de saber la cuota anual de depreciación como se muestra a continuación;

Mayor información de tabla de depreciaciones consultar en anexo L.

$$\text{valor de salvamento} = \$32.672.600 \times 20\% = \$6.534.520$$

$$\text{Cuota anual de depreciación} = \frac{\text{Valor inicial} - \text{Valor de salvamento}}{\text{Tiempo de depreciación}}$$

$$\text{Cuota anual de depreciación} = \frac{\$32.672.600 - \$6.534.520}{10 \text{ años}} = \$2.613.808$$

La tasa de oportunidad (TIO) fijada por la empresa corresponde al 18%, lo que permite hallar el valor del factor de las anualidades como se muestra en la siguiente ecuación;

$$\begin{aligned} & \frac{1}{(1+0,18)} + \frac{1}{(1+0,18)^2} + \frac{1}{(1+0,18)^3} + \frac{1}{(1+0,18)^4} + \frac{1}{(1+0,18)^5} + \frac{1}{(1+0,18)^6} \\ & + \frac{1}{(1-0,18)^7} + \frac{1}{(1+0,18)^8} + \frac{1}{(1+0,18)^9} + \frac{1}{(1+0,18)^{10}} = \frac{4,49}{100} = 0,049 \end{aligned}$$

El factor anual en el ultimo periodo de los 10 años seleccionados se calcula como se muestra a continuación;

$$\text{Factor anual} = \frac{1}{(1+0,18)^{10}} = 0,19$$

Con el fin de explicar los costos de operación y mantenimiento de la máquina compactadora de ladrillos prensados se realizan diagramas de flujos de efectivo como se indica a continuación;

Diagrama de flujo costo de operación y salvamento de la máquina compactadora nacional;

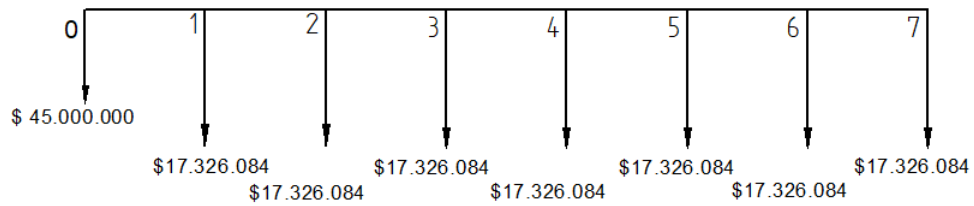
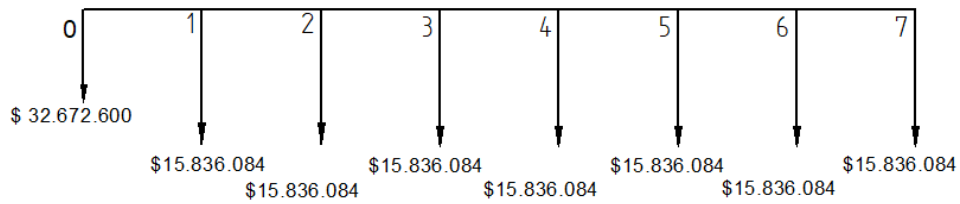
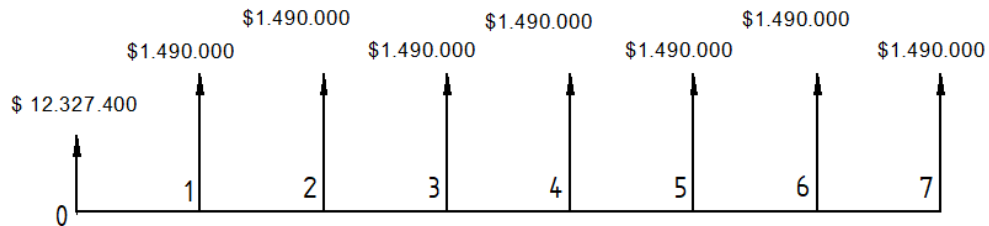


Diagrama de flujo costos de operación y valor inicial la máquina compactadora diseñada;



Para el análisis de los diagramas se restan los flujos de efectivo anuales, con el objetivo de determinar la diferencia de los costos de operación y mantenimiento entre los dos sistemas de compactación como se muestra en el siguiente diagrama;

Diagrama de flujo entre la máquina de compactación nacional y la diseñada;



El calculo del valor presente neto (VPN), se halla con la siguiente formula;

$$VPN = -\Sigma + \frac{E_j}{(1+i)^n} + \Sigma \frac{I_j}{(1+i)^n}$$

Donde;

- Σ= Sumatoria total
- VPN= Valor presente neto
- E_j= Egresos
- I_j= Inversión
- n= Periodo
- i= Interés

$$\begin{aligned}
 VPN = & -12.327.400 + \frac{1.490.000}{(1 + 0,044)^1} + \frac{1.490.000}{(1 + 0,044)^2} + \frac{1.490.000}{(1 + 0,044)^3} + \frac{1.490.000}{(1 + 0,044)^4} \\
 & + \frac{1.490.000}{(1 + 0,044)^5} + \frac{1.490.000}{(1 + 0,044)^6} + \frac{1.490.000}{(1 + 0,044)^7} + \frac{1.490.000}{(1 + 0,044)^8} + \frac{1.490.000}{(1 + 0,044)^9} \\
 & + \frac{1.490.000}{(1 + 0,044)^{10}}
 \end{aligned}$$

$$VPN = \$ - 479.266$$

Al cabo de 10 años a la empresa le faltan \$479.266 para recuperar la inversión total. Teniendo en cuenta lo anterior, se calcula en el año 11 la ganancia del proyecto de la siguiente forma;

$$\frac{1.490.000}{(1 + 0,044)^{11}} = \$927.856$$

Al cabo de 11 años se recupera la inversión inicial, además se obtiene una ganancia de \$448.590.

$$Ganancia\ neta = \$927.856 - \$479.266 = \$448.590$$

9. CONCLUSIONES

- ✓ El costo de la máquina diseñada es de \$32.672.600, comparado con el valor de otras máquinas en la industria nacional (\$45.000.000) generando un ahorro del 27,4%
- ✓ Después del análisis financiero se determino que el proyecto de la fabricación de una máquina compactadora de ladrillos prensados es económicamente viable, adicionalmente la empresa LADRILLOS PRENSADOS DE OCCIDENTE recupera en su totalidad la inversión en 11 años generando una ganancia de \$448.590
- ✓ Con los resultados obtenidos en los software de simulación para elementos finitos se evidencio que la máquina resuelve el proceso de compactación de mezcla (suelo-cemento) a satisfacción, además desarrolla sus funciones con un factor de seguridad de 2,1

10. RECOMENDACIONES

- ✓ Se recomienda la implementación de un sistema de transporte para los ladrillos prensados una vez lleguen al proceso final, esto evita el uso de varios operarios para ser llevados a los otros procesos de producción generando fluidez en el desarrollo de actividades en la planta
- ✓ Se recomienda adicionar al sistema de compactación una banda transportadora de mezcla con el fin de tener un abastecimiento continuo
- ✓ Se debe evaluar un control de accionamiento automático del proceso de prensado

BIBLIOGRAFÍA

AMERICAN CONCRETE INSTITUTE. Requisitos de reglamento para concreto estructural (ACI 318S-05) y comentario (ACI 318SR-05). [en línea]. Michigan.: American Concrete Institute. 2005. Disponible en: http://www.inti.gob.ar/cirsoc/pdf/publicom/ACI_318-05_Espanhol.pdf

ARIAS, Mateo. Ladrillos prensados de occidente. [en línea]. Disponible en <<https://laprensados.wixsite.com/laprenocc>>

BOSCH REXROTH. Ficha técnica Bomba de paletas precomandada PV7. [en línea]. Disponible en: <https://md.boschrexroth.com/modules/BRMV2PDFDownloadinternet.dll/rs10515_200510.pdf?db=brmv2&lvid=1100393&mvid=13322&clid=20&sid=9E955BCF9714D0448914BAAED64F9149.borextc&sch=M&id=13322,20,1100393>

CELSA. Catálogo de Aceros. [en línea]. [Consultado el 08 de septiembre de 2018]. Disponible en: <<https://www.fnb.upc.edu/mecanica/s11-pw/Prontuario%20-%20Perfiles%20Laminados.pdf>>

CENTRAL DE MANGUERAS S.A. Guía Rápida Acoples Hidráulicos. [en línea]. Disponible en: <<https://centraldemangueras.com/catalogo/ACOPLES-HIDRAULICOS.pdf>>

CENTRAL DE MANGUERAS S.A. Guía Rápida Mangueras Hidráulicas. [en línea]. Disponible en: <<https://centraldemangueras.com/catalogo/MANGUERAS-HIDRAULICAS.pdf>>

COLOMBIA. MINISTERIO DE AMBIENTE, VIVIENDA Y DESARROLLO TERRITORIAL. Resolución 627 (07, abril, 2006). Por la cual se establece la norma nacional de emisión de ruido y ruido ambiental. [en línea]. Disponible en: <http://www.minambiente.gov.co/images/BosquesBiodiversidadyServiciosEcosistemas/pdf/Normativa/Resoluciones/res_0627_070406.pdf >

COMERCIAL ROSHFRANS S.A. Hoja de datos técnicos división industrial. Aceite para sistemas hidráulicos. 2016. [en línea]. Disponible en: <http://www.roshfrans.com/wp-content/uploads/2015/03/55-HDT-HIDRAULICO-AW-ISO-VG-68-R6.pdf>

CORPOEMA. Determinación y priorización de alternativas de eficiencia energética para los subsectores manufactureros códigos CIU 19 a 31 en Colombia a partir de la caracterización del consumo energético para sus diferentes procesos, usos y equipos de uso final. Informe presentado a la Unidad de Planeación Minero Energética (UPME). [en línea]. Bogotá; 2014. Volumen 2. Disponible en:

<http://www1.upme.gov.co/DemandaEnergetica/DeterminacionEficiencia/Informe_Final_Volumen_2.pdf>.

DRÄGER SAFETY S.A. Minería. Aplicaciones. [en línea]. Disponible en: <https://www.draeger.com/es_mx/Mining/Applications/Equipment-Maintenance?cid=sm-std-mx-mining-applicationequipmentmaintenance-programa-mantenimiento>

ECURED. Pasadores (Mecánica). Definición. [en línea]. Disponible en: <[https://www.ecured.cu/Pasadores_\(mecánica\)](https://www.ecured.cu/Pasadores_(mecánica))>

FERROCORTES. Ficha técnica lámina de alta resistencia ASTM A572 GR 50. [en línea]. Disponible en: <<http://www.ferrocortes.com.co/download/FT-12-001-ASTM-A572-GR50.pdf>>

FESTO Productos. FluidSIM, Software de neumática para estudiantes. [en línea]. Disponible en: <<http://www.festo-didactic.com/es-es/productos/software-e-learning/fluidsim/fluidsim-4-neumatica,version-para-estudiantes.htm?fbid=ZXMuZXMuNTQ3LjE0LjE4LjU5MS40NzQx>>

FUNDACIÓN UNIVERSIDAD DE AMÉRICA. Guía metodológica para la elaboración de trabajos de grado y proyectos de investigación en pregrado. Bogotá D.C. 2011. 76 p.

GATANI, Mariana. Ladrillos de suelo-cemento: Mampuesto tradicional en base a un material sostenible. [En línea]. En: Informes de la Construcción. marzo-abril, 2000, vol. 51, no. 466., p. 35-47. Disponible en: <http://informesdelaconstruccion.revistas.csic.es/index.php/informesdelaconstruccion/article/download/713/798>

GLUAL HIDRAÚLICA. Cilindros Hidráulicos. [en línea]. Disponible en: https://www.glual.com/pdf/catalogos/catalogo_KZ_KP_K.pdf

INVENTOR. Coeficiente de Seguridad. [en línea]. Disponible en: <http://help.autodesk.com/view/INVENTOR/2015/ESP/?guid=GUID-D541AE00-F9FB-4B7E-A595-402219353010>

INSTITUTO COLOMBIANO DE NORMAS TÉCNICAS Y CERTIFICACIÓN. Trabajos escritos: presentación y referencias bibliográficas. Bogotá D.C.: ICONTEC, 2008. 92 p. ISBN 978-958-9383-81-0.

MCCORMAC, Jack. Conexiones Soldadas. En: Estructuras de acero método LRFD. 2 ed. México: Alfaomega, 2002. p. 469

PAREDES GUERRA, Alfredo Jesús. Diseño Mecánico de tolvas industriales (tercera parte). [en línea]. Disponible en: <<http://mecanotecnia.blogspot.com/2017/04/disenomecanico-de-tolvas-industriales.html>>

ROLDAN VILORIA, José. Prontuario de hidráulica industrial: Electricidad Aplicada. Madrid, España.: Paraninfo, 2001. 231 p. ISBN 84-283-2812-2.

SIEMENS Catálogo general motores eléctricos. Tabla de selección. [en línea]. Disponible en: <http://frq.cvg.utn.edu.ar/pluginfile.php/6825/mod_resource/content/1/Motores%20NNM.pdf>


SIUCE, Bonifacio. Diseño de Tolvas. [diapositivas]. Disponible en: <https://www.slideshare.net/RamiroSIUCEBONIFACIO1/diseo-de-tolvas-63586969>

TOSKANO HURTADO, Gérard Bruno. El Proceso de Análisis Jerárquico (AHP) como Herramienta para la toma de decisiones en la selección de proveedores. [En línea]. Tesis de grado Licenciado en Investigación Operativa. Lima, Perú.: Universidad Nacional Mayor de San Marcos. Facultad de Ciencias Matemáticas, 2005. 88 p. Disponible en: <http://sisbib.unmsm.edu.pe/BibVirtual/monografias/Basic/toskano_hg/toskano_hg.htm>

YPF S.A. Ficha técnica N°055 Lubricantes Hidráulico D. [en línea]. Disponible en: <<https://www.ypf.com/productosyservicios/Descargas/Hidraulico-D.pdf>>



ANEXOS

ANEXO A
ESTUDIO DE SUELO



JUAN CARLOS TRUJILLO D.
LABORATORIO DE SUELOS Y MATERIALES
CONSULTORIAS E INTERVENTORIAS

La empresa Ladrillos Prensados de Occidente Junto con la colaboración del laboratorio de suelos del ingeniero JUAN CARLOS TRUJILLO D. presentan el análisis hecho a diferentes ladrillos compuestos por suelo-cemento con el fin de determinar parámetros mínimos de fabricación

FECHA	22 de Agosto de 2018	HORA	6:30
SOLICITANTE	LADRILLOS PENSADOS DE OCCIDENTE / LUIS ANBAL APAR BUSTOS		
OBJETIVO DEL ENSAYO	En atención al solicitante se quiere determinar la magnitud de una fuerza aplicada a un tipo de suelo - cemento, para que conserve las características geométricas y la consistencia a la manipulación (después del prensado y la liberación del molde)		
TIPO DE MEZCLA	TIPO DE SUELO	ARENA	30 %
		ARCILLA	30 %
	MATERIAL ESTABILIZANTE	CEMENTO	30 %
	CONTENIDO OPTIMO DE HUMEDAD		3-4 %
GEOMETRIA	MUESTRAS	AREA =	0.020 - 0.020 m ²
		ALTO =	0.090 mts
		LARGO =	0.090 mts
		ANCHO =	0.140 mts
	RESEO DE LA MUESTRA	3.00	kg/Unidad
PROCEDIMIENTO	Se aplica una compactación estática de la muestra en la prensa multi-ensayos con una velocidad de compactación de 0.07 (N/mm ² /s). A fin de garantizar la uniformidad en cada uno de los ladrillos se determino previamente la densidad seca, obteniendo como resultado un MR individual de 11 MPa y MR promedio de 13 MPa		
RESULTADOS	CARGA APLICADA MUESTRA No. 1	6.00	Ton
	Nota / Diagnostico: La muestra presenta fisuras Al manipularla se parte con facilidad La muestra presenta baja compacidad		
	CARGA APLICADA MUESTRA No. 2	7.00	Ton
	Nota / Diagnostico: La muestra presenta microfisuración Al manipularla se parte conservando pequeños trozos La muestra presenta media compacidad		
	CARGA APLICADA MUESTRA No. 3	8.00	Ton
	Nota / Diagnostico: La muestra no presenta ningún tipo de fisura Al manipularla conserva su características geométricas La muestra presenta alta compacidad		
Una vez compactadas las ladrillos, se desmoldaron y se envolvieron con un film de plástico y un papel de aluminio. De esta manera, se evita una desecación prematura de las mismas y se asegura la disponibilidad de humedad en la muestra para un curado correcto. Cada uno de los ladrillos se pesó y se clasificó para someterlos posteriormente a diferentes ensayos a distintas edades de curado: 1, 7, 14, 28, 56 y 90 días. El curado de estas muestras se realizó en el laboratorio a una temperatura media de 20°C.			
La mezcla preparada con el contenido óptimo de humedad, se procesa con una bola duradora, que siempre no propiamente para esta función específicamente, deja la mezcla totalmente homogénea, evitando así la agregación que contenían mucha parte del agua de la mezcla.			
Para cada combinación se fabricaron dos muestras por ensayo a realizar (resistencia a compresión e inmersión) por fecha de ensayo (1, 7, 14, 28, 56 y 90 días), es decir, 24 por combinación. Hay que decir que, como el número de ensayos a realizar no se al momento en todas las fases del proyecto, el número aproximado de muestras vale:			
 JUAN C. TRUJILLO D. Laboratorio de Suelos y Materiales Mat. 1920225220 Cas.		 LUIS ANBAL APAR BUSTOS INGENIERO CIVIL, EDIFICAR ESPECIALISTA EN ESTRUCTURAS UNIVALLE MP: 62200-64338 CHN	
JUAN CARLOS TRUJILLO D. INGENIERO CIVIL, MECANICA IPT 18200-35220 CAS			

Calle 18 No. 61 - 40 Pasto Tel: 092-7296984 Cel: 321 525 3127

1

ANEXO B

PROPIEDADES LÁMINA DE ACERO A572 GR 50

NORMAS	USOS
<p style="text-align: center;">ASTM A36 ASTM A572 Grado 50</p> <p>Aceitado y decapado: acero de bajo carbono tal como ASTM A1011 (ASTM A569 anteriormente).</p>	<ul style="list-style-type: none"> • Industria automotriz • Industria metalmecánica • Industria agrícola • Industria naval • Industria de la construcción • Estructuras metálicas • Recipientes a Presión • Fabricación de tubos soldados • Recipientes a presión

Presentación	Dimensiones		Espesores (mm)
	Ancho (mm)	Largo (mm)	
Rollo	1,000 - 1,200 - 1,220	-	Desde 1.50 hasta 6.00
Lámina	1,000 - 1,200 - 1,220	2,000 - 2,400 - 2,440	Desde 1.50 hasta 9.00
Aceitada y Decapada	1,220	2,440	Desde 2.00 hasta 6.00
Planchas	1,830 - 2,440	6,100	Desde 4.50 hasta 50.00

ANEXO C
PROPIEDADES AISI 1045

ACEROS AL CARBONO

SUMINISTRO LAMINADO Y TREFILADO

SAE 1045

Descripción: Acero de medio carbono, posee baja soldabilidad y buena maquinabilidad, responde al tratamiento térmico y al endurecimiento por llama o inducción, pero no es recomendado para cementación o cianurado. Por su dureza y tenacidad es utilizado para la fabricación de componentes de maquinaria.

Usos: Por sus características de temple, se tiene una amplia gama de aplicaciones automotrices y de maquinaria en general de resistencia media, tales como: ejes, semiejes, cigüeñales, engranajes, piñones, cuñas, tornillos, pernos, martillos, pasadores, remaches, partes de maquinaria y herramientas agrícolas.

SAE 1045

Composición química (%)	
C	0,43 - 0,50
Mn	0,60 - 0,90
P	0,04 Máx.
S	0,05 Máx.

Tratamiento térmico Valores en °C		
Forjado	850 - 1100	
Normalizado	850 - 880	
Revenido	550 - 650	
Recocido	650 - 700	
Templado	Agua	820 - 850
	Aceite	830 - 860

Propiedades mecánicas	
	Laminado en caliente
Resistencia a la tracción	63 - 73 kgf/mm ²
Límite de fluencia	40 kgf/mm ²
Elongación	16%
Reducción de área	40%
Maquinabilidad	55%
Dureza (HB)	163

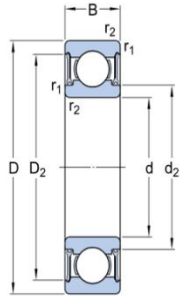
Formas: Redonda, cuadrada y hexagonal



ANEXO D

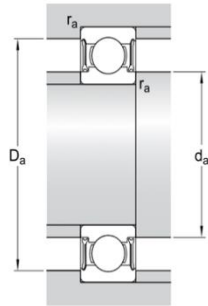
RODAMIENTO DE BOLAS

Dimensiones



d	9	mm
D	30	mm
B	10	mm
d ₂	≈ 15.3	mm
D ₂	≈ 25.28	mm
r _{1,2}	min. 0.6	mm

Dimensiones de los resaltes



d _a	min. 13	mm
d _a	max. 15.2	mm
D _a	max. 26	mm
r _a	max. 0.6	mm

Datos del cálculo

Capacidad de carga dinámica básica	C	4.36	kN
Capacidad de carga estática básica	C ₀	2.32	kN
Carga límite de fatiga	P _u	0.1	kN
Velocidad de referencia		60000	r/min
Velocidad límite		30000	r/min
Factor de cálculo	k _r	0.035	
Factor de cálculo	f ₀	12.9	

Masa

Rodamiento de masa		0.035	kg
--------------------	--	-------	----

ANEXO E

VÁLVULA 4/2

REMOTE CONTROLS / UZAKTAN KONTROLLER

P40 A1G **V1(I= . . .)+** **3047**
spool valve **cable** **control body**
spul valfi **kablo** **kontrol gövdesi**
(akış kontrol valfi)

P40 A1G **V2KZ1(I= . . .)+** **3047**
spool valve **cable** **control body**
spul valfi **kablo** **kontrol gövdesi**
(akış kontrol valdi)

Technical specifications / Teknik Özellikler			
	3047	3076	3077
Stroke / Strok	13+13 mm	13+13 mm	13+13 mm
Max. load / Mak. yükleme	45 kg	45 kg	45 kg
Level ratio / Düzey oranı	10:1	10:1	10:1
Lock in neutral/Serbest konumda kilidi	No	No	Yes
Antireverse lock / Emniyet kilidi	No	Yes	No
Body colour / Gövde rengi	Black	Black	Black
Cables type / Kablo tipi	Heavy Duty	Heavy Duty	Heavy Duty
Operating temperature / Kullanım Isısı	-40/+80C	-40/+80C	-40/+80C

High solidity controls for easy mounting on every type of distributor. They can bymounted stand alone or packed together. They use push-pull heavy duty cables that provide a positive smooth operating lever and are manufactured in a three differents models to meet different needs of Clients.

Bütün kumanda kolları kolay monte edilir ve dayanıklı bir yapıya sahiptir. Montajlanmış veya demonte olarak gönderilebilir. Yüksek kalitede uzatma kabloları ile müşterilerin ihtiyaçları doğrultusunda uzaktan yönlendirme olanağı sağlar.

2 holes to mounting stackable birleştirme delikleri

ANEXO F

COTIZACIÓN MATERIALES ESTRUCTURALES

TORNO SUR PASTO
NIT: 12.996.339-9
Servicio de Torno, Fresadora
Prensa Hidráulica Trabajos de Precisión

San Juan de Pasto, 16 de octubre de 2018

Señores

Ladrillos Prensados de Occidente

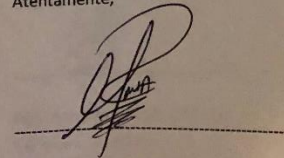
Asunto: Cotización

Cordial saludo:

A continuación envío cotización solicitada

PERFILES ESTRUCTURALES	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	TOTAL
UPN	3	246.500	739.500
2* 2* 1/4	6	25.000	150.000
Lamina E=3 mm	7	15.000	105.000
Lamina E=25 mm	2	369.750	739.500
Barra 1045	2	30.000	60.000
Ensamble		2.324.000	2.324.000
Pintura		201.000	201.000
Total			4.319.000

Atentamente,



HENRY NEVAR REVELO FAJARDO
Técnico Industrial
Cel. 312 706 64 48
Cra 19 13-59 Las Américas

Torno Sur Pasto
NIT 12.996.339-9
Carrera 19 N° 13 - 59
Las Américas - Pasto
Cel 3127066448 - 3017823257

ANEXO G

COTIZACIÓN UNIDAD HIDRÁULICA



Diselco Limitada

Óleo hidráulica y Neumática
Cra 72 A # 83 F 20 Bogotá Colombia
TeleFax: 2245038 - 2239613

www.diselco.com.co

Señores:

Atn: Sr. Mateo Arias Benavides.

Ref.: Unidad y Cilindro Hidráulico



Cotización

Cotización No. 220617

FECHA: Junio 22 de 2017

I. LISTA DE COMPONENTES

Item	Ref.	DESCRIPCION	Cant.	Valor/U.	Subtotal
1		Motor 5 HP B-5 1800 RPM	1	\$ 1.235.000	\$ 1.235.000
2		Bomba 3 GPM/1800 RPM	1	\$ 300.000	\$ 300.000
3		Acople Motor Bomba	1	\$ 320.000	\$ 320.000
4		Tapa de llenado	1	\$ 48.000	\$ 48.000
5		Termonivel	1	\$ 49.000	\$ 49.000
6		Filtro de succión	1	\$ 66.000	\$ 66.000
7		Manómetro	1	\$ 53.000	\$ 53.000
8		Valvula de palanca	1	\$ 240.000	\$ 240.000
9		Deposito de aceite	1	\$ 900.000	\$ 900.000
10		Cilín.Hidráulico Ø80mm * 35mm * 420mm	1	\$ 1.050.000,00	\$ 1.050.000
11		Mangueras 2 metros, hembras giratorias en ambos extremos	2	\$ 90.000,00	\$ 180.000
			12		\$ 4.441.000


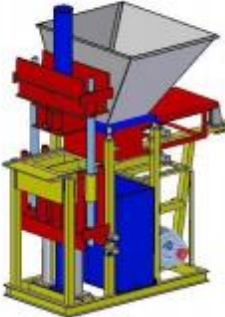
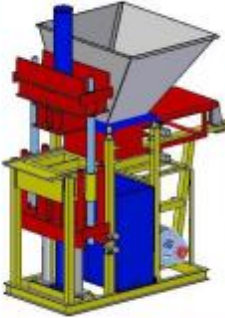
II. CONDICIONES COMERCIALES

Tiempo Entrega: Quince Dias	Sitio Entrega: Diselco Ltda	Forma de Pago: Anticipo 60%, 40% en la entrega
Validez: 30 dias	IVA: 19%	Atte: Sergio Santana - (317) 549-1243

ANEXO H

COTIZACIÓN GRACOMAQ S.A.S

GRACOMAQ S.A.S.

<p>Graco Ram Hidráulica manual de un molde MOTOR DIESEL</p>		<p>Ciclo de trabajo de la máquina 20 segundos, sistema hidráulico de prensado accionado por pedal, cargue y apertura de la tapa en forma manual, extracción hidráulica del adobe. Motor Diesel 3HP. Se le puede poner todos los moldes para fabricar diferentes tipos de adobe.</p> <p>Peso aprox.300kg Medidas:120x80x100cm</p>	<p style="text-align: right;">\$20'000,000</p>
<p>Graco Ram Hidráulica Doble Semiautomática con motor eléctrico</p>		<p>Ciclo de trabajo de la máquina 20 segundos, aprox.3000 adobes diarios. Sistema de prensado desde dos caras (Twin Ram) utiliza menor potencia para una máxima compactación. Motor eléctrico monofásico de 5HP. Se le puede poner todos los moldes para fabricar diferentes tipos de adobe. Ciclos semiautomático</p> <p>MEDIDAS:210*90*180CM PESO:800KG</p>	<p style="text-align: right;">\$40000000</p>
<p>Graco Ram Hidráulica Doble Semiautomática con motor Diesel</p>		<p>Ciclo de trabajo de la máquina, 20 segundos, aprox.3000 Adobes diarios. Sistema de prensado desde dos caras (Twin Ram) y placa de compactación utiliza menor potencia para una máxima compactación y mayor velocidad. Motor Diesel de 10 HP. Se le puede poner todos los moldes para fabricar diferentes tipos de adobe. Ciclo semiautomático</p> <p>MEDIDAS:210*90*180CM PESO:800KG</p>	<p style="text-align: right;">\$45'000,000</p>

ANEXO I
COTIZACIÓN MANTENIMIENTO

TORNO SUR PASTO
NIT: 12.996.339-9
Servicio de Torno, Fresadora
Prensa Hidráulica Trabajos de Precisión

San Juan de Pasto, 16 de octubre de 2018

Señores

Ladrillos Prensados de Occidente

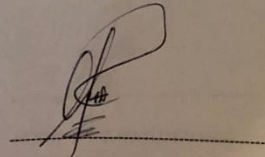
Asunto: Cotización

Cordial saludo:

A continuación envío cotización solicitada

Mantenimiento máquina compactadora de ladrillo \$1.010.000

Atentamente,



HENRY NEVAR REVELO FAJARDO
Técnico Industrial
Cel. 312 706 64 48
Cra. 19 13-59 Las Américas

Torno Sur Pasto
NIT 12.996.339-9
Carrera 19 N° 13 - 59
Las Américas - Pasto
Cel. 3127066448 - 3017823257

ANEXO J

COTIZACIÓN ACOMETIDA ELECTRICA

DIANA CAROLINA HUERTAS CLARAN
INGENIERA ELECTRICISTA



10. Valor propuesta económica construcción:

Descripción	Cantidad	Valor unitario	Valor total
Construcción	1	5.133.321	5.133.321

COTIZACION LADRILLERA SEÑOR LUIZ ARIAS					
ITEM	DESCRIPCION	UNID	CANTIDAD	VALOR UNITARIO	PRECIO ITEM
1 CONSTRUCCION DE RED DE BAJA TENSION					
1.1	AMPLIACION DE RED BAJA TENSION	UNI	60	41000	2460000
2 CONSTRUCCION INSTALACION INTERNA					
2.1	TUBOS EMT 1/2	UNI	38	10.175	386.631
2.2	CURVAS EMT 1/2	UNI	13	1.700	22.100
2.3	UNIONES	UNI	40	774	30.940
2.4	CABLE # 10	UNI	180	2.100	378.000
2.5	CABLE #12	UNI	174	1.800	313.200
2.6	CABLE # 14	UNI	50	1.650	82.500
2.7	CAJAS 4X4 METALICAS(2400)	UNI	5	2.750	13.750
2.8	CAJAS EXAGONALES	UNI	5	2.750	13.750
2.9	CAJAS 4X2	UNI	5	1.450	7.250
3 TABLERO DE DISTRIBUCION					
3.1	PROTECCION TRIFASICA 40A	UNI	1	83.000	83.000
3.2	PROTECCION TRIFASICA 30A	UNI	1	79.000	79.000
3.3	TABLERO TRIFASICO 12 CTOS	UNI	1	190.000	190.000
3.4	PROTECCIONES MONOFASICAS	UNI	2	8.600	17.200
4 SISTEMA PUESTA A TIERRA					
4.1	VARRILLA COPERWELL	UNI	1	150.000	150.000
4.2	CONECTOR	UNI	1	6.000	6.000
4.3	CAJA DE INSPECCION	UNI	1	200.000	200.000
5 MANO DE OBRA					
5.1	MANO DE OBRA INSTALACION INTERNA	UNI	1	500.000	500.000
6 TRANSPORTE POSTE					
6.1	TRANSPORTE POSTE, MATERIAL Y HERRAJE	UNI	1	200.000	200.000
TOTAL					5.133.321

ANEXO K

COTIZACIÓN PUESTA A PUNTO

TORNO SUR PASTO
NIT: 12.996.339-9
Servicio de Torno, Fresadora
Prensa Hidráulica Trabajos de Precisión

San Juan de Pasto, 16 de octubre de 2018

Señores

Ladrillos Prensados de Occidente

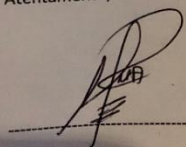
Asunto: Cotización

Cordial saludo:

A continuación envío cotización solicitada

Puesta a punto de máquina compactadora de ladrillo \$800.000

Atentamente,



HENRY NEVAR REVELO FAJARDO
Técnico Industrial
Cel. 312 706 64 48
Cra 19 13-59 Las Américas

Torno Sur Pasto
NIT 12.996.339-9
Carrera 19 N° 13-59
Las Américas - Pasto
Cel. 3127066448 - 3017823257

ANEXO L

DEPRECIACIÓN DE MÁQUINARIA

Ejemplos de Vida Útil Legal

- Maquinaria Industrial: 10 años
- Herramientas Pesadas: 10 años
- Automóviles: 10 años
- Camiones: 7 años
- Estructuras de Acero: 100 años
- Edificios de Hormigón: 60 años
- Edificios de albañilería: 40 años
- Galpones: 25 años
- Muebles y enseres: 10 años