

**DISEÑO DE UNA MÁQUINA PARA APROVECHAR EL CAUCHO RECICLADO  
DE LLANTAS USADAS**

**Johan Marcelo Marín Sierra**

**Código: 1.087.491.207**

**Giovanny Ramírez Acosta**

**Código: 1.123.306.236**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**

**FACULTAD DE TECNOLOGÍAS**

**INGENIERÍA MECATRÓNICA**

**PEREIRA**

**2016**

**DISEÑO UNA MÁQUINA PARA APROVECHAR EL CAUCHO RECICLADO DE  
LLANTAS USADAS**

**Johan Marcelo Marín Sierra**

**Giovanny Ramírez Acosta**

**Proyecto de grado para obtener el título de Ingeniero en Mecatrónica**

**Ing. CARLOS ANDRÉS RODRÍGUEZ PÉREZ**  
**Director**  
**Docente del programa Ingeniería Mecatrónica**

**UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE PEREIRA**  
**FACULTAD DE TECNOLOGÍAS**  
**PEREIRA**  
**2016**

## RESUMEN

El presente documento muestra el diseño de una máquina para el aprovechamiento del caucho procesado de llantas usadas de vehículos. Esta idea nace tras la problemática que tienen muchas empresas que se dedican al reciclaje de llantas usadas, la demanda de este producto es muy poca, por ende estas empresas se quedan con todo este material haciendo que no puedan reciclar más llantas, es por eso que este proyecto busca fabricar ladrillos a base de este caucho.

El diseño de la maquina se realiza después de hacer varias pruebas y consultas que aportaron datos esenciales para el desarrollo de los distintos dispositivos y procesos. Una vez definida y diseñada cada parte de la maquina se procedió a investigar la forma más adecuada de realizar la automatización, un sistema SCADA y la parte eléctrica y electrónica del mismo.

## **TABLA CONTENIDO**

RESUMEN.....	3
INTRODCCIÓN.....	9
1. CONCEPTOS TEORICOS GENERALES .....	10
1.1 CAUCHO PROCESADO.....	10
1.1.1 Proceso de vulcanización .....	10
1.1.2 Procesos de aprovechamiento de neumáticos.....	11
1.2 LIGANTE DE CAUCHO .....	11
1.2.1 LIGANTE 4000.....	11
1.2.2 LIGANTE ASFALTICO .....	12
1.2.3 LIGANTE DE CAUCHO UV .....	13
2. ANÁLISIS PREVIO.....	14
3. DISEÑO DE LA MAQUINA.....	27
3.1 DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y MEZCLADO .....	28
3.1.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL CAUCHO .....	28
3.1.2 Tanque de almacenamiento del ligante .....	32
3.1.3 Tanque de mezclado .....	34
3.1.4 Tiempo de vaciado de tanques.....	43
3.1.4.1 Válvula de bola neumática.....	43
3.2 ESTRUCTURA DE TANQUES Y MOTOR DE MEZCLADO .....	46
3.2.1 Estructura de tanque de caucho, ligante y motor de mezclado .....	46
3.2.3 Soporte tanque de mezclado .....	52
3.3 DISEÑO DEL MOLDE .....	55
3.4 BANDA TRANSPORTADORA .....	58
3.4.1 Calculo de banda transportadora .....	58
3.5 SISTEMA DE PUESTA DE TAPAS.....	64
3.5.1 Mecanismo de dispensado de tapas.....	65
3.5.2 Mecanismo puesta de tapa.....	69
3.6 SISTEMA DE PRENSADO .....	75
3.6.1 CALCULOS DEL SISTEMA HIDRAULICO .....	76
3.7 SISTEMA PUESTA DE SEGUROS .....	78

3.7.1 CÁLCULO PARA EL CILINDRO DE DISPENSADO DE PASADORES.....	79
4. SISTEMAS ELECTRICOS, NEUMATICOS, DE COTROL Y SUPERVISIÓN DE ETAPAS.....	83
4.1 SISTEMAS ELECTRICOS .....	83
4.1.1 CALCULO DE CONDUCTOR ELECTRICO DE MOTOR DE MEZCLADO.....	83
4.1.2 CALCULO DE DISYUNTOR TERMO-MAGNETICO PARA MOTOR MEZCLADO.....	86
4.1.3 CONTACTOR PARA MOTOR MEZCLADO .....	87
4.1.4 RELE TERMICO PARA MOTOR MEZCLADO .....	87
4.1.5 CALCULO DE CONDUCTOR ELECTRICO DE MOTOR DE BANDA.....	87
4.1.6 CALCULO DE DISYUNTOR TERMO-MAGNETICO PARA MOTOR BANDA .....	89
4.1.7 CONTACTOR PARA MOTOR BANDA .....	89
4.1.8 RELE TERMICO PARA MOTOR BANDA.....	89
4.1.9 CALCULO DE CONDUCTOR ELECTRICO DE FUENTE DE PODER .....	89
4.1.10 CALCULO DE DISYUNTOR TERMO-MAGNETICO PARA FUENTE DE ALIMENTACIÓN .....	92
4.2 SISTEMAS NEUMATICOS, DE COTROL Y SUPERVISIÓN DE ETAPAS..	92
4.2.1 SISTEMA DE TANQUES .....	93
4.2.2 SISTEMA DE MOTORES .....	93
4.2.3 SISTEMA DE PUESTA DE TAPA.....	94
4.2.4 SISTEMA DE PRENSADOR Y PUESTA DE PASADORES.....	95
4.2.5 SUPERVISION DE ETAPAS .....	95
4.2.6 PROGRAMA DE CONTROL.....	96
4.3 PLANOS ELECTRICOS DE CONEXIÓN.....	107
5. ANÁLISIS Y COSTOS .....	111
6. CONCLUSIONES .....	113
7. RECOMENDACIONES .....	114
8. BIBLIOGRAFIA .....	115
ANEXOS.....	117
Anexo A.....	117
Anexo B.....	117
Anexo C .....	117
Anexo D .....	118

Anexo E.....	118
--------------	-----

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Caucho reciclado utilizado .....	14
Figura 2. Ligante de caucho UV.....	14
Figura 3. Molde 1 .....	15
Figura 4. Molde 2 .....	16
Figura 5. Molde 3.....	17
Figura 6. Yunque del molde 3.....	17
Figura 7. Molde 4 .....	18
Figura 8. Yunque del molde 4 .....	18
Figura 9. Resultado prueba 1.....	19
Figura 10. Resultado de la prueba 3.....	20
Figura 11. Resultados de la prueba 4 .....	20
Figura 12. Proceso de compactación con una masa equivalente a 12 Kg.....	21
Figura 13. Resultados prueba 5.....	21
Figura 14. Prueba de compactación con gato mecánico. ....	22
Figura 15. Resultados prueba 6.....	22
Figura 16. Proceso de compactación de la prueba 7 .....	23
Figura 17. Resultados de la prueba 7 .....	23
Figura 18. Resultados de la prueba 8 .....	24
Figura 19. Proceso de compactación con el gato mecánico.....	25
Figura 20. Resultados prueba 9.....	25
Figura 21. Resultados de la prueba de fijación al cemento .....	26
Figura 22. Prueba de fluidez del caucho triturado.....	27
Figura 23. Dimensiones del molde.....	28
Figura 24. Dimensiones del cono del tanque del caucho.....	30
Figura 25. Tanque de almacenamiento del Caucho .....	31
Figura 26. Dimensiones del cono del tanque del ligante.....	33
Figura 27. Tanque de almacenamiento del Ligante .....	34
Figura 28. Dimensiones del cono del tanque de mezclado.....	37
Figura 29. Tanque de almacenamiento y mezclado .....	38
Figura 30. Tanque con tornillo sin-fin.....	39
Figura 31. Motor de ejes paralelos (9). ....	43
Figura 32. Válvula de bola Cepex (10).....	44
Figura 33. Peso total tanque de caucho en Solidworks .....	47

Figura 34. Peso total tanque de ligante en Solidworks .....	47
Figura 35. Vista transversal del perfil estructural utilizado .....	48
Figura 36. Estructura del tanque de caucho, ligante y motor de mezclado hecha en Solidworks .....	48
Figura 37. Ensamble completo .....	49
Figura 38. Distribución de carga .....	50
Figura 39. Análisis de factor de seguridad .....	51
Figura 40. Análisis de desplazamiento .....	51
Figura 41. Análisis de punto de ruptura .....	52
Figura 42. Peso total tanque de mezclado en Solidworks .....	53
Figura 43. Estructura de tanque de mezclado .....	53
Figura 44. Análisis de factor de seguridad .....	54
Figura 45. Análisis de desplazamiento .....	55
Figura 46. Medidas internas del molde .....	56
Figura 47. Guía de pasadores y pasadores .....	57
Figura 48. Molde ensamblaje final en solidworks.....	58
Figura 49. Tipos de banda (12).....	59
Figura 50. Longitud de la banda .....	60
Figura 51. Ficha técnica motor de banda transportadora (14).....	64
Figura 52. Tapa de molde.....	65
Figura 53. Dispensador de tapas.....	65
Figura 54. Diagrama de cuerpo libre.....	66
Figura 55. Generador de vacío (15).....	71
Figura 56. Ventosa de sujeción por vacío (15). .....	71
Figura 57. Actuador rotativo Festo (16). .....	71
Figura 58. Sistema de sujeción y rotación .....	72
Figura 59. Análisis de factor de seguridad.....	74
Figura 60. Análisis de desplazamiento .....	75
Figura 61. Sistema de prensado.....	76
Figura 62. Sistema puesta de seguros .....	79
Figura 63. Molde completamente ensamblado .....	81
Figura 64. Ensamble completo .....	82
Figura 65. Ficha técnica PLC DELTA DVP48EH00R2 (21).....	90
Figura 66. Hoja de datos DRP024V120W1AA (22). .....	91
Figura 67. Sistemas de tanques .....	93
Figura 68. Motores.....	94
Figura 69. Sistema de puesta de tapas .....	94
Figura 70. Sistema de prensado.....	95
Figura 71. Sistema de supervisión de etapas .....	96

Figura 72. Diagrama de flujo 1 .....	101
Figura 73. Diagrama de flujo 2.....	102
Figura 74. Configuración de entradas del sistema.....	103
Figura 75. Configuración de salidas del sistema.....	104
Figura 76. . Código de programación en Ladder 1.....	105
Figura 77. Código de programación en Ladder 2.....	106
Figura 78. Código de programación en Ladder 3.....	107
Figura 79. Plano de conexiones eléctricas. ....	108
Figura 80. Circuito de distribución de tablero eléctrico .....	109
Figura 81. Gabinete de componentes eléctricos.....	110

### LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Composición porcentual típica de las llantas (3).....	10
Tabla 2. Tiempo de secado a diferentes temperaturas (5). ....	12
Tabla 3. Tabla de secado del ligante asfáltico (6).....	13
Tabla 4. Tabla de secado del ligante UV (7).....	13
Tabla 5. Comparación de datos entre las diferentes pruebas.....	26
Tabla 6. Coeficiente de recubrimiento de la cara del tambor motriz (12).....	61
Tabla 7. Clasificación de materiales para el recubrimiento de tambores motrices (13). ....	61
Tabla 8. Tipos de ventosas (15).....	69
Tabla 9. Factor de seguridad (15).....	70
Tabla 10. Factor de corrección por temperatura (17).....	83
Tabla 11. Calibres de conductores según la corriente (18).....	85
Tabla 12. Tabla de reactancia inductiva (19)-.....	86
Tabla 13. Tabla de entradas .....	97
Tabla 14. Tabla de salidas .....	98
Tabla 15. Lista de materiales y precios eléctricos.....	111
Tabla 16. Lista de materiales y precios estructurales, mecánicos y neumáticos .	112
Tabla 17. Costo final .....	112

## INTRODCCIÓN.

Se sabe que la contaminación en el planeta cada vez es más grande y cada día que pasa se observan los problemas que trae la degradación ambiental, no solo en el cambio climático sino, en la salud de las personas. En los últimos tiempos se han estado desarrollando modelos de reciclaje para ayudar a disminuir el impacto que generan las basuras en el planeta. Actualmente en Colombia se está presentando una problemática seria con el tema del reciclaje de llantas usadas, ya que no hay un debido proceso de reciclaje y solo en los últimos meses han surgido algunas empresas dedicadas al reciclaje de este producto, separando el hierro del caucho y triturando el caucho en diferentes tamaños, pero se están quedado estancadas porque no hay muchas personas o empresas que compren la materia prima resultante para fabricar o convertir esto en otro producto <sup>(1)</sup>.

Con la realización de este proyecto se busca dar una solución viable al aprovechamiento del caucho reciclado de llantas usadas y así ayudar con la disminución de la contaminación del medio ambiente y de enfermedades.

El objetivo principal de este proyecto es diseñar una máquina para aprovechar el caucho reciclado de llantas usadas y para cumplir este objetivo se tuvieron en cuenta los siguientes objetivos específicos:

- Determinar una estrategia para moldear el caucho reciclado de llantas.
- Diseña un sistema mecánico adecuado para la máquina.
- Diseñar un sistema eléctrico apropiado para la máquina.
- Diseñar un sistema Scada para visualizar y monitorear el estado de la máquina.

Para llegar al objetivo principal del proyecto se procede de manera inicial a realizar una serie de pruebas que permitan recopilar datos importantes que ayuden al desarrollo de cada mecanismo como el sistema de compactación, los moldes, el sistema de mezclado y vertimiento de la materia prima, una vez realizadas las pruebas se procede a realizar el diseño de la maquina con ayuda de un software CAD, una vez completado el diseño se determina el sistema de instrumentación, control y un supervisión más óptimo para la máquina y de igual forma realizan todos los cálculos eléctricos, electrónico y mecánicos de la misma.

## 1. CONCEPTOS TEORICOS GENERALES

En la fabricación de ladrillos con caucho reciclado es importante tener en cuenta la diferencia del caucho virgen y el caucho que se ha sometido a un tratamiento de vulcanización, ya que el caucho no tratado o virgen tiene la posibilidad de ser tratado térmicamente y el caucho que ha tenido procesos químicos previos hacen que este producto no se pueda moldear térmicamente, por esta razón se debe utilizar productos adicionales para el moldeo de este caucho.

### 1.1 CAUCHO PROCESADO

El caucho procesado que se utiliza proviene de las llantas deshechas de automóviles, este caucho es sometido a un proceso de vulcanización el cual mejora sus propiedades físicas.

#### 1.1.1 Proceso de vulcanización

Para mejorar las propiedades físicas y mecánicas se agregan unos componentes como: óxido de Zinc y de Magnesio, antioxidantes, azufre y negro de humo <sup>(2)</sup>, que mejoran la resistencia a la carga, posibilidad de manejar alta presión, características de adherencia, entre otros. En la siguiente tabla se muestra la composición porcentual típica de las llantas.

Tabla 1. Composición porcentual típica de las llantas <sup>(3)</sup>.

Material	composición (%)	
	Automoviles	Camiones
Caucho natural	14	27
Caucho sintefico	27	14
Rellenos Reforzantes	28	28
Acero	14	15
Antioxidantes y rellenos	17	16

El proceso de vulcanización es irreversible, en pocas palabras, gracias a la adición de los componentes mencionados anteriormente no es posible regresar este caucho a su estado natural. El proceso de vulcanizado hace que este material se transforme en un material termo-rígido, lo que quiere decir que no se derrite cuando es expuesto al calor.

### **1.1.2 Procesos de aprovechamiento de neumáticos**

Existen varios tipos de procesos de aprovechamiento de caucho de llantas como lo son: pirolisis, termólisis, incineración, trituración criogénica y trituración mecánica. Cada uno de estos procesos tiene sus ventajas y desventajas.

#### **1.1.2.1 Proceso de pirolisis**

Es un proceso térmico de descomposición térmica de macromoléculas en ausencia de oxígeno para la obtención de productos de menor peso molecular. Este proceso cuando es aplicado a las llantas usadas degrada el caucho emitiendo un gas similar al propano, además de un aceite industrial refinado en diésel <sup>(4)</sup>.

#### **1.1.2.2 Proceso de incineración**

Este proceso transforma la materia en cenizas mediante la combustión en presencia elevada de oxígeno. Este proceso es poco viable para ser aplicado a llantas usadas, ya que, el caucho incinerado libera gases como monóxido de carbono, óxidos de nitrógeno, óxidos de zinc, óxidos de plomo, Etc, estos gases son muy contaminantes para el medio ambiente además son considerados como gases cancerígenos <sup>(4)</sup>.

#### **1.1.2.3 Proceso trituración criogénica**

La trituración criogénica consiste en congelar la llanta con nitrógeno en estado líquido, una vez congeladas pasan a ser trituradas. La desventaja de este proceso es el alto costo de instalación y mantenimiento de maquinaria, además el producto final es un caucho con presencia de acero <sup>(3)</sup>.

#### **1.1.2.4 Proceso de trituración mecánica**

Este proceso se realiza en ausencia de agentes químicos, donde la llanta pasa por una serie de máquinas en las cuales se le extrae el acero y el caucho es triturado en diversos tamaños que oscilan entre los 0.6mm y 7mm <sup>(3)</sup>.

## **1.2 LIGANTE DE CAUCHO**

Para moldear el caucho reciclado es necesario añadirle una resina especial, esta resina o también conocido como aglomerante de poliuretano permite aglomerar gránulos de caucho reciclado, obteniendo como producto final un elastómero compacto de elevadas propiedades finales.

La empresa krypton Chemical SL, ofrece varios tipos de ligante para diferentes aplicaciones.

### **1.2.1 LIGANTE 4000**

Resina de poliuretano aromático monocomponente. Este ligante es un producto adecuado para actuar como ligante de caucho para fabricación de losetas preformadas, obteniendo un elastómero compacto y económico, de elevadas

propiedades finales, para uso en zonas de juego infantil, alcorques, zonas de entrenamiento y transporte de caballos, relleno anti vibración en vías férreas, etc.

- Humecta muy bien cauchos de diferente granulometría.
- Baja coloración (respecto a los productos a base de otros isocianatos).
- Elevadas propiedades y elasticidad. Buena resistencia al desgarro.

El producto final obtenido con este ligante se puede aplicar en: Pavimento decorativo y pavimento de seguridad (Parques Infantiles y zonas recreativas).

Este la mezcla de caucho y ligante 4000 puede ser sometida a calor para acelerar su secado. En la siguiente imagen se puede observar los diferentes tiempos de secado, cuando es sometido la mezcla a diferentes temperaturas <sup>(5)</sup>.

**Tabla 2.** Tiempo de secado a diferentes temperaturas <sup>(5)</sup>.

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Seco al tacto (min)</i>
130	14
120	16
100	20

### **1.2.2 LIGANTE ASFALTICO**

Ligante de Caucho con estabilidad de color. Esta resina es un producto adecuado para actuar como ligante de caucho en granza, obteniendo un elastómero compacto y económico, de elevadas propiedades finales, para uso en zonas de juego infantil, alcorques, zonas de entrenamiento y transporte de caballos, relleno anti vibración en vías férreas, etc. Producto ideal para uso en sistema continuo o “insitu”. La resistencia mejorada a rayos UV respecto a Ligante de Caucho lo hace más adecuado que éste para aplicaciones de acabado.

- Humecta muy bien cauchos de diferente granulometría.
- Estabilidad de color.
- Elevadas propiedades y elasticidad.

La mezcla final se puede usar en aplicaciones como: Alcorques, acabados de pavimento decorativo (zonas ajardinadas, taludes, terrazas, Rotondas, escudos artesanos, jardines, entre otras), acabador de pavimento de seguridad (parques infantiles, zonas recreativas).

Este ligante a diferencia del ligante 4000, no puede ser sometido a altas temperaturas para acelerar el tiempo de secado. A continuación se puede observar una tabla con el tiempo de secado a temperatura ambiente y humedad del ambiente <sup>(6)</sup>.

**Tabla 3.** Tabla de secado del ligante asfáltico <sup>(6)</sup>.

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Humedad relativa (%)</i>	<i>Seco al tacto (h)</i>
22	45	20
5	50	40

### 1.2.3 LIGANTE DE CAUCHO UV

Versión de Ligante de Caucho con resistencia UV mejorada. Esta resina es un producto adecuado para actuar como ligante de caucho en granza, obteniendo un elastómero compacto y económico, de elevadas propiedades finales, para uso en zonas de juego infantil, alcorques, zonas de entrenamiento y transporte de caballos, relleno anti vibración en vías férreas, etc. Producto ideal para uso en sistema continuo o “in-situ”. La resistencia mejorada a rayos UV respecto a Ligante de Caucho lo hace más adecuado que éste para aplicaciones de acabado.

- Resina de baja viscosidad. Humecta muy bien cauchos de diferente granulometría.
- Baja coloración (respecto a los productos a base de otros isocianatos).
- Elevadas propiedades y elasticidad. Buena resistencia al desgarro.

Al igual que el ligante asfáltico, el ligante UV no puede ser sometido a grandes temperaturas para acelerar el tiempo de secado, en la siguiente tabla se puede observar el tiempo de sacado a diferentes temperaturas permitidas de secado <sup>(7)</sup>.

**Tabla 4.** Tabla de secado del ligante UV <sup>(7)</sup>.

<i>Temperatura (°C)</i>	<i>Humedad relativa (%)</i>	<i>Seco al tacto (h)</i>
20	50	6
20	70	3
20	15	40
5	60	20
5	85	7

## 2. ANÁLISIS PREVIO

El caucho procesado que se decidió utilizar para realizar las pruebas tiene un diámetro de 3mm, en la siguiente figura se puede observar la apariencia del caucho.

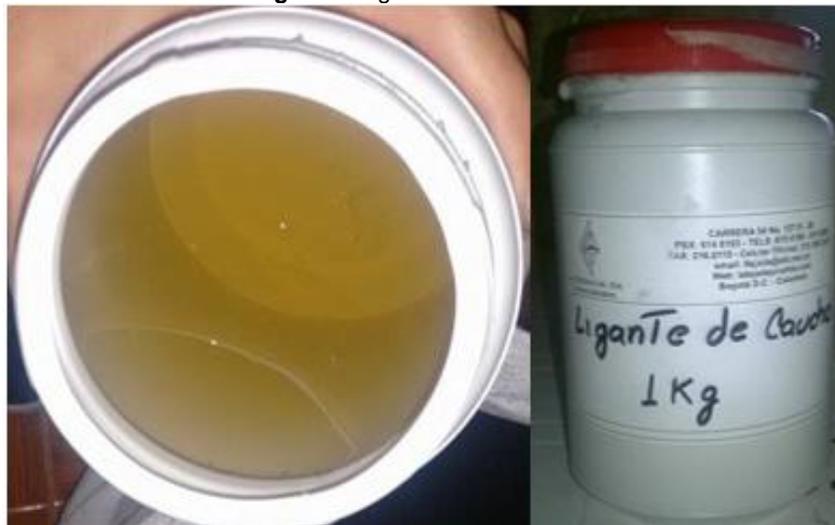
**Figura 1.** Caucho reciclado utilizado



[Autores]

El ligante que se escogió para realizar las pruebas es el ligante de caucho UV, debido a sus propiedades de aplicación y de secado. En la siguiente figura se puede apreciar la apariencia del ligante UV.

**Figura 2.** Ligante de caucho UV



[Autores]

La ficha técnica del ligante recomienda para tener una mezcla homogénea es necesario añadir el 10% del peso del caucho en ligante y bajo esta recomendación se hicieron las pruebas. Las pruebas realizadas se ejecutaron utilizando tres moldes diferentes:

- Molde 1: Las primeras pruebas fueron realizadas utilizando un molde de aluminio el cual es comúnmente utilizado para hornear alimentos. En la siguiente figura se puede observar el molde 1.

Figura 3. Molde 1



[Autores]

Este molde tuvo una excelente respuesta cuando a la mezcla vertida no se le aplicaba ningún tipo de presión para ser compactada, pero al momento que se decidió realizar pruebas de compactación a la mezcla, el molde se deformaba debido a la presión que la mezcla le ejercía a sus paredes laterales internas, concluyendo que para estas pruebas era necesario implementar un molde de un material más resistente.

- Molde 2: Al observar el inconveniente del molde 1, se decidió utilizar un molde de aluminio más resistente que soportará la presión que ejercida a la mezcla, el molde tiene unas medidas de 7x14x14 cm (altura, ancho y profundidad). En la siguiente figura se ilustra el molde implementado.

**Figura 4. Molde 2**



[Autores]

El resultado obtenido con este molde fue muy bueno, este soporto la presión que se le ejerció a la mezcla sin que se deformara y siempre mantuvo su forma original, pero al igual que el primer molde surgió un inconveniente, el problema de este molde fue a la hora de sacar el ladrillo fabricado, ya que por su diseño resulto muy difícil lograr esta tarea por lo que se concluyó que se debía utilizar otro molde que facilitara tal operación.

- Molde 3: Al observar los problemas que se presentaron con los moldes 1 y 2 se decidió fabricar un molde, que no tuviera estos problemas, para esto se hace un molde de madera, con una base removible para facilitar la extracción del producto seco, el molde tiene unas medidas de 6x6.5x13 cm, estas medidas corresponden a la mitad de la altura, ancho y profundidad de un ladrillo convencional, además de un yunque en el cual se hacia la fuerza de compactación. En las siguientes imágenes se pueden observar el molde 3 fabricado y el yunque.

**Figura 5. Molde 3**



[Autores]

**Figura 6. Yunque del molde 3**



[Autores]

Este molde tuvo muy buenos resultados, no se deformaba al aplicarle grandes fuerzas, además, debido a que la base de este es removible fue fácil la extracción del producto final.

- Molde 4: Tras evidenciar los buenos resultados obtenidos con el molde 3, se procede a fabricar un molde a escala 1 a 1 de la mitad de un ladrillo, las medidas del molde son: 14x 12x13 cm (alto, ancho y profundidad), de tal manera que al compactar la mezcla quedara de las medidas de la mitad de un ladrillo convencional (6x12x26 cm), En las siguientes figuras se pueden observar el molde 4 y su respectivo yunque.

**Figura 7. Molde 4**



[Autores]

**Figura 8. Yunque del molde 4**



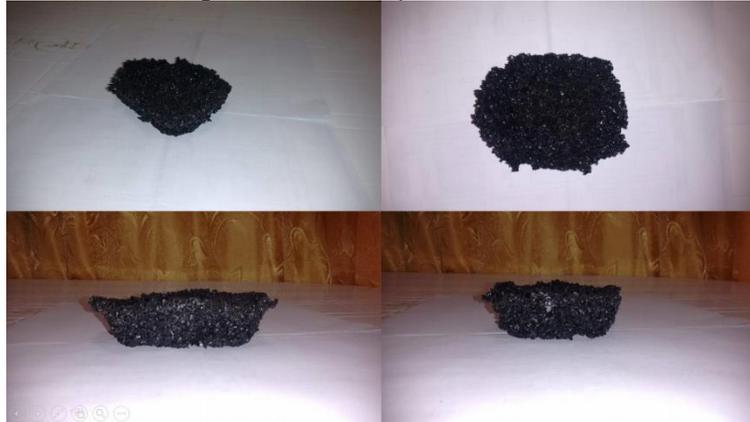
[Autores]

Las pruebas realizadas a la mezcla de granza de caucho y ligante fue de la siguiente forma: se variaban las presiones ejercidas cambiando de masas para la compactación y el tiempo en que se mantuvo dicha presión. Para realizar estas pruebas se utilizaron elementos que se tenían a la mano en dicho momento.

- Prueba 1: Esta prueba se realizó con una mezcla de 250 g de caucho y 25 g de ligante, sin presión y secado a temperatura ambiente. Los resultados obtenidos con esta prueba fueron medianamente satisfactorios, la mezcla adoptó la forma del molde, pero, la fijación de la mezcla no fue la deseada, debido a que el producto final es muy poroso, flexible y al aplicarle una

fricción con una superficie plana se desprendía el caucho. El tiempo de secado fue de 3 horas. En la siguiente figura se puede observar el producto obtenido en esta prueba.

**Figura 9.** Resultado prueba 1



[Autores]

- Prueba 2: En esta prueba se utilizó 250 g de caucho y 25 g de ligante, compactándolo con una masa equivalente a 1 kg y manteniéndola durante todo el proceso de secado. Los resultados de esta prueba fueron muy similares a la prueba uno, el producto fue un poco más compacto, igual de flexible y se desprende de igual forma, en pocas palabras las propiedades mecánicas no variaron mucho con respecto a la prueba uno, sin embargo el tiempo de secado si cambio, ya que este fue de 6 horas.
- Prueba 3: Se utilizó 250 g y 25 g de caucho y ligante respectivamente, además se compacto con una masa de 10 kg dejándola en todo el proceso de secado. Los resultados de esta prueba fueron mejor que las pruebas anteriores, el producto compacto 1 cm pero siguió con los problemas de flexibilidad y se seguía desprendiendo cuando se le aplicaba una fricción sobre alguna superficie plana, el tiempo de secado de esta prueba fue de 6 h. En la siguiente figura se puede apreciar los resultados de esta prueba.

**Figura 10.** Resultado de la prueba 3



[Autores]

- Prueba 4: Se utilizó la misma cantidad de caucho y ligante que la prueba 2 y 3, se compactó con una masa de 60 kg durante 1 minuto y se dejó secar a temperatura ambiente. La mezcla se compactó alrededor de 2 cm, pero el material era flexible y se desprendía fácil, el tiempo de secado 4 h. En la siguiente figura se puede observar el resultado obtenido en la prueba número 4.

**Figura 11.** Resultados de la prueba 4



[Autores]

- Prueba 5: se utilizó 150 g de caucho y 15 g de ligante, compactándolo con una masa equivalente a 12 kg y manteniéndola durante todo el proceso de secado. El producto aún seguía teniendo problemas con la fijación del material, aunque sus propiedades mecánicas mejoraron en comparación de las pruebas anteriores, el tiempo de secado fue de 6 horas. En las siguientes

figuras se pueden observar el producto obtenido en esta prueba y su proceso de compactación.

**Figura 12.** Proceso de compactación con una masa equivalente a 12 Kg



[Autores]

**Figura 13.** Resultados prueba 5



[Autores]

- Prueba 6: Se utilizó 150 g de caucho y 15 g de ligante, se le aplicó una fuerza con un gato mecánico hasta observar que la mezcla no compactaba más. Los resultados obtenidos fueron excelentes, ya que se pudo observar que el producto final fue muy compacto, además no presentaba problemas de desprendimiento de caucho, y al aplicarle una fuerza de deflexión este soportaba sin que se produjera una ruptura del material, el tiempo de secado fue de 12 h. En las siguientes figuras se pueden observar los resultados de esta prueba y el proceso de compactación.

**Figura 14.** Prueba de compactación con gato mecánico.



[Autores]

**Figura 15.** Resultados prueba 6



[Autores]

- Prueba 7: Se utilizó 150 g de caucho y 7.5 g de ligante, se le aplicó una fuerza con un gato mecánico hasta observar que la mezcla no compactaba más. En esta prueba se quiso observar el comportamiento del producto final cuando es sometido a la mitad del ligante recomendado por el fabricante y los resultados fueron los siguientes: La mezcla fue homogénea y no presentaba desprendimiento del material, sin embargo el producto se notó un poco poroso en comparación de la prueba anterior además se pudo observar que su flexibilidad aumento un poco, el tiempo de secado fue de 12 h. En las

siguientes figuras se pueden observar los resultados de esta prueba 7 y el proceso de compactación.

**Figura 16.** Proceso de compactación de la prueba 7



[Autores]

**Figura 17.** Resultados de la prueba 7



[Autores]

- Prueba 8: En esta prueba se quiso experimentar con un nuevo tipo de aglomerante, esto con el fin de abaratar costos y comparar los resultados obtenidos con las demás pruebas. La solución utilizada fue el cemento líquido de contacto (más conocido en el mercado genérico como bóxer). En la siguiente ilustración se puede apreciar los resultados obtenidos en esta prueba.

**Figura 18.** Resultados de la prueba 8



[Autores]

Como se puede observar en la figura anterior el resultado no fue el mejor comparado con las demás pruebas. El bloque de caucho es muy poroso, con muy poca fijación de caucho y se desprende fácilmente, además de esto se deforma al aplicarle una fuerza.

En las pruebas 1, 2, 3 y 4 se utilizó el molde 1, en la prueba número 5 se implementó el molde 2, debido a los problemas presentados este fue remplazado por el molde 3, con el cual se realizaron las pruebas 6, 7 y 8. Debido al buen comportamiento del molde se decide tomar este como basa para fabricar el molde a escala 1 a 1 pero teniendo en cuenta que debido a la compactación de algunas pruebas sus medidas finales cambiaron como en las pruebas 6 y 7 que se observó que el producto final se compacto la mitad del volumen inicial, además la prueba 7 fue en la que mejor resultados arrojó por lo que esta se eligió como modelo para realizar una última prueba a escala 1 a 1 de la mitad de un ladrillo convencional.

- Prueba 9: En esta prueba se trabajó con el molde 4. Se utilizaron 1180 g de caucho y 118 g de ligante, se aplicó una fuerza con un gato mecánico hasta observar que la mezcla no compactaba más, los resultados fueron muy similares a la prueba 6, el producto final es muy compacto, no es flexible y no presenta desprendimiento del material, además se pudo evidenciar que soporta un gran peso sin que se deforme, el tiempo de secado fue de 12 h. Además de esto el producto final presento una disminución del peso de 35 g un equivalente al 2,69 %. Un ladrillo de caucho reciclado es un poco más ligero que un ladrillo convencional, debido a que medio ladrillo convencional tiene un peso de 1447 g (aproximadamente), por lo tanto un ladrillo tiene un

peso de 2894 g y un ladrillo de caucho reciclado tiene un peso de 2526 g dando como diferencia 368 g por ladrillo. En las siguientes figuras se pueden apreciar los resultados obtenidos en esta prueba, además del proceso de compactación con el gato mecánico.

**Figura 19.** Proceso de compactación con el gato mecánico.



[Autores]

**Figura 20.** Resultados prueba 9



[Autores]

En la siguiente tabla se puede apreciar una comparación entre las diferentes pruebas realizadas.

**Tabla 5.** Comparación de datos entre las diferentes pruebas

	Cantidad de caucho (g)	Cantidad de ligante (g)	Fuerza aplicada (N)	Duración de fuerza	Compactación	Flexibilidad	¿Desprendimiento caucho?	Tiempo de secado
Prueba 1	250	25	Ninguna	Hasta secar	Baja	Alta	Alto	3 h
Prueba 2	150	15	9.8	Hasta secar	Baja	Alta	Alto	6 h
Prueba 3	150	15	98	Hasta secar	Baja	Alta	Alto	6 h
Prueba 4	150	15	588	1 minuto	Baja	Alta	Alto	4 h
Prueba 5	150	15	117.6	Hasta secar	Baja	Alta	Alto	6 h
Prueba 6	150	15	Desconocida	Hasta secar	Alta	Baja	Bajo	12 h
Prueba 7	150	7.5	Desconocida	Hasta secar	Media	Media	Medio	12 h
Prueba 8	150	15 (boxer)	Desconocida	Hasta secar	Baja	Alta	Alto	12 h
Prueba 9	1180	118	Desconocida	Hasta secar	Alta	Alta	Bajo	12 h

[Autores]

Luego de tener todos los resultados se pasó a realizar una prueba de fijación del producto al cemento, para así determinar que este producto puede utilizarse para la construcción como sustitución a un ladrillo convencional. El procedimiento que se realizó fue el siguiente: Primero se realizó la mezcla de cemento con arena y agua y seguidamente se le aplicó a tres ladrillos de caucho, obteniendo como resultado una fijación óptima. En la siguiente figura se puede observar los resultados de fijación obtenidos en esta prueba.

**Figura 21.** Resultados de la prueba de fijación al cemento



[Autores]

### 3. DISEÑO DE LA MAQUINA

Mientras se realizaba las pruebas de investigación y toma de datos, se observaron distintos factores que aportaron información muy importante para el desarrollo del diseño de la máquina. Los factores observados durante las pruebas fueron los siguientes:

- Se pudo observar y experimentar que el caucho triturado tiene una excelente fluidez concluyendo que al ser vertido en un recipiente cerrado no es necesario de algún agente externo para que este fluya sin ningún problema, en la siguiente imagen se puede observar la fluidez del caucho triturado.

Figura 22. Prueba de fluidez del caucho triturado



[Autores]

- Al igual que el caucho, el ligante también tiene una buena fluidez, debido a que se comporta como un fluido newtoniano <sup>(7)</sup>, es decir tiene una fluidez constante en condiciones normales.
- Se observó que al realizar la mezcla de granza de caucho con el aglomerante esta no tenía buena fluidez, concluyendo que a la hora de ser vertida esta mezcla en los moldes se necesitaría de la ayuda de un agente externo para poder realizar la operación.
- Se pudo experimentar que la fuerza aplicada para compactar la mezcla se debe mantener durante el tiempo de secado para tener una excelente compactación del material.
- Para obtener el volumen final con las propiedades mecánicas deseadas, se debe verter el doble del volumen de la mezcla.

Estos comportamientos sirvieron como referencia para la realizar el diseño de cada una de las partes que compone la máquina.

### 3.1 DISEÑO DE LOS TANQUES DE ALMACENAMIENTO Y MEZCLADO

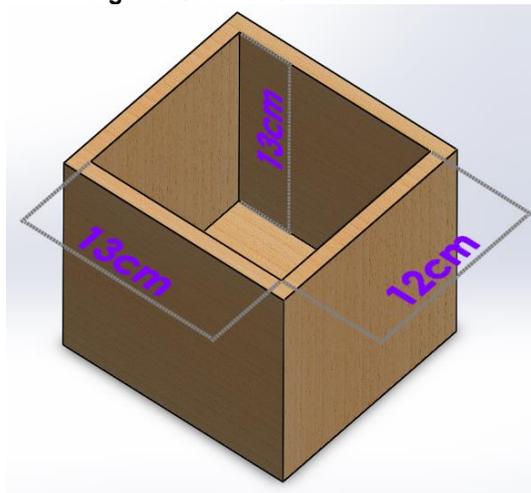
Como se ha mencionado anteriormente, para la fabricación de los adoquines de caucho procesado es necesario añadirle un ligante por esto, cada elemento debe tener su respectivo tanque de almacenamiento para posteriormente ser vertidos en un tanque de mezclado. Una de las condiciones con las que se diseñó cada tanque fue la capacidad de 1000 Kg de caucho, por ende el tanque del ligante tiene que tener la capacidad de 100 Kg y el tanque de mezclado debe tener la capacidad de 1100 Kg, además para tener una buena evacuación del material se determina que estos tanques deben ser cilíndricos.

#### 3.1.1 TANQUE DE ALMACENAMIENTO DEL CAUCHO

El tanque de caucho debe tener una capacidad para almacenar 1000 Kg, para determinar las dimensiones que debe tener este se realizan los siguientes cálculos:

Para poder hallar las dimensiones del tanque primero se debe determinar la densidad del caucho, ya que este dato es desconocido, para esto se utilizaron los datos obtenidos en la prueba 9, utilizando las dimensiones del molde como se puede apreciar en la siguiente figura.

Figura 23. Dimensiones del molde.



[Autores]

Conociendo que la fórmula de densidad es:

$$\rho = \frac{m}{V} \quad \text{Ecuación 1}$$

Donde:

$m$ : Es masa

$V$ : Es volumen

La masa es conocida, puesto que se utilizó 1180 g de caucho y conociendo las medidas internas del molde (13x 12x13 cm) se procede hallar el volumen del molde.

$$V = A * L \quad \text{Ecuación 2}$$

Donde:

$A$  : Área de la base

$L$  : Altura

Reemplazando en la ecuación 2 se tiene:

$$V = 0,14m * 0,12m * 0,13m$$
$$V = 2,028 \times 10^{-3} m^3$$

Se reemplaza  $m$  y  $V$  en la ecuación 1.

$$\rho = \frac{1,18Kg}{2,028 \times 10^{-3} m^3}$$
$$\rho = 581,85 \frac{Kg}{m^3}$$

Una vez halla la densidad de la granza de caucho se procede hallar el volumen requerido del tanque despejando  $V$  de la ecuación 1, sabiendo que el tanque debe tener una capacidad de 1000Kg.

$$V = \frac{1000Kg}{581,85 \frac{Kg}{m^3}}$$

$$V = 1,718656011m^3$$

Conociendo el volumen requerido del tanque y dando una altura al tanque de 1,5m, se procede a hallar el área del cilindro del tanque, para esto se despeja el área (A) de la ecuación 2.

$$A = \frac{V}{L}$$

$$A = \frac{1,718656011m^3}{1,5m}$$

$$A = 1,1459m^2$$

Una vez hallada el área del cilindro se procede hallar el diámetro del mismo, despejando  $r$  (radio) de la ecuación 3.

$$A = \pi * r^2 \quad \text{Ecuación 3}$$

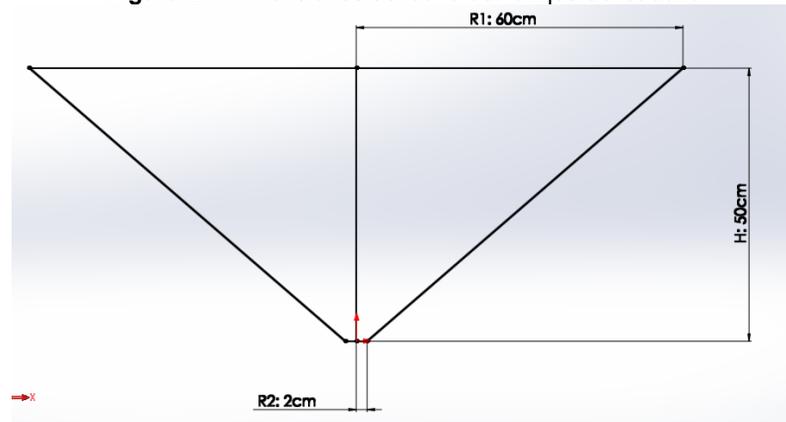
$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{1,1459m^2}{\pi}}$$

$$r = 0,6039 m$$

Se sabe que el diámetro de una circunferencia es dos veces su radio, entonces el diámetro del cilindro es 1,2078 m. La parte inferior del tanque es cónica como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 24.** Dimensiones del cono del tanque del caucho



[Autores]

Debido al volumen del cono, la altura del material confinado dentro del cilindro del tanque desciende, por lo tanto se procede hallar esta altura. Para hallar la altura que desciende el caucho es necesario conocer el volumen del cono, para esto se usa la ecuación 4.

$$V = \frac{1}{3} * \pi * h(R1^2 + R2^2 + R1 * R2) \quad \text{Ecuación 4}$$

$$V = \frac{1}{3} * \pi * 0,5 \text{ m}((0,60 \text{ m})^2 + (0,02 \text{ m})^2 + 0,6 \text{ m} * 0,02 \text{ m})$$

$$V = 0,1949\text{m}^3$$

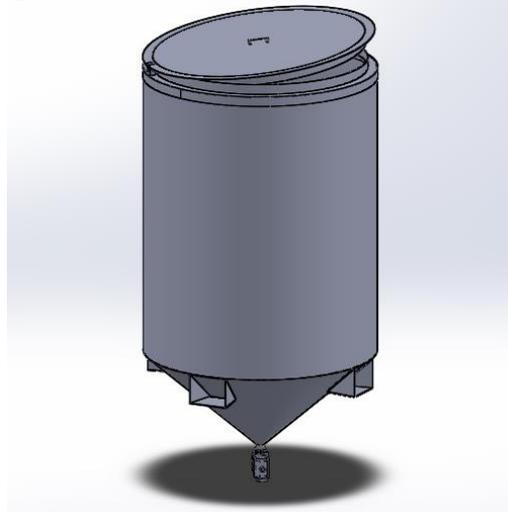
Ahora, despejando  $L$  de la ecuación 2 se conoce la altura que baja el caucho debido al volumen que ocupa en el cono.

$$L = \frac{0,1949\text{m}^3}{1,1459\text{m}^2}$$

$$L = 0,17016\text{m}$$

Por lo tanto el caucho baja 17,016 cm debido al volumen del cono. En la siguiente figura se puede observar el tanque completo del caucho.

**Figura 25.** Tanque de almacenamiento del Caucho



[Autores]

### 3.1.2 Tanque de almacenamiento del ligante

El tanque de almacenamiento para el aglomerante de caucho o ligante debe tener una capacidad de 100 Kg, para esto se procede a calcular las dimensiones de este, y asegurar que su capacidad sea la mencionada anteriormente.

Para calcular el volumen que debe tener el tanque cilíndrico debemos conocer la densidad del aglomerante, su densidad es de  $1050 \frac{Kg}{m^3}$  (la densidad del ligante es proporcionada por el fabricante en su ficha técnica), con este dato se procede a hallar el volumen despejando de la ecuación 1

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V = \frac{100 \text{ Kg}}{1050 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$
$$V = 0.09523 \text{ m}^3$$

Con este volumen y suponiendo una altura del tanque de 1 m se procede a hallar el área de este, utilizando la ecuación 2.

$$V = A * L$$

$$A = \frac{V}{L}$$

$$A = \frac{0.09523 \text{ m}^3}{1 \text{ m}}$$
$$A = 0.09523 \text{ m}^2$$

Una vez hallada el área del cilindro se procede hallar el diámetro del mismo, despejando  $r$  (radio) de la ecuación 3.

$$A = \pi * r^2$$

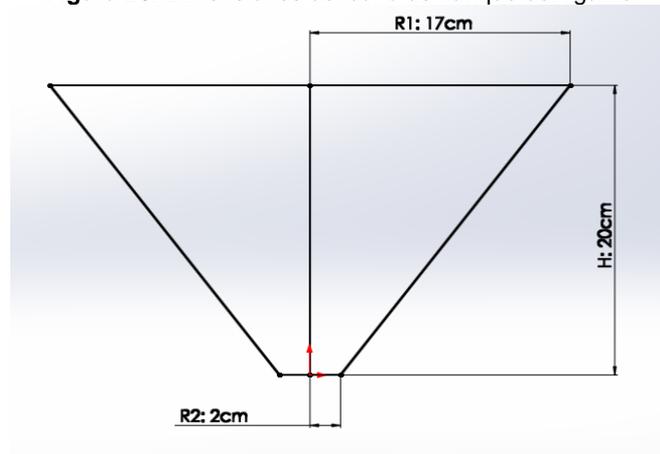
$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{0.09523 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$r = 0,1741 \text{ m}$$

Como se mencionó anteriormente, el diámetro de un cilindro o de una circunferencia es dos veces el radio, por lo tanto el diámetro del cilindro del tanque del ligante es de 0.3482 m para poder asegurar una capacidad de almacenamiento de 100 Kg. Igual que el tanque del caucho la parte inferior del tanque del ligante es cónica como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 26.** Dimensiones del cono del tanque del ligante



[Autores]

Debido al volumen del cono, la altura del material confinado dentro del cilindro del tanque desciende, por lo tanto se procede hallar esta altura. Para hallar la altura que desciende el caucho es necesario conocer el volumen del cono, para esto se usa la ecuación 4.

$$V = \frac{1}{3} * \pi * h(R1^2 + R2^2 + R1 * R2)$$

$$V = \frac{1}{3} * \pi * 0.20 \text{ m}((0,17 \text{ m})^2 + (0,02 \text{ m})^2 + 0,17 \text{ m} * 0,02 \text{ m})$$

$$V = 6.84 \times 10^{-3} \text{ m}^3$$

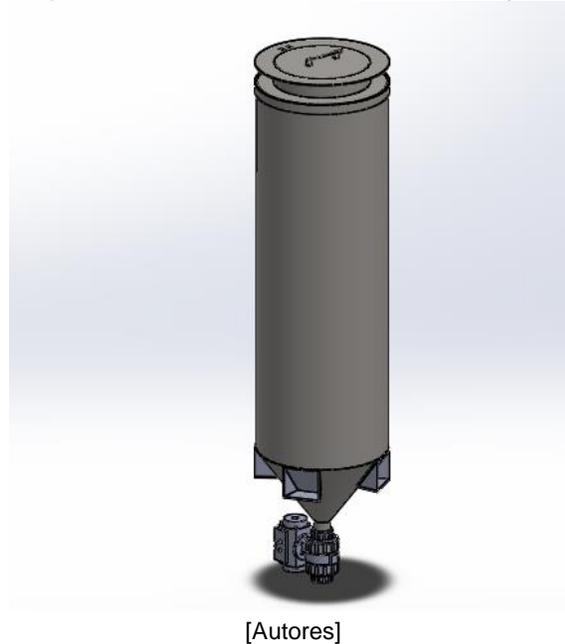
Ahora, despejando  $L$  de la ecuación 2 se conoce la altura que baja el ligante debido al volumen que ocupa en el cono.

$$L = \frac{6.84 \times 10^{-3} \text{ m}^3}{0.09523 \text{ m}^2}$$

$$L = 0.0719 \text{ m}$$

Por lo tanto el ligante baja 7,19 cm debido al volumen que ocupa en el cono. En la siguiente figura se puede observar el tanque completo del ligante.

**Figura 27.** Tanque de almacenamiento del Ligante



[Autores]

### 3.1.3 Tanque de mezclado

La mezcla entre el caucho y el aglomerante debe ser óptima y estar perfectamente homogenizada, para su posterior vertimiento a los moldes, para realizar. Para el diseño del tanque se toma la capacidad máxima de almacenamiento que sería 1000 Kg de caucho y 100 Kg de aglomerante lo que sería un total de 1100 Kg.

Se procede a realizar los mismos cálculos hechos anteriormente para calcular el volumen, el diámetro del tanque y la altura que desciende la mezcla por la influencia del cono. Para conocer la densidad de la mezcla caucho-ligante, se procede de la misma forma con que se ha hallado anteriormente.

Conociendo el volumen del molde, el cual es  $2,028 \times 10^{-3} \text{ m}^3$  y la masa de la mezcla caucho-ligante, 1,18 Kg de caucho y 0,118 Kg de ligante siendo un total 1,298 Kg, se halla la densidad de la mezcla con la ecuación 1.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$\rho = \frac{1,298 \text{ Kg}}{2,028 \times 10^{-3} \text{ m}^3}$$

$$\rho = 640,0395 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}$$

Luego de tener el volumen de la mezcla se procede a hallar el volumen necesario para el almacenamiento de 1100 Kg, de la ecuación 1 se despeja la variable volumen.

$$\rho = \frac{m}{V}$$

$$V = \frac{m}{\rho}$$

$$V_1 = \frac{1100 \text{ Kg}}{640,0395 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3}}$$

$$V_1 = 1,7186 \text{ m}^3$$

Este es el volumen que debe tener el cilindro para poder almacenar los 1100 Kg de mezcla, para realizar la mezcla es necesario utilizar un tornillo de Arquímedes o sin-fin este ocupa un espacio dentro del tanque, por lo cual se procede a hallar su volumen, este volumen se toma como si el tornillo fuera un solo cilindro.

De la ecuación 3 tenemos:

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * 0,2158^2$$

$$A = 0,1464 \text{ m}^2$$

Con la altura del tornillo que es de 1,5 m hallamos su volumen.

$$V = A * L$$

$$V_2 = 0,1464 \text{ m}^2 * 1,5 \text{ m}$$

$$V_2 = 0,2196 \text{ m}^3$$

Teniendo este valor hallamos el volumen total.

$$V_T = V_1 + V_2$$

$$V_T = 1,7186 \text{ m}^3 + 0,2196 \text{ m}^3$$

$$V_T = 1,9382 \text{ m}^3$$

Con este volumen total se procede a hallar el área que debe de tener el tanque cilíndrico tomando como altura 1,5 m, utilizando la ecuación 2.

$$V_T = A * L$$

$$A = \frac{V_T}{L}$$

$$A = \frac{1,9382 \text{ m}^3}{1,5 \text{ m}}$$

$$A = 1,2921 \text{ m}^2$$

Una vez hallada el área del cilindro se procede hallar el diámetro del mismo, despejando  $r$  (radio) de la ecuación 3.

$$A = \pi * r^2$$

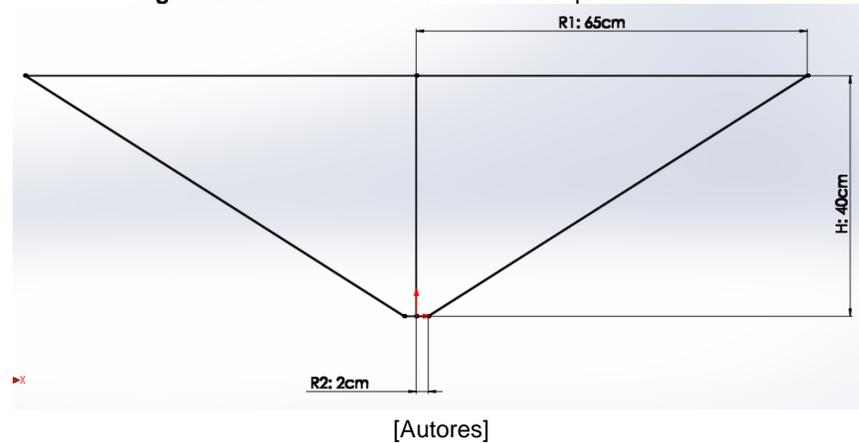
$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = \sqrt{\frac{1,2921 \text{ m}^2}{\pi}}$$

$$r = 0,64 \text{ m}$$

Este es el radio que debe tener el cilindro, su diámetro debe de ser de 1,28 m para tener la capacidad de almacenar 1100 Kg de mezcla caucho-ligante. Este tanque igual que los otros dos tiene su parte inferior cónica como lo indica la siguiente figura.

Figura 28. Dimensiones del cono del tanque de mezclado



Para conocer el volumen del cono se utiliza la ecuación 4.

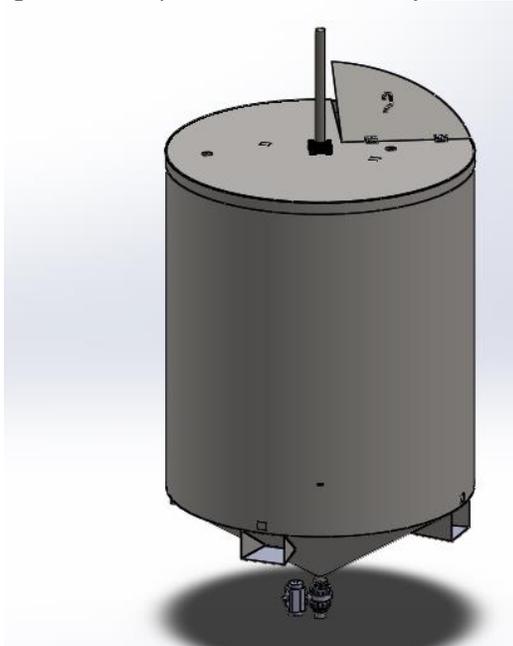
$$V = \frac{1}{3} * \pi * h(R1^2 + R2^2 + R1 * R2)$$
$$V = \frac{1}{3} * \pi * 0.40 m((0,65 m)^2 + (0,02 m)^2 + 0,65 m * 0,02 m)$$
$$V = 0.1808m^3$$

Ahora, despejando  $L$  de la ecuación 2 se conoce la altura que baja la mezcla debido al volumen que ocupa en el cono.

$$L = \frac{0,1808 m^3}{1,2921 m^2}$$
$$L = 0,14 m$$

Por lo tanto el ligante baja 14 cm debido al volumen que ocupa en el cono. En la siguiente figura se puede observar el tanque completo de mezclado.

**Figura 29.** Tanque de almacenamiento y mezclado

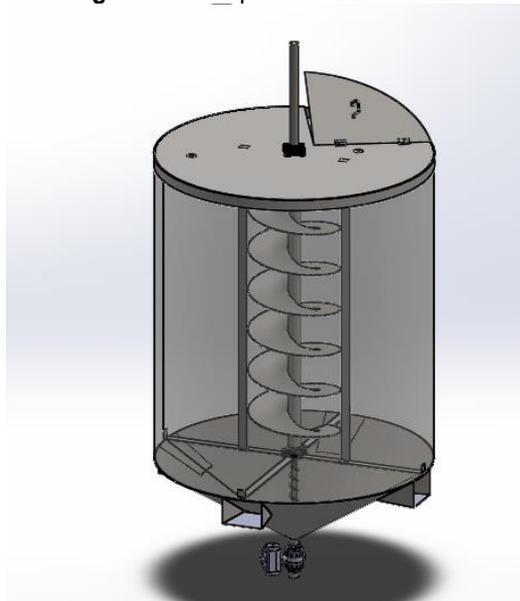


[Autores]

### **3.1.3.1 Cálculo del motor para el sistema de mezclado**

Como se mencionó anteriormente el tanque de mezclado cuenta con un tornillo sin-fin para realizar el proceso de mezclar y homogenizar la composición caucholigante, como se muestra en la siguiente figura.

**Figura 30.** Tanque con tornillo sin-fin



[Autores]

Para ejecutar la operación de mezclado es necesario utilizar un motorreductor, para esto es necesario conocer la potencia del motor a utilizar y el par-motor, para esto se realizan los siguientes cálculos.

Como se mencionó anteriormente el tanque tiene una capacidad de 1100 Kg, por lo tanto el motor debe mover esta peso sin ningún problema, además el motor debe ser capaz de mover también el tornillo sin fin que tiene un peso de 56,476 Kg (Este peso es tomado del software *solidworks*), por lo tanto el motorreductor debe ser capaz de mover un peso total de 1387,7712 Kg. Para garantizar que el motor trabaje en óptimas condiciones aun cando este trabajando con el máximo peso es necesario multiplicar la capacidad máxima por un factor de seguridad (1,15).

$$m_T = 1387,7712 \text{ Kg} * 1,15$$

$$m_T = 1595.93 \text{ Kg}$$

Se debe determinar la velocidad de rotación del motorreductor, para este caso se decide trabajar con una velocidad de 30 RPM. Para hallar la velocidad del eje es necesario convertir las revoluciones por minuto del motor a velocidad angular, para realizar esta conversión de utiliza la ecuación 5.

$$\omega = RPM * \frac{2\pi}{60} \quad \text{Ecuación 5}$$

$$\omega = 30 \text{ RPM} * \frac{2\pi}{60} = 3,1415 \frac{\text{Rad}}{\text{s}}$$

Se procede a hallar la velocidad del eje utilizando la ecuación 6, que es el producto de la velocidad del motor y el radio del eje.

$$V_{eje} = \omega * R_{eje} \quad \text{Ecuación 6}$$

$$V_{eje} = 3,1415 \frac{\text{Rad}}{\text{s}} * 0,0285 \text{ m}$$

$$V_{eje} = 0,08953 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

Al tener este dato se halla la carga con la ecuación 7.

$$C_{carga} = G * \frac{d}{2} \quad \text{Ecuación 7}$$

Donde:

$G$ : Peso

$d$ : Diámetro del tornillo

Se halla el peso con la ecuación 8.

$$G = m * g \quad \text{Ecuación 8}$$

Donde:

$m$ : Masa total

$g$ : Aceleración gravitacional

$$G = 1595,93 \text{ Kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$G = 15640,18 \text{ N}$$

Reemplazando  $G$  en la ecuación 7 se tiene:

$$C_{carga} = 15640,18 \text{ N} * \frac{0,4317 \text{ m}}{2}$$

$$C_{carga} = 3375,933 \text{ Nm}$$

Una vez hallada la carga se procede hallar el par motor necesario para mover dicha carga, para hallar este par se utilizar la ecuación 9.

$$C_{motor} = \frac{C_{carga}}{\eta_m * z} \quad \text{Ecuación 9}$$

Donde:

$\eta_m$ : Eficiencia del motor

$z$ : Relación de transmisión

El acople del motor al tornillo de Arquímedes es directo por lo tanto no cuenta con ningún elemento de transmisión como poleas, cadenas o piñones, así que  $z$  es igual a 1 y  $\eta_m$  se toma como 0,8. Reemplazando los datos en la ecuación 9 se tiene:

$$C_{motor} = \frac{3375,933}{0,95 * 1}$$

$$C_{motor} = 3553,61 \text{ Nm}$$

Una vez hallado la carga del motor se procede hallar el momento de inercia referido al eje del motor, teniendo en cuenta que no se tienen acoples de transmisión de potencia, se utiliza la siguiente ecuación.

$$J = \frac{m * v^2}{\omega^2} \quad \text{Ecuación 10}$$

Donde:

$m$ : es la masa total

$v$ : Velocidad lineal del eje

$\omega$ : Velocidad angular del motor

La velocidad del motor asíncrono con el que se decide trabajar es de 1750 RPM, para poder aplicar la ecuación 10 esta velocidad debe estar en  $Rad/s$ , para esto se aplica la ecuación 5.

$$\omega_m = 1750 \text{ RPM} * \frac{2\pi}{60}$$

$$\omega_m = 183,25 \text{ Rad/s}$$

Reemplazando en la ecuación 10 se tiene:

$$J = \frac{1595,93 \text{ Kg} * (0,08953 \frac{\text{m}}{\text{s}})^2}{(183,25 \text{ Rad/s})^2}$$

$$J = 3,80 \times 10^{-4} \text{ Kgm}^2$$

Se procede a hallar el momento de aceleración con la siguiente ecuación:

$$C_{aceleracion} = J * \frac{\omega_m}{t} \quad \text{Ecuación 11}$$

Donde:

$J$ : Momento de inercia

$\omega_m$ : Velocidad angular motor asíncrono

$t$ : Tiempo subida tornillo sin-fin

$$C_{aceleracion} = 3,80 \times 10^{-4} \text{ Kgm}^2 * \frac{183,25 \text{ Rad/s}}{3,75 \text{ s}}$$

$$C_{aceleracion} = 0,018 \text{ Nm}$$

Conociendo  $C_{aceleracion}$ , y  $C_{motor}$  se halla la carga total sumando estas, dando como resultado 3553,62 Nm, este dato equivale al par de salida que debe tener el motorreductor a escoger para esta aplicación: A continuación se halla la potencia del motor con la siguiente ecuación.

$$P_m = C_{total} * \omega \quad \text{Ecuación 12}$$

Donde:

$C_{total}$ : Carga total

$\omega$ : Velocidad angular del motorreductor

Reemplazando en la ecuación 12 se tiene:

$$P_m = 3553,62 \text{ Nm} * 3,1416 \text{ Rad/s}$$

$$P_m = 11164,01 \text{ W}$$

Esta potencia es equivalente a 14,9 Hp, una vez hallado esto se procede hallar un motor con las siguientes características:

Velocidad de salida: 30 RPM  
Par motor salida: 3553,62 Nm  
Potencia motor: 14,9 Hp

El motorreductor que cumple con estas condiciones es un motorreductor de ejes paralelos *Siemens 2KJ1307 – HT13 – T1*, en la siguiente imagen se muestra el motorreductor a utilizar, las especificaciones técnicas (ficha técnicas) se encuentran en el anexo C Catalogo Motorreductores 2 pagina 296.

**Figura 31.** Motor de ejes paralelos <sup>(9)</sup>.



#### **3.1.4 Tiempo de vaciado de tanques.**

Los tanques de caucho y ligante no tienen un sistema que les facilite su evacuación cuando el material se va a transportar hacia el tanque de mezclado, esto es debido a su buena fluidez, lo que ya se ha mencionado anteriormente. Para controlar el vertimiento de cada material al tanque de mezclado se utiliza una válvula de bola neumática de diámetro 4 cm.

##### **3.1.4.1 Válvula de bola neumática.**

Una válvula de bola es un actuador usada para el control de flujo de líquidos en posición completamente abierta, su funcionamiento es el siguiente: La bola interna es controlada por un actuador neumático giratorio, el cual esta comandado por una válvula de control de 5 vías y 2 posiciones monoestable que será la encargada de controlar los 2 estados de la válvula de bola. La válvula utilizada es una válvula de bola Cepex de referencia CH050, la cual se muestra en la siguiente figura.

**Figura 32.** Válvula de bola Cepex <sup>(10)</sup>



Las características de esta válvula son las siguientes:

- Temperatura de trabajo de -20°C a 95°C
- Mono de accionamiento neumático
- Presión de trabajo máxima es de 6 bar y la mínima de 1 bar
- Diámetro nominal 40 mm

Para más información ver el anexo B Cepex - Pneumatic Actuation página 14.

### **3.1.4.2 Calculo de tiempo de Vaciado tanque de caucho.**

Con la cantidad de caucho almacenado en el tanque se procede a hallar el tiempo de vaciado de este. Con la altura que varía a medida que se va desocupando, este caudal se define como la variación de volumen a través del tiempo, como se muestra en la siguiente ecuación.

$$Q = \frac{dv}{dt} \quad \text{Ecuación 13}$$

$$dQ = \frac{Adh}{dt}$$

Donde:

*A*: Área del tanque.

*dh*: Diferencial de altura

El caudal también es definido como el producto de la velocidad con respecto al área como se indica en la siguiente ecuación.

$$Q = v * A_0 \quad \text{Ecuación 14}$$

Donde:

$v$ : Velocidad

$A_0$ : Área del orificio de salida

La velocidad se puede calcular con la siguiente ecuación.

$$v = \sqrt{2gh} \quad \text{Ecuación 15}$$

Donde:

$g$ : Aceleración gravitacional

$h$ : Diferencial de altura ( $h$  inicial y  $h$  final)

Se calcula el área del orificio utilizando la ecuación 3.

$$A = \pi * (0,02 \text{ m})^2$$

$$A = 1,25 \times 10^{-3} \text{ m}^2$$

Se igualan las ecuaciones de caudal y se halla el tiempo de vaciado.

$$\frac{A * dh}{dt} = A_0 * \sqrt{2gh}$$

$$dt = \frac{A * dh}{A_0 * \sqrt{2gh}}$$

$$\int dt = \int_{hi}^{hf} \frac{A * dh}{A_0 * \sqrt{2gh}}$$

$$t = \int_{hi}^{hf} \frac{A * dh}{A_0 * \sqrt{2gh}}$$

Se resuelve la integral de la siguiente manera:

$$u = 2gh$$

$$du = 2gdh$$

$$dh = \frac{du}{2g}$$

$$t = \frac{A}{A_0} \int_{hi}^{hj} \frac{du}{2g\sqrt{u}}$$

$$t = \frac{A}{A_0 2g} \int_{hi}^{hj} u^{-1/2} du$$

$$t = \frac{A}{A_0 2g} (\sqrt{2ghf} - \sqrt{2ghi})$$

Donde  $hi$  y  $hf$  son la altura inicial y final respectivamente del área constante del tanque. Reemplazando en la ecuación se tiene:

$$t = \frac{0.09523 \text{ m}^2}{1,25 \times 10^{-3} \text{ m}^2 * 2 * 9,8 \text{ m/s}^2} (\sqrt{2 * 9,8 \text{ m/s}^2 * 2\text{m}} - \sqrt{2 * 9,8 \text{ m/s}^2 * 0,5\text{m}})$$

$$t = 146.4177312 \text{ s} = 2,440 \text{ min}$$

Si se dejara la válvula de bola abierta se demoraría el tanque en vaciarse totalmente 2,44 minutos

### 3.1.4.3 Calculo de tiempo de Vaciado tanque de ligante.

Debido a que el tanque del ligante es muy similar al tanque del caucho se realizan los mismos cálculos para hallar el tiempo de vaciado.

$$t = \frac{0.09523 \text{ m}^2}{1,25 \times 10^{-3} \text{ m}^2 * 2 * 9,8 \text{ m/s}^2} (\sqrt{2 * 9,8 \text{ m/s}^2 * 1,2\text{m}} - \sqrt{2 * 9,8 \text{ m/s}^2 * 0,2\text{m}})$$

$$t = 11,1549051\text{s}$$

Por lo tanto el tanque del ligante tiene un tiempo de vaciado de 11 segundos aproximadamente.

## 3.2 ESTRUCTURA DE TANQUES Y MOTOR DE MEZCLADO

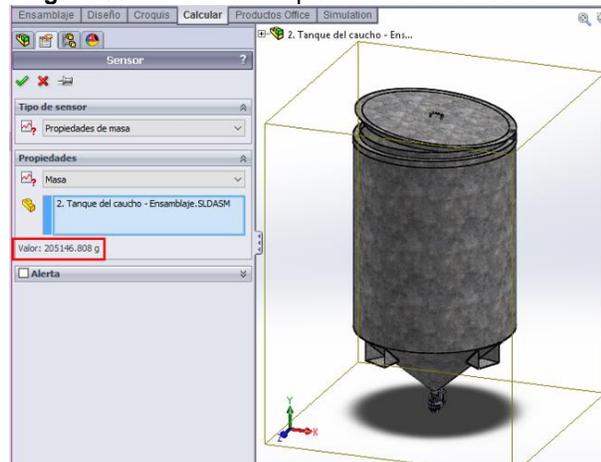
El caucho y el ligante llegan al tanque del mezclado con ayuda de la fuerza gravitacional, por esta razón los tanques de caucho y ligante deben estar por encima del tanque de mezclado, por este motivo debe existir una estructura que soporte y mantengan fijo los tanques, además del motor de mezclado.

### 3.2.1 Estructura de tanque de caucho, ligante y motor de mezclado

La estructura debe ser capaz de soportar el peso de los tanques cuando estos estén llenos, además del peso del motor de mezclado, para esto es necesario conocer el peso de cada elemento, para saber el peso total que debe soportar la estructura.

A continuación en la figura 33 se puede observar el tanque del caucho con su respectivo peso cuando este se encuentra sin materia prima, este es hallado utilizando la herramienta sensor de peso del software *Solidworks*. El material con el que está diseñado es acero galvanizado, se escogió este material debido a sus excelentes propiedades mecánicas.

**Figura 33.** Peso total tanque de caucho en *Solidworks*

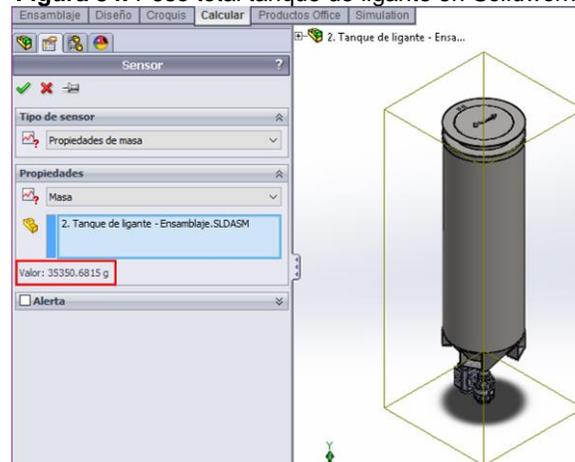


[Autores]

Como se pudo observar el peso del tanque vacío es de 205,14 Kg, por lo tanto el peso total de este tanto con la capacidad máxima de almacenamiento de 1 tonelada de caucho es de 1.205,14 Kg.

Se realiza la misma operación para determinar el peso del tanque del ligante, teniendo en cuenta que el material de diseño de este tanque es acero AISI 304, el cual es un acero inoxidable.

**Figura 34.** Peso total tanque de ligante en *Solidworks*



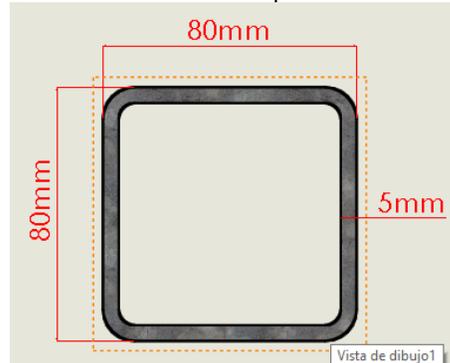
[Autores]

El peso total del tanque de ligante a capacidad máxima es de 135,350 Kg.

Según la ficha técnica del motorreductor *siemens* este tiene un peso de 333 Kg, así que la estructura debe ser capaz de soportar un peso 1.718,89 Kg.

La estructura diseñada se realizó con un perfil estructural de acero galvanizado cuadrado de 80 x 80 mm y un espesor de 5 mm, en la siguiente imagen se puede observar la sección transversal del perfil estructural utilizado.

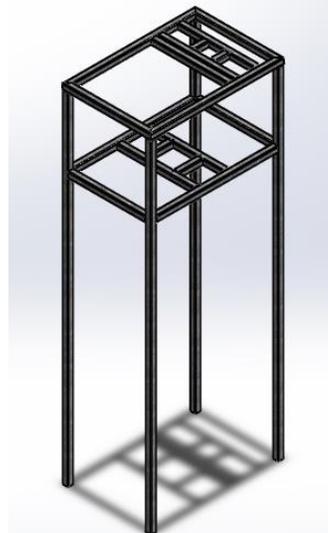
**Figura 35.** Vista transversal del perfil estructural utilizado



[Autores]

En la siguiente figura se puede observar la estructura de los tanques de caucho, ligante y motor de mezclado hecha en *Solidworks*.

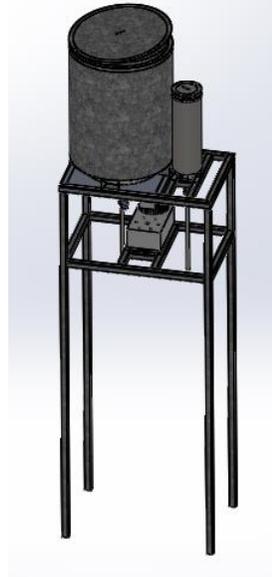
**Figura 36.** Estructura del tanque de caucho, ligante y motor de mezclado hecha en *Solidworks*



[Autores]

El peso que debe soportar el tanque está distribuido, ya que estos tres elementos van ubicados estratégicamente para lograr una buena fluidez de la materia prima. En la siguiente figura se puede observar la estructura junto con los elementos ubicados en su respectivo lugar.

**Figura 37.** Ensamble completo



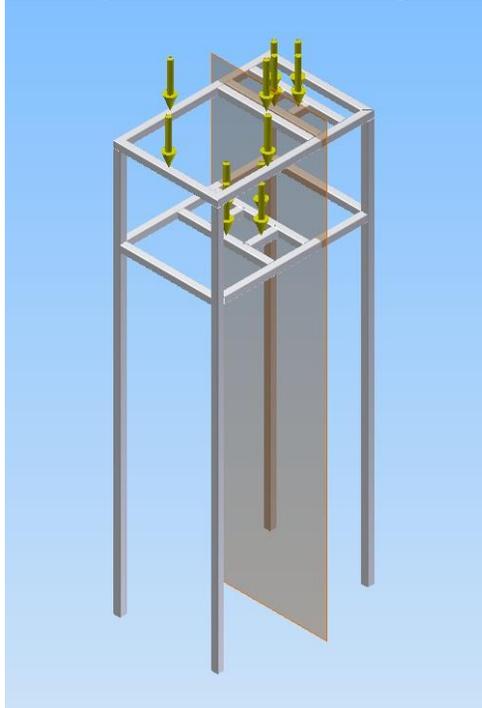
[Autores]

### **3.2.1.1 Análisis estructural**

Una vez diseñado la estructura que soportara los tanques de caucho, ligante y el motor de mezclado, se procede a realizar un análisis a dicha estructura para así determinar que esta es capaz de soportar la carga de trabajo. Para realizar este estudio se exporto el archivo de la estructura en formato Step de *Soliworks* a *Autodesk Inventor*, ya que este software es más amigable para este tipo de análisis, para esto se tuvo en cuenta las cargas de cada elemento (tanques y motor) teniendo en cuenta un factor de seguridad de 1.2, por lo tanto la estructura deberá ser capaz de soportar una carga total de 2062.66 Kg, cabe aclarar que esta carga no es en un solo punto, sino que está distribuida según los puntos de anclaje de cada elemento como se muestra en la figura 37, por lo tanto se tuvo en cuenta el factor de seguridad en cada punto y su respectiva distribución de puntos de contacto de cada elemento con la estructura (4 puntos de anclaje en cada elemento), además de la fuerza gravitacional que afecta a todo elemento.

El primer paso para realizar este análisis fue distribuir las cargas uniformemente (como se mencionó anteriormente) como se muestra en la siguiente imagen.

**Figura 38.** Distribución de carga

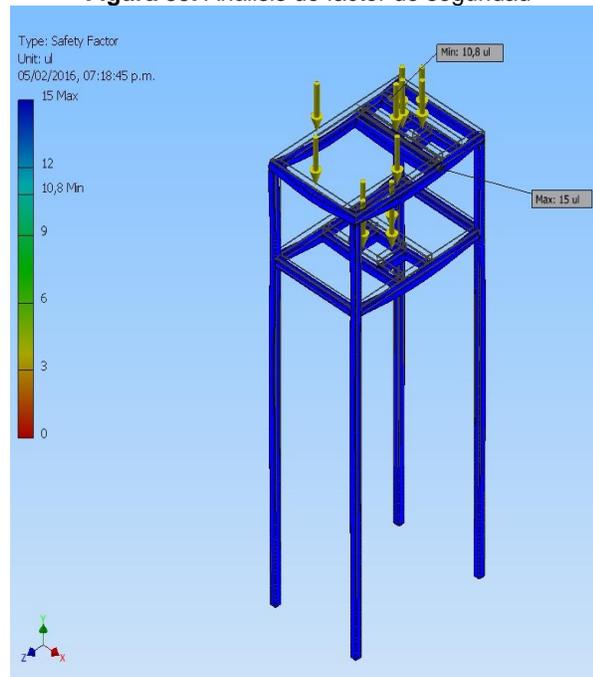


[Autores]

Luego de distribuir las cargas se procede a realizar la simulación del estudio de carga arrojando los siguientes resultados.

Para una carga total de 2062.6 Kg se obtuvieron los siguientes resultados:

**Figura 39.** Análisis de factor de seguridad



[Autores]

**Figura 40.** Análisis de desplazamiento



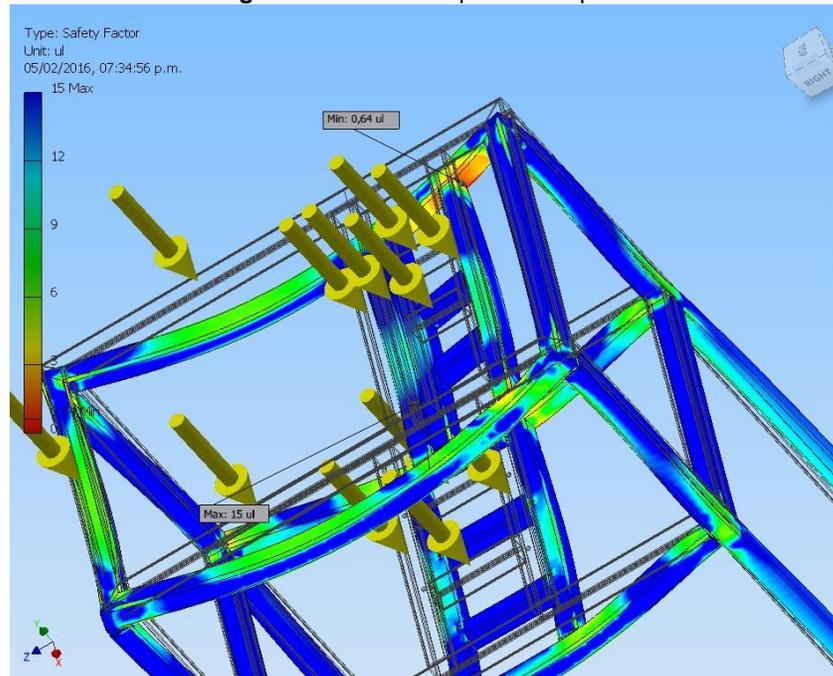
[Autores]

Como se puede observar en las figuras anteriores, la estructura tiene un factor de seguridad mínimo de 10.8 y máximo de 15 lo que quiere decir que es capaz de

soportar cargas hasta de 10.8 veces mayores, además tiene un desplazamiento de 0.1293 mm lo que es un desplazamiento despreciable para este tipo de elementos, a partir de estos análisis se deduce que la estructura está bien diseñada, ya que es capaz de soportar hasta 10 veces el peso de trabajo sin deformarse.

Se analizó el punto de ruptura sometiendo la estructura a una carga total de 61223.489 Kg (600000 N) para así cumplir con un valor mayor que el factor de seguridad mayor arrojado en la prueba anterior, los resultados obtenidos se pueden observar a continuación.

**Figura 41.** Análisis de punto de ruptura



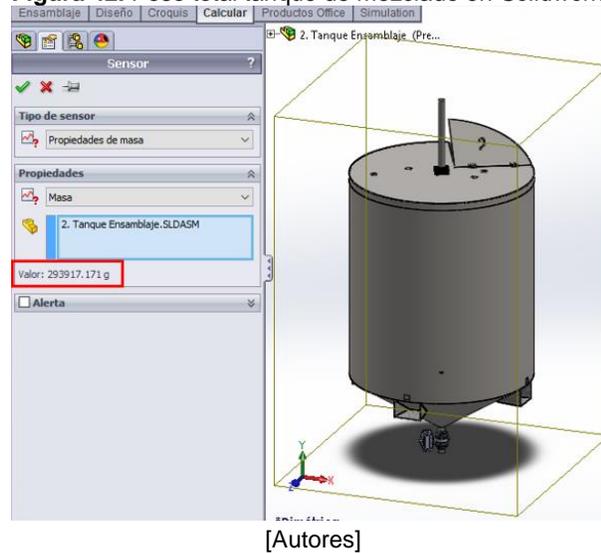
[Autores]

Como se puede observar en la figura anterior, si el sistema es sometido a una carga total de 61223.489 Kg tendría un factor de seguridad de 0.64, además la zona rojiza de la figura es el punto en el cual la estructura puede fallar.

### 3.2.3 Soporte tanque de mezclado

El soporte de tanque de mezclado debe soportar la masa de la mezcla entre el caucho y el ligante la cual es de 1100 Kg además de la masa del propio tanque de mezclado el cual está diseñado con acero inoxidable AISI 304, la masa del tanque de mezclado (incluyendo él tornillo de mezclado) es de 293.9 Kg según *Solidworks*.

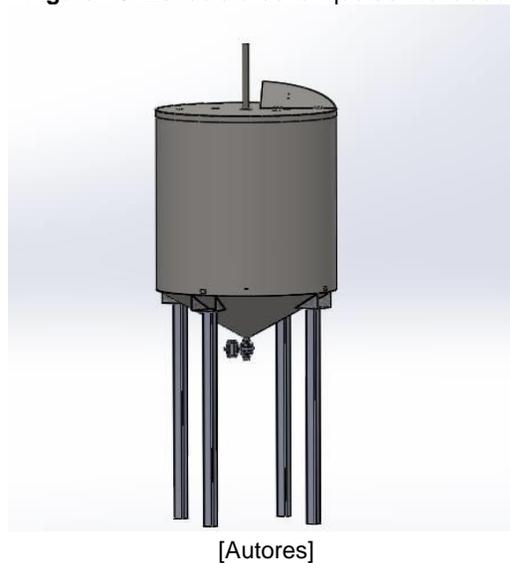
**Figura 42.** Peso total tanque de mezclado en Solidworks



### 3.2.3.1 Análisis estructural

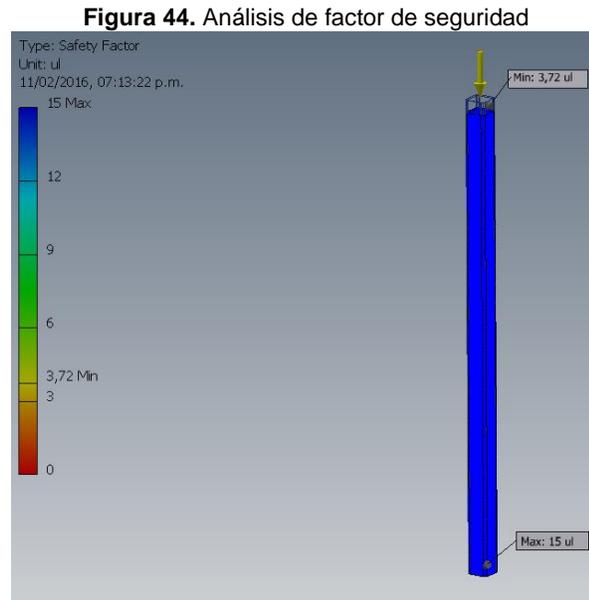
El soporte de tanque de mezclado está compuesto de 4 tubos de acero galvanizado cuadrado de 80 x 80 mm y un espesor de 5 mm, distribuidos en 4 soportes que tiene el tanque los cuales están ubicados estratégicamente a la misma distancia. En la siguiente imagen se puede observar el tanque de mezclado en su estructura o soporte.

**Figura 43.** Estructura de tanque de mezclado



La estructura completa debe soportar una masa de 1393.9 Kg por lo tanto cada soporte debe resistir la cuarta parte de esto (348.47 Kg), teniendo un factor de

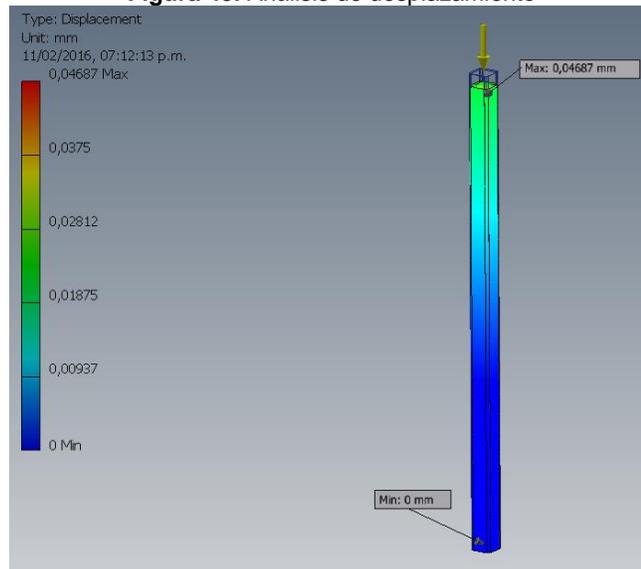
seguridad de 1.2, el peso que cada soporte debe ser capaz de tolerar es de 4098,06 N. Siguiendo el mismo procedimiento realizado con la estructura de los tanques de caucho y ligante se analizó esta estructura, obteniendo los siguientes resultados.



[Autores]

Como se puede observar en la figura anterior, el factor de seguridad arrojado por el análisis es de 3.72, lo que significa que esta estructura es apta para soportar la carga a la cual será sometida.

**Figura 45.** Análisis de desplazamiento



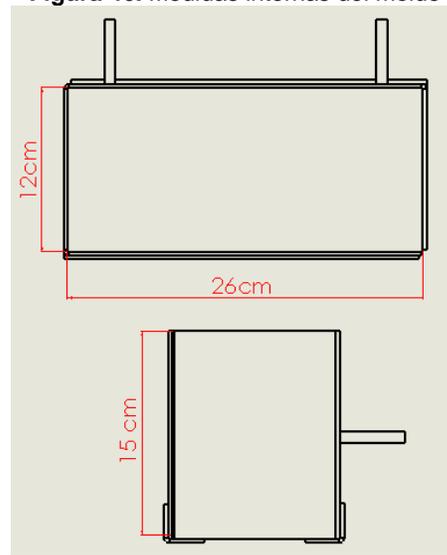
[Autores]

El desplazamiento máximo que tiene la estructura cuando es sometida a esta carga es de 0.046 mm, lo cual es un desplazamiento despreciable para este tipo de estructura, además este desplazamiento es teniendo en cuenta el factor de seguridad de 20% lo que quiere decir que el desplazamiento real es un poco menor.

### 3.3 DISEÑO DEL MOLDE

Las pruebas realizadas arrojaron datos de vital importancia para el diseño del molde, una de estas fue el tamaño del mismo, las cuales se observan en la siguiente figura.

**Figura 46.** Medidas internas del molde



[Autores]

La altura de un ladrillo convencional es de 6 cm y como se observa en la figura anterior el molde tiene una altura de 15 cm, esto es debido a que se debe tener en cuenta que la mezcla al ser compactada se reduce a la mitad de su volumen, también se debe dejar unos centímetros demás para evitar que la mezcla al ser depositada en el molde se rebose y se derrame. El volumen que ocupa la mezcla en este molde se halla a continuación utilizando la ecuación 2.

$$V = 0,12m * 0,26m * 0,12 m$$

$$V = 3,74 \times 10^{-3}m^3$$

Con el volumen total de mezcla y teniendo la densidad de esta mezcla la cual es  $640,0395 \frac{Kg}{m^3}$  se procede hallar la masa de este volumen utilizando la ecuación 1.

$$m = \rho * V$$

$$m = 640,0395 \frac{Kg}{m^3} * 3,74 \times 10^{-3}m^3$$

$$m = 2,39 Kg$$

Como se puede observar la masa obtenida y comparando con los datos obtenidos en la prueba 9, se tiene una leve diferencia entre las masas, esto es debido a factores como la exactitud en los pesos de cada componente a la hora de realizar la mezcla, además estos datos son teóricos e ideales. Teniendo el peso de mezcla

requerido para realizar un ladrillo se procede hallar el número de ladrillos que saldrían teniendo el tanque de mezclado lleno, para esto se divide la capacidad máxima del tanque de mezclado entre la masa que se requiere para fabricar un ladrillo.

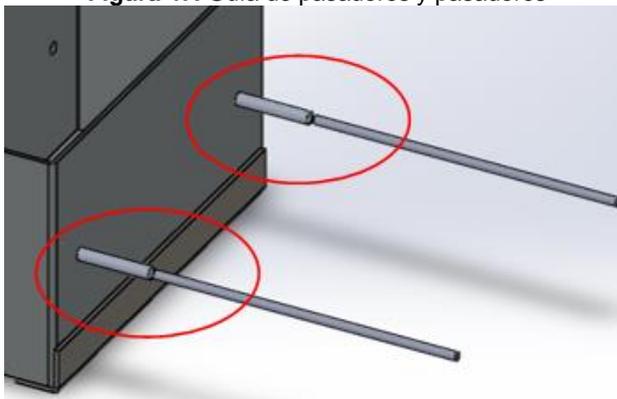
$$\# \text{ ladrillos} = \frac{1100 \text{ kg}}{2,39 \text{ kg}}$$

$$\# \text{ ladrillos} = 460.25 \approx 460$$

Por lo tanto el sistema puede tener una producción a capacidad máxima de 460 ladrillos.

Las pruebas realizadas que mejor resultados tuvieron fueron en las que la compactación se mantuvo durante el ciclo de secado y hacer que el sistema de compactación (el cual es una prensa y se hablara de ella más adelante) se mantenga fijo durante todo este ciclo es poco eficiente, ya que lentifica el proceso y la producción en masa, por lo que se vio la necesidad de diseñar un mecanismo en el molde para mantener esta presión de compactación sin necesidad que la prensa mantenga ejerciendo presión al molde, para eliminar esta problemática se decidió realizar un pasador al molde, el cual está ubicado estratégicamente para que al momento de la prensa hacer la compactación la mezcla baje hasta la mitad de su volumen y se mantenga el tiempo suficiente para que otro mecanismo ponga los pasadores y así la prensa pueda retirar la presión y volver a su lugar inicial sin que la presión ejercida desaparezca. En la siguiente figura se puede observar la guía de los pasadores en el molde y sus respectivos pasadores.

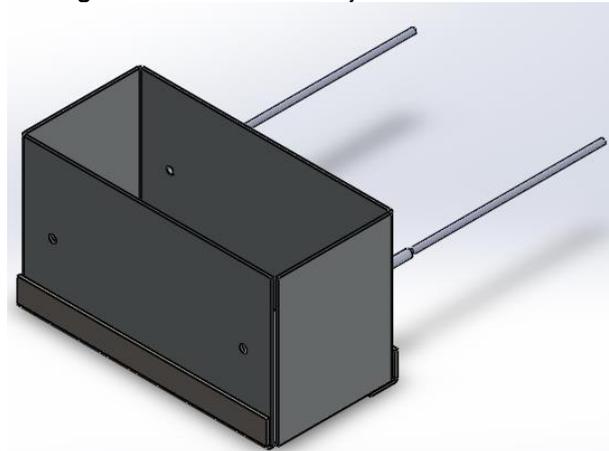
**Figura 47.** Guía de pasadores y pasadores



[Autores]

Además, para facilitar la extracción del ladrillo del molde, este cuenta en la parte inferior con una base en lámina removible, para que así, una vez la mezcla esta seca, se procede a quitar los pasadores y seguidamente se puede empujar desde la base para así extraer el ladrillo. El material del molde es acero inoxidable 304. En la siguiente imagen se puede apreciar el molde realizado en el software *solidworks*.

**Figura 48.** Molde ensamblaje final en *solidworks*



[Autores]

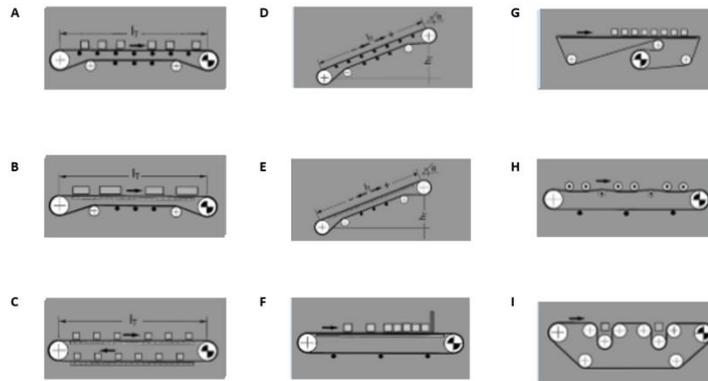
### **3.4 BANDA TRANSPORTADORA**

La banda transportadora cumple con una de las tareas más importantes dentro del proceso de elaboración de ladrillos a base de caucho reciclado, ya que es la que cumple con la tarea de posicionar el molde a los sitios determinados para el llenado, puesta de tapa, prensado y puesta de seguros.

#### **3.4.1 Calculo de banda transportadora**

Para hallar el tipo de banda, material de banda y el motor se apoyó en un documento proporcionado por la empresa *Forbo movement systems*, el cual se puede ver en el anexo A guía de cálculo de banda. Según el documento el primer paso es identificar el tipo de banda a utilizar, en la siguiente imagen se muestran los tipos de banda que maneja la empresa.

Figura 49. Tipos de banda <sup>(12)</sup>



El tipo de banda que más se acoge a las necesidades de la maquina es el tipo **C**, esta banda tiene una mesa en donde se apoya el producto mientras se realiza el transporte del material.

Teniendo el tipo de banda se procede a realizar los siguientes cálculos:

- 1) Se calcula la fuerza tangencial  $F_u$ , la cual tiene una formula diferente para cada tipo de banda y para una banda tipo c se calcula con la ecuación 16.

$$F_u = \mu_T * g * (m_1 + m_2 + m_b) \quad \text{Ecuación 16}$$

Donde:

$\mu_T$ : Coeficiente de fricción para marcha sobre mesa, para este caso se trabajó con un material llamado NOVO, el cual es un tipo de polietileno (PET) y su coeficiente de fricción es de 0,33.

$g$ : Aceleración gravitacional  $9,8 \text{ m/s}^2$

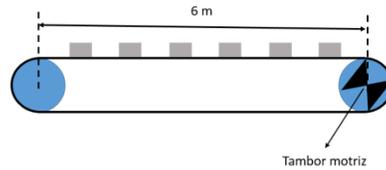
$m_1$ : Masa transportada en la parte superior de la banda.

$m_2$ : Masa transportada en la parte inferior de la banda.

$m_b$ : Masa de la banda, tomado de *solidworks* es de 7,13 Kg.

Para calcular la masa  $m_1$  se procede a hallar el máximo número de moldes que caben a lo largo de la banda, para esto se debe tener en cuenta 3 cosas: distancia de la banda, longitud del molde y el peso total molde (se incluye la mezcla y el peso del molde).

**Figura 50.** Longitud de la banda



[Autores]

Como se observa en la figura 43, el molde tiene una longitud de 6 m y el molde tiene una longitud de 26,54 cm, por lo tanto el máximo número de moldes que la banda puede transportar es de 22. El peso total del molde es de 6,84 Kg (mezcla y peso del molde), así que si se multiplica el número máximo de moldes por el peso de cada molde se obtiene la carga máxima de transporte de la banda.

$$m_1 = 22 * 6,84 \text{ Kg}$$
$$m_1 = 150,48 \text{ Kg}$$

La masa  $m_2$  es cero, debido que la banda solo transporta en su parte superior. Con los datos obtenidos se procede a remplazar los datos en la ecuación 16 para hallar la fuerza tangencial.

$$F_u = 0,33 * 9,8 \text{ m/s}^2 (150,48 \text{ Kg} + 7,13 \text{ Kg})$$
$$F_u = 509,71 \text{ N}$$

2) Se halla la fuerza de torsión máxima  $F_1$  con la ecuación 17.

$$F_1 = F_u * C_1 \quad \text{Ecuación 17}$$

Donde  $C_1$  es el coeficiente de recubrimiento del tambor motriz, el tambor motriz se puede observar en la figura 43. En la siguiente tabla se puede observar los diferentes coeficientes de recubrimientos para diversos materiales e inclinaciones de bandas transportadoras.

**Tabla 6.** Coeficiente de recubrimiento de la cara del tambor motriz <sup>(12)</sup>.

Factor C <sub>1</sub> (válido para el tambor motriz)	Recubrimiento de la cara inferior Siegling Transilon			V3, V5, U2, A5, E3			V1, U1, UH, U2H V2H, V5H			o, Uo, NOVO, Eo, Ao, T, P		
	180°	210°	240°	180°	210°	240°	180°	210°	240°			
<b>Tambor de acero liso</b>												
Seco	1,5	1,4	1,3	1,8	1,6	1,5	2,1	1,9	1,7			
Mojado	3,7	3,2	2,9	5,0	4,0	3,0	No recomendable					
<b>Tambor con forro de fricción</b>												
Seco	1,4	1,3	1,2	1,6	1,5	1,4	1,5	1,4	1,3			
Mojado	1,8	1,6	1,5	3,7	3,2	2,9	2,1	1,9	1,7			

El recubrimiento utilizado para el tambor motriz fue un E3 con un Angulo de contacto de 180°, por lo tanto se coeficiente fue de 1.5, estas siglas se explican en la siguiente tabla (para más información ver anexo A guía de cálculo de banda).

**Tabla 7.** Clasificación de materiales para el recubrimiento de tambores motrices <sup>(13)</sup>.

<b>Elementos tractores</b>	<b>Estructuras cara transporte</b>
AE Mezcla de aramida y poliéster	AR Antideslizante
E Poliéster	CH Facturación en mostrador
EC Mezcla de poliéster y algodón	FG Espina de pez
EP Mezcla de poliéster y poliamida	FSTR Fina
P Poliamida	GL Superficie lisa
	GSTR Gruesa
	KN Nudos cruciformes
<b>Construcción</b>	LG Ranura longitudinal
1,2,3 Número capas textiles	MT Superficie mate
M Tejido capas múltiples	NP Piramidal negativa
NOVO Fibras de poliéster	R Rómbica
H Tejido de alta tecnología	RF Rómbica fina
	RFF Rómbica fina plana
<b>Recubrimientos</b>	RPH Perfil longitudinal en relieve
A Poliolefina	R80 Estructura rómbica
C Algodón	SG Reticular
E Poliéster	SP Estructura de pirámide estrella
G Goma	STR Normal
P Poliamida	VN Nudos en V
S Silicona	WAR Estructura antideslizante de ondas
U Uretano	<b>Rough</b> Tejido estructurado grueso
UH Uretano duro	<b>Fine</b> Tejido estructurado fino
V PVC	
VH PVC duro	<b>Propiedades de la banda</b>
VS PVC suave	ATEX Protección contra explosiones con conformidad Atex
O Sin recubrimiento	C Flexibilidad transversal, apto para bandas curvas
F, Z Filtro/velour	FDA Homologado por la FDA
UO, EO, AO, SO, YO Con impregnación	HACCP Cumplen con el protocolo HACCP
	HC Alta conductividad
	HW Agua caliente
	LF Bajo rozamiento
	M Rigidez transversal especial
	NA No antiestático
	S Insonorizado
	SE Difícilmente inflamable
	TT Cumple con la norma de la pirólisis

Para más información sobre la clasificación de materiales de banda ver anexo A siegling bandas materiales.

Reemplazando los datos en la ecuación 17 se tiene que:

$$F_1 = 509,71 \text{ N} * 1,5$$

$$F_1 = 764,56 \text{ N}$$

- 3) Se procede a realizar el control de tipo de banda seleccionado para saber si este si es el correcto con la siguiente ecuación.

$$\frac{F_1}{b_0} \leq C_2 \quad \text{Ecuación 18}$$

Donde:

$b_0$ : Ancho de banda (203,6 mm)

$C_2$ : Magnitud que indica la elongación de servicio máxima permitida del tipo de banda.

El coeficiente  $C_2$  se halla de acuerdo con la siguiente ecuación:

$$C_2 = \varepsilon_{max} * K_{1\%} \quad \text{Ecuación 19}$$

Donde:

$\varepsilon_{max}$ : Elongaciones de servicio máxima, el cual para el NOVO es de 2 (para más información ver el anexo A guía de cálculo de banda).

$K_{1\%}$ : Fuerza de tracción relajada de la banda con una elongación por unidad de anchura, el cual para el NOVO es de 9,5  $N/mm$  (Anexo A siegling bandas materiales)

Remplazamos los datos en la ecuación 19.

$$C_2 = 2 * 9,5 \frac{N}{mm}$$
$$C_2 = 19 \frac{N}{mm}$$

Una vez hallado  $C_2$  se remplaza en la ecuación 18.

$$\frac{764,56 \text{ N}}{203,6 \text{ mm}} \leq 19 \frac{N}{mm}$$
$$3,75 \leq 19 \frac{N}{mm}$$

Como la condición se cumple se concluye que se ha elegido la banda correcta.

- 4) Se halla el diámetro mínimo del tambor motriz utilizando la siguiente ecuación.

$$d_a = \frac{F_u * C_3 * 180^\circ}{b_0 * \beta} \quad \text{Ecuación 20}$$

Donde:

$\beta$ : Angulo de contacto del tambor motriz ( $180^\circ$ )

$C_3$ : Recubrimiento de la cara del tambor motriz con forro de fricción.

El factor del recubrimiento por fricción del tambor motriz para un tambor con forro de fricción E3 seco es de 25 según el fabricante (más información ver el anexo A guía de cálculo de banda), reemplazando en la ecuación 20 se tiene:

$$d_a = \frac{509,71 \text{ N} * 25 * 180^\circ}{203,6 \text{ mm} * 180^\circ}$$

$$d_a = 62,587 \text{ mm}$$

El diámetro mínimo requerido para el tambor motriz es de 6,2 cm, el diámetro implementado fue de 15 cm.

- 5) Una vez hallado el diámetro del tambor motriz, se procede hallar la potencia requerida en el tambor motriz de la siguiente forma:

$$P_a = \frac{F_u * v}{1000} \quad \text{Ecuación 21}$$

Donde  $v$  es la velocidad de la banda en  $m/s$ , para este caso la banda tendrá una velocidad de  $25 \text{ m}/\text{min}$ , lo que equivale a  $0,416 \text{ m}/s$ .

$$P_a = \frac{509,71 \text{ N} * 0,416 \text{ m}/s}{1000}$$

$$P_a = 0,2120 \text{ KW}$$

- 6) Una vez hallada la potencia necesaria en el tambor motriz, se calcula la potencia del motor con la ecuación 22.

$$P_M = \frac{P_a}{\eta} \quad \text{Ecuación 22}$$

Donde  $\eta$  es la eficiencia del motor, para este caso se trabajó con una eficiencia del 80%.

$$P_M = \frac{0,212 \text{ Kw}}{0,8}$$
$$P_M = 0,265 \text{ Kw}$$

El motor utilizado para la banda es un motor *BISON GEAR* de medio caballo de potencia, los datos técnicos se muestran en la siguiente imagen (para más información ver anexo A ficha técnica A y B motor BISON GEAR).

Figura 51. Ficha técnica motor de banda transportadora <sup>(14)</sup>.

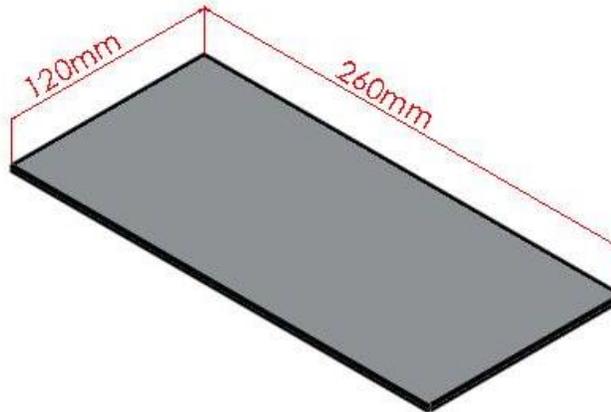


QUICK SPECS			
Stock	BQS	Voltage (V)	115
Input HP	1/2	Torque (in-lbs)	498
Amps	7.9	Approx Weight	24
OHL	NA	Ratio:1	27.9
Stages	3	Speed (RPM)	60

### 3.5 SISTEMA DE PUESTA DE TAPAS

Luego de ser vertida la mezcla en el molde se procede a realizar la puesta de la tapa superior, para esta operación se diseñó un mecanismo que está dividido en dos partes: sistema dispensador de tapas y por ultimo un mecanismo que lleva esta tapa hasta su posición final. En la siguiente imagen se puede observar la tapa diseñada en *Solidworks*.

**Figura 52.** Tapa de molde

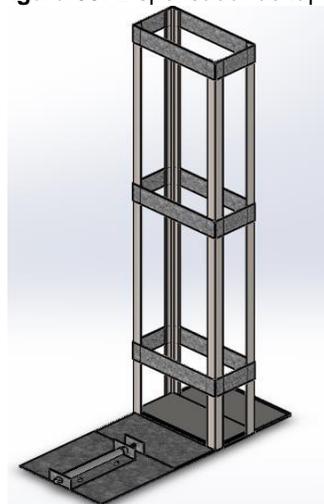


[Autores]

### 3.5.1 Mecanismo de dispensado de tapas

Este mecanismo está diseñado de tal forma que se pueda sobreponer cierta cantidad de láminas, las cuales son llevadas a una bandeja por medio de un cilindro neumático, para que luego entre el mecanismo que lleva esta tapa hasta el molde. En la siguiente figura se puede observar del mecanismo dispensador de tapas.

**Figura 53.** Dispensador de tapas



[Autores]

Como se observa en la figura 42, el dispensador está construido con 4 perfiles estructurales en Angulo que son los encargados de mantener en la posición vertical las lamina; la base en la que están soportados los perfiles estructurales es acero galvanizado; la altura del dispensador es de 1,37 m; el espesor de cada lamina

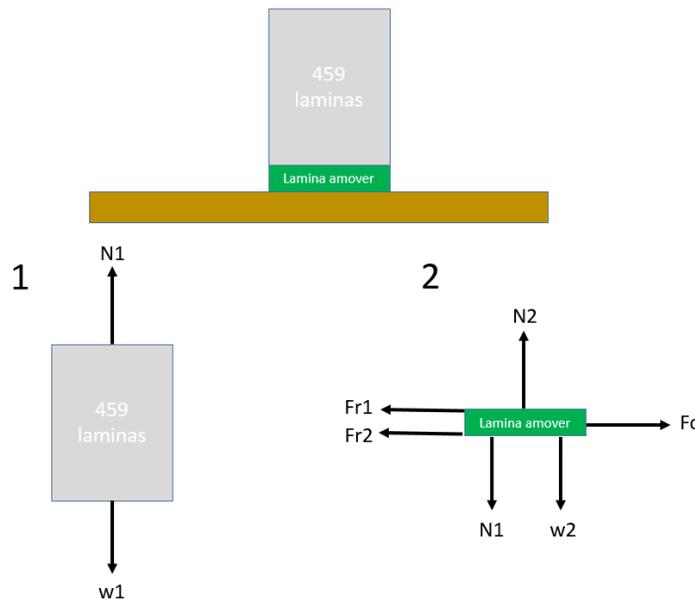
utilizada para la tapa es de 2,7 mm (calibre 12), realizando el cálculo se determina de que con esta altura se pueden almacenar 507 láminas, pero este no será llenado hasta su capacidad máxima, ya que la máquina tiene una capacidad de 460 ladrillos, así que este también será el número de tapas que lleve el dispensador.

### 3.5.1.1 Cálculo de la fuerza que debe vencer el cilindro

Como se mencionó anteriormente y como se puede observar en la figura 42 se necesita un cilindro para efectuar la acción de sacar la lámina y depositarla en el lugar exacto para que sea manipulada por el sistema de puesta a tapa. El cilindro debe efectuar una fuerza al empujar cada lámina, la fuerza que debe vencer el cilindro se calcula de la siguiente forma:

El mayor esfuerzo que realiza el cilindro es al mover de lugar la primera tapa, ya que esta tiene por encima 459 láminas, las cuales tienen un peso total de 309,27 Kg (cada lámina tiene una masa de 0,6738 Kg), además de la fuerza de fricción que ejerce el piso y las 459 láminas sobre la lámina a mover. En la siguiente figura se puede observar el diagrama de cuerpo libre del sistema.

Figura 54. Diagrama de cuerpo libre



[Autores]

Donde:

$N_1$  y  $N_2$  son fuerzas normales.

Fr1 y Fr2 son fuerzas de fricción.

Fc es la fuerza del cilindro.

El coeficiente de fricción estático  $\mu_s$  acero-acero es de 0,74 <sup>(11)</sup>, se procede a desarrollar el sistema.

Primero se analiza el diagrama de cuerpo libre 1:

$$\sum F_x = 0$$

$$\sum F_y = N1 - W1 = 0$$

$$N1 = W1$$

$$N1 = 309,27Kg * 9,8 \frac{m}{s^2}$$

$$N1 = 3030,85 N$$

Ahora se analiza en diagrama de cuerpo libre 2:

$$\sum F_x = F_c - Fr1 - Fr2 = 0$$

$$\sum F_y = N2 - N1 - W2 = 0$$

$$N2 = N1 + W2$$

$$N2 = 3030,85N + (309,948Kg * 9,8 \frac{m}{s^2})$$

$$N2 = 6068,34 N$$

Se reemplazan N1 y N2 en  $\sum F_x$  en el diagrama de cuerpo libre 2.

$$F_c - Fr1 - Fr2 = 0$$

$$F_c = N1\mu_s + N2\mu_s$$

$$F_c = \mu_s(N1 + N2)$$

$$F_c = 0,7(3030,85N + 6068,34N)$$

$$F_c = 6824,39N$$

Por lo tanto la fuerza mínima que debe ejercer el cilindro para vencer el mayor esfuerzo es de 6824,39 N. Luego de analizar los datos obtenidos se decide poner 50 tapas para evitar utilizar un cilindro que deba ejercer una gran fuerza de avance. Para mover las 50 tapas se requiere una fuerza de 684,8 N.

### 3.5.1.2 Calculo de cilindro de dispensador de tapas

Una vez halla la fuerza a vencer por el cilindro se procede hallar el diámetro mínimo requerido del embolo. Se asume una presión de trabajo de 90 Psi (pounds-force per square inch), que equivale a 620,520 Kpa ( $\frac{N}{m^2}$ ) y se procede a realizar el siguiente cálculo:

$$A = \frac{F}{P} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

A: Área del embolo

F: Fuerza a vencer

P: Presión de trabajo del sistema

$$A = \frac{684,08 N}{620520 \frac{N}{m^2}}$$

$$A = 0,00110 m^2$$

Despejando r de la ecuación 3 tenemos

$$A = \pi * r^2$$

$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = 0,018m$$

El embolo requerido para realizar este trabajo tiene un diámetro de 3,6 cm, por lo tanto se decide trabajar con un cilindro neumático de doble efecto *Festo* de referencia 195508 CRHD-40-130-PPV-A-MQ, este cilindro redondo que tiene un

diámetro de embolo de 40 milímetros y una carrera de 140 milímetros (para más información ver anexo B catalogo cilindro Festo página 32).

### 3.5.2 Mecanismo puesta de tapa

Este mecanismo está compuesto de dos actuadores neumáticos, un cilindro neumático el cual tiene acoplado en su vástago dos ventosas que son las encargadas de sujetar la tapa, este cilindro neumático esta acoplado mecánicamente a un actuador rotativo, el cual realiza un giro de 90° para llevar la tapa a su respectiva posición (parte superior del molde).

El cilindro requerido para llevar las ventosas hasta la tapa debe tener una carrera de 22 centímetros y tener una fuerza de retroceso de 6,5 N (equivalente a 1 tapa), por lo que se decide trabajar con un cilindro neumático de doble efecto *Festo 552789 CRDSNU-B-20-220-PPS-A-MG-A1* (para más información ver anexo B catalogo cilindro Festo página 15).

El sistema de ventosa es un componente generador de vacío, el cual cumple con la función de succionar la tapa y así sujetarla hasta que el cilindro rotativo se accione y lleve el sistema hasta su correspondiente posición (encima del molde) y pueda ser soltada la tapa al desactivar el sistema de vacío. Los sistemas generadores de vacío son trabajan con una depresión que está entre los  $-60\text{ KPa}$  y  $-90\text{ KPa}$ , además de esto existen tres tipos de ventosas y para cada una hay una fórmula para hallar el diámetro mínimo requerido de la ventosa para garantizar que el sistema pueda manipular la masa requerida. En la siguiente imagen e puede apreciar los tipos de ventosas y su respectiva fórmula para hallar el diámetro mínimo de la ventosa.

**Tabla 8.** Tipos de ventosas <sup>(15)</sup>.

Tipo de ventosas	Imagen	Formula
Planas y planas con soporte interno		$D = 139,5 * \sqrt{\frac{m * K}{V * n}}$
De fuelle		$D = 152 * \sqrt{\frac{m * K}{V * n}}$
Perfiladas		$D = 122,08 * \sqrt{\frac{m * K}{V * n}}$

Donde:

D: Diámetro de la ventosa en mm.

K: Factor de seguridad.

V: Nivel de vacío en  $-KPa$ .

n: Numero de ventosas en la aplicación.

M: Masa del objeto a ser manipulado en Kg.

El factor de seguridad se escoge de acuerdo a la siguiente tabla.

Tabla 9. Factor de seguridad <sup>(15)</sup>.

K (Factor de seguridad)	Clase de manipulacion
2	Movimiento horizontal
4	Movimiento vertical
4	Movimiento horizontal con robots
6	Movimiento vertical con robots

Para esta aplicación se elige un factor de seguridad de 2 (debido a que el movimiento es horizontal), un nivel de vacío de  $-60 KPa$  y 2 ventosas tipo plano y conociendo la masa de cada lámina, el cual es de  $0,6738 Kg$ , por lo tanto se procede a hallar el diámetro de la ventosa de utilizado la formula descrita en la imagen anterior.

$$D = 139,5 * \sqrt{\frac{0,6738 * 2}{60 * 2}}$$

$$D = 14,8 mm$$

El diámetro mínimo de las ventosas debe ser de  $14,8 mm$  por lo tanto generador de vacío a utilizar es de marca *ART pneumatic* y su referencia es OBU0700 (para más información ver anexo B catalogo generador de vacío página 4) y unas ventosas marca *ART pneumatic equipment* de referencia OVP115 las cuales tienen un diámetro de  $15 mm$  (para más información ver anexo B 04 Ventosas página 4). En la siguiente figura se puede observar el sistema generador de vacío a utilizar y las ventosas.

**Figura 55.** Generador de vacío <sup>(15)</sup>.



**Figura 56.** Ventosa de sujeción por vacío <sup>(15)</sup>.



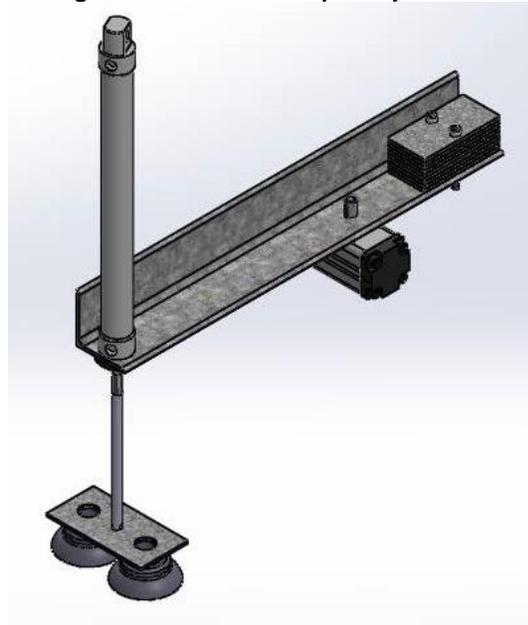
El actuador encargado de girar la ventosa es un actuador neumático giratorio, el cual está compuesto internamente de una combinación piñón cremallera, de esta forma es capaz de convertir un movimiento lineal en un movimiento de tipo rotativo, el momento de giro no varía en todo el ángulo de giro (el cual es de 90°). El actuador rotativo a utilizar es de la marca *festo* su referencia es DFPB - 10 - 90 - - 3 – F03 (para más información ver anexo B Actuadores giratorios DFPB pagina 4 y 5). En la siguiente figura se puede observar el actuador rotativo a utilizar.

**Figura 57.** Actuador rotativo *Festo* <sup>(16)</sup>.



En la siguiente imagen se puede observar el mecanismo de puesta de tapas realizado en *Solidworks*.

**Figura 58.** Sistema de sujeción y rotación



[Autores]

Como se puede observar en la figura anterior, el cilindro está ubicado a una distancia considerable del eje del actuador rotativo, pudiendo producir un momento alto debido a esta distancia, por lo tanto es necesario adicionar un contrapeso para equilibrar este torque, para calcular la masa del contrapeso es necesario tener en cuenta la masa del cilindro, ventosas y tapa de molde (1,4 Kg en total), la distancia del eje del actuador rotativo al cilindro (0.247 m) y al contrapeso (0.098 m). En la siguiente ecuación se puede observar el cálculo correspondiente a la masa que debe tener el contrapeso.

$$\tau_1 = \tau_2 \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

$\tau_1$  : Torque generado por el cilindro

$\tau_2$  : Torque generado por el contrapeso

Sabiendo que torque es igual a:

$$\tau = F * d \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

$F$  : Fuerza

$d$  : Distancia

Remplazando la ecuación 25 en la ecuación 24 se tiene:

$$F_1 * d_1 = F_2 * d_2$$

Donde:

$F_1$  : Fuerza generada por el cilindro y las ventosas

$F_2$  : Fuerza generada por el contrapeso

$d_1$  : Distancia del cilindro al eje del actuador rotativo

$d_2$  : Distancia del contrapeso al eje del actuador rotativo

Despejando la fuerza 2 de la ecuación anterior se tiene:

$$F_2 = \frac{F_1 * d_1}{d_2}$$

Reemplazando los datos en la ecuación anterior se tiene:

$$F_2 = \frac{13,72 \text{ N} * 0.247 \text{ m}}{0.098 \text{ m}}$$

$$F_2 = 34.58 \text{ N}$$

Una vez conocida la fuerza necesaria para equilibrar el sistema se procede a hallar la masa, conociendo que fuerza es igual al producto de la masa por la aceleración gravitacional, se procede a remplazar esto en la ecuación anterior para hallar la masa necesaria del contrapeso.

$$m * g = 34.58 \text{ N}$$

$$m = \frac{34.58 \text{ Kg} * m/s^2}{9.8 \text{ m/s}^2}$$

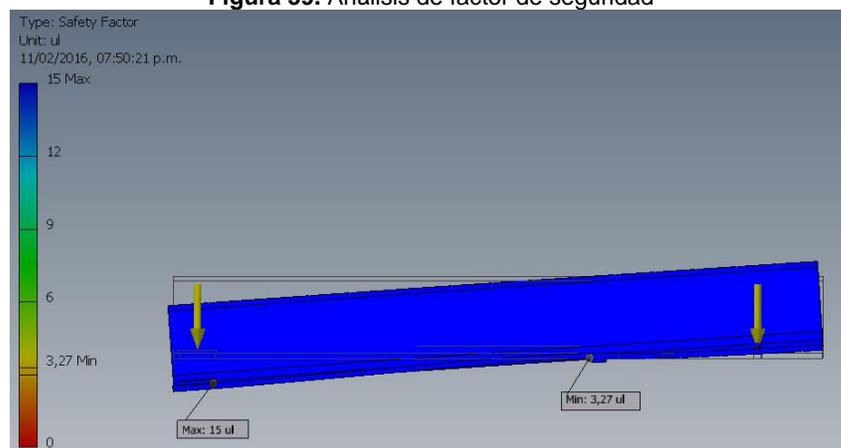
$$m = 3.5 \text{ Kg}$$

El contrapeso debe tener una masa de 3.5 Kg para contrarrestar el torque que puede generar el cilindro.

### 3.5.2.1 Análisis Estructural de sistema rotativo

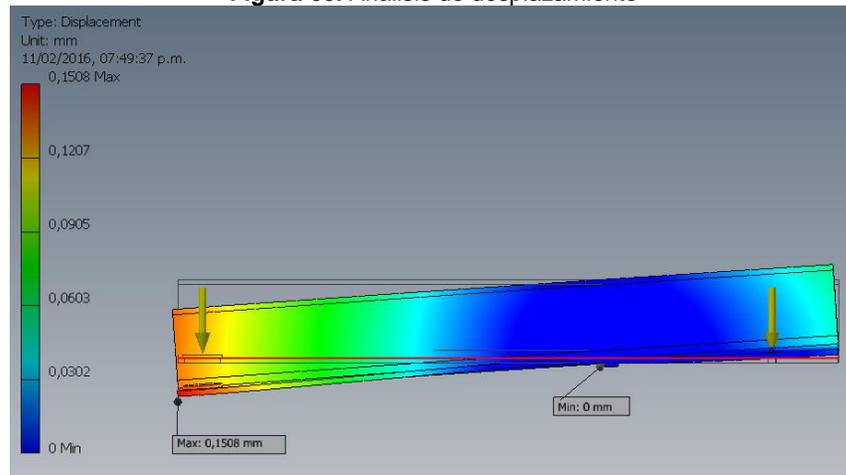
Debido a la forma constructiva de este mecanismo y a la ubicación del cilindro, se procede a analizar los efectos que puede generar la masa del cilindro al brazo rotativo, debido a que este cilindro se encuentra a una distancia considerable del punto de anclaje del actuador rotativo pudiendo producir una deformación considerable por efectos de momentos. Para el análisis se tuvo en cuenta la masa del cilindro, ventosas, tapa del molde, además de la masa del contrapeso y que el sistema puede girar alrededor del eje del actuador rotativo. En la siguiente imagen se puede observar los resultados obtenidos del análisis.

Figura 59. Análisis de factor de seguridad



[Autores]

**Figura 60.** Análisis de desplazamiento



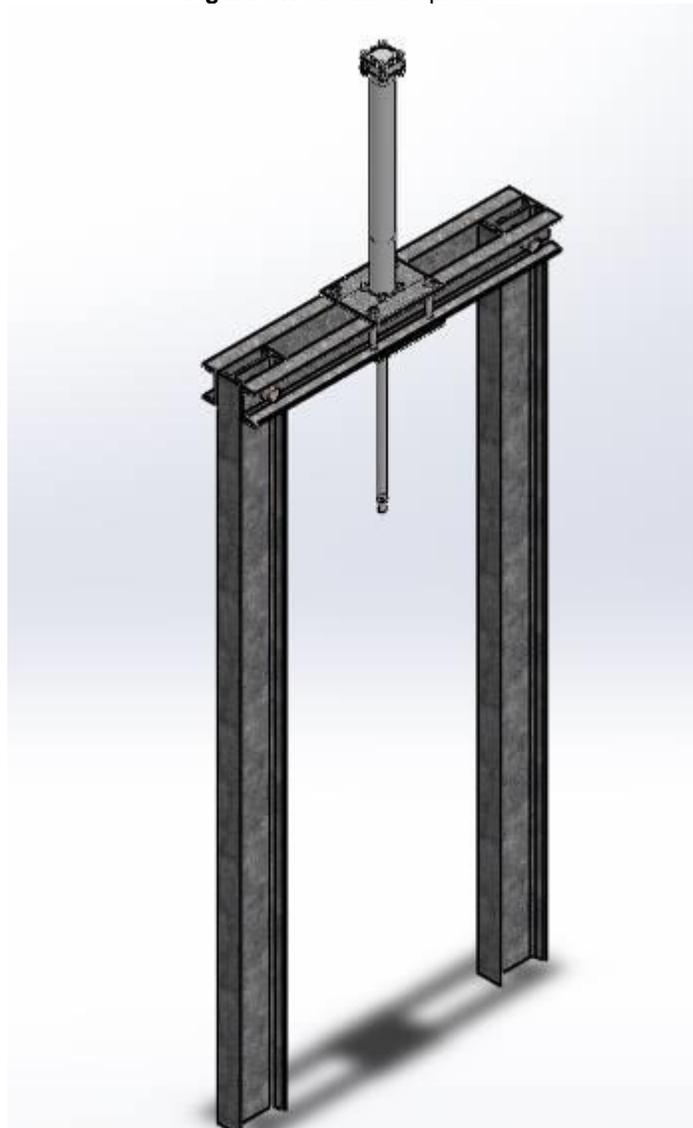
[Autores]

Como se puede observar en las figuras 56 y 57, el factor de seguridad de este mecanismo es de 3.27, además tiene un desplazamiento de 0.1508 mm, por lo tanto se concluye que el mecanismo es apto para cumplir con el objetivo sin sufrir ningún tipo de desequilibrio por el trabajo del elemento.

### **3.6 SISTEMA DE PRENSADO**

Una vez está en su lugar la tapa se procede a realizar el prensado de la mezcla para compactarla, esta tarea es ejecutado por un cilindro hidráulico debido a la gran fuerza que se debe ejercer para esta labor. En la siguiente imagen se puede observar el sistema de prensado.

**Figura 61.** Sistema de prensado



[Autores]

Según los datos obtenidos en las pruebas realizadas se concluyó que para compactar la mezcla al volumen deseado es necesario aplicar una fuerza mínima de 3920 N (400 Kg).

### **3.6.1 CALCULOS DEL SISTEMA HIDRAULICO**

Para realizar el análisis del sistema hidráulico de la prensa, se debe conocer como mínimo la fuerza de trabajo, el cilindro que ejercerá dicha fuerza y el tiempo que el cilindro se tarde en salir completamente, el cual es de 10 s. Para esta aplicación se

seleccionó un cilindro hidráulico de marca *Rexroth Bosch Group* de referencia CDH1MF44022600A3X (para más información ver anexo B Hydraulic cylinder mill type página 6), el cual tiene una carrera de 60 cm, un diámetro de embolo de 4 cm y un diámetro de vástago de 2,2 cm, con esta información se procede a realizar los siguientes.

Se halla el área del cilindro

$$A = \pi * r^2$$

$$A = \pi * (0,02 \text{ m})^2$$

$$A = 0,00125 \text{ m}^2$$

Se calcula la fuerza de compresión del cilindro.

$$F = 400 \text{ Kg} * 9,8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$F = 3920 \text{ N}$$

Se calcula la presión del sistema.

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

$$P = \frac{3920 \text{ N}}{0,00125 \text{ m}^2}$$

$$P = 3136 \text{ KPa}$$

La presión mínima que debe ser capaz de ejercer el sistema (bomba hidráulica) para asegurar una fuerza equivalente a 3920 Kg es de 3136 Kpa.

Con un tiempo de avance de 10 s se halla la velocidad del cilindro.

$$V = \frac{0,6 \text{ m}}{10 \text{ s}}$$

$$V = 0,06 \text{ m/s}$$

Teniendo la velocidad, se procede hallar el caudal mínimo que debe generar el sistema hidráulico para asegurar este proceso.

$$Q = V * A$$

$$Q = 0,06 \frac{m}{s} * 0,00125 m^2$$

$$Q = 0,000075 \frac{m^3}{s} = 4,5 \frac{l}{min}$$

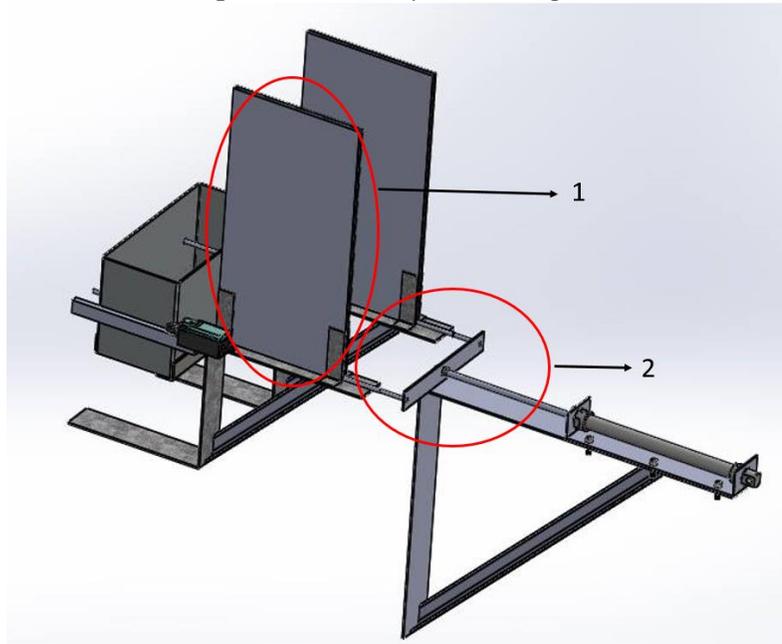
El caudal mínimo que debe ser capaz de generar el sistema es de  $4,5 \frac{l}{min}$ .

Todo sistema hidráulico debe estar protegido por una válvula de seguridad o válvula de alivio, para evitar daños en el sistema debido a altas presiones, esta válvula de seguridad debe estar calibrada con una presión mayor a la presión del sistema en este caso debe superar los 3136 KPa, por lo tanto se decide trabajar con una presión de seguridad de 3200 KPa.

### **3.7 SISTEMA PUESTA DE SEGUROS**

Una vez la prensa ha realizado su trabajo, el mecanismo de puesta de seguros entra en acción, este mecanismo tiene la tarea de poner en su sitio un par de pasadores los cuales cumplen con el trabajo de mantener la presión realizada por la prensa, para que esta no tenga que quedarse todo el tiempo de secado ejerciendo la presión requerida. Este mecanismo está compuesto por un sistema de dispensado de pasadores y un cilindro neumático el cual tiene acoplado un sistema encargado de llevar los pasadores desde el lugar de dispensado hasta su lugar final en el molde. En la siguiente imagen se puede observar el sistema puesta de seguros.

**Figura 62.** Sistema puesta de seguros



[Autores]

Donde:

1. Es el sistema dispensador de seguros y
2. Es el acople al cilindro encargado de llevar los seguros a su puesto.

El sistema dispensador de seguros puede contener hasta 70 pasadores, lo cuales están hechos de acero inoxidable 304, estos seguros tienen un peso en total de 2,66 Kg (cada uno pesa 38g según *Solidworks*) y de la misma forma que se halló la fuerza requerida por el cilindro dispensador de tapas de halla este cilindro, la cual debe ser de 54,217 N.

### **3.7.1 CÁLCULO PARA EL CILINDRO DE DISPENSADO DE PASADORES**

De la misma forma que se realizó el cálculo de cilindro dispensador de tapas, se realiza el cálculo para el embolo del cilindro de dispensado de pasadores.

$$A = \frac{F}{P} \quad \text{Ecuación 23}$$

Donde:

A: Área del embolo

$F$ : Fuerza a vencer

$P$ : Presión de trabajo del sistema

$$A = \frac{54,217 \text{ N}}{620520 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$A = 8,737 \times 10^{-5} \text{ m}^2$$

Despejando  $r$  de la ecuación 3 tenemos

$$A = \pi * r^2$$

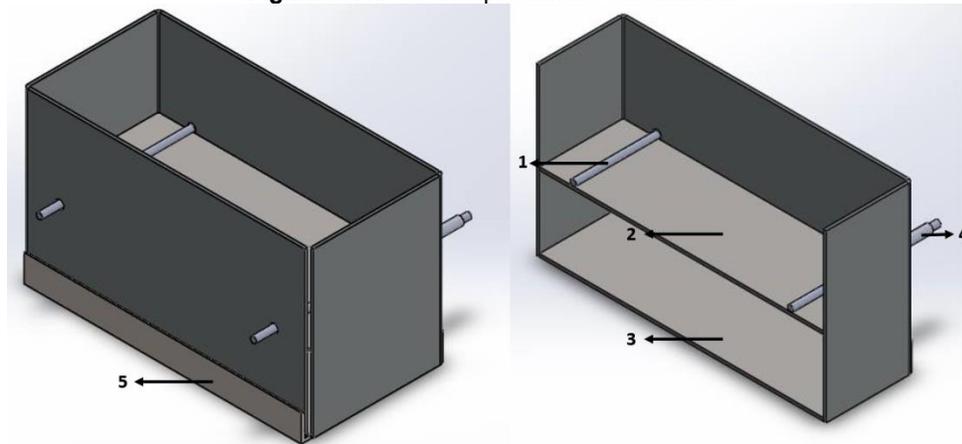
$$r = \sqrt{\frac{A}{\pi}}$$

$$r = 5,273 \times 10^{-3} \text{ m}$$

El cilindro debe tener como mínimo un diámetro de 1,05 centímetros, por lo tanto se decide trabajar con un cilindro *Festo* de 1,2cm de diámetro de embolo y con una carrera de 2,5cm, su referencia es 552787 CRDSNU-B-12-25-PPS-A-MG-A1 (para más información ver anexo B catalogo cilindro Festo página 15).

El molde al final de proceso está compuesto por dos tapas (base y tapa), dos guías de pasadores, dos pasadores y dos ángulos que sirven de soporte a la base para que esta no se mantenga en su lugar y facilite la extracción una vez la mezcla este seca. En la siguiente imagen se puede observar el molde ya completamente ensamblado, además de una vista de sección.

Figura 63. Molde completamente ensamblado



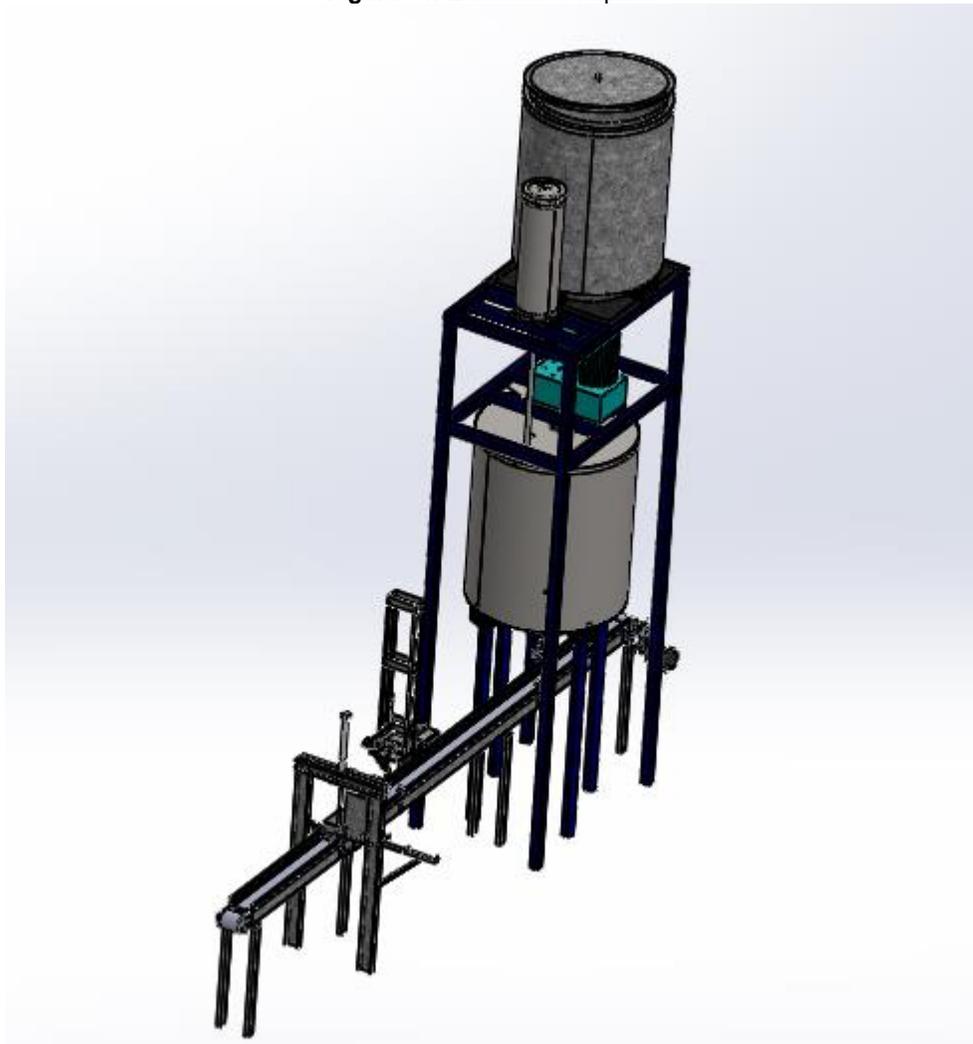
[Autores]

Donde:

1. Pasadores
2. Tapa
3. Base
4. Guía de pasadores y
5. Angulo de soporte.

En la siguiente imagen se puede observar el ensamblaje completo realizado en el software *Solidworks*.

**Figura 64.** Ensemble completo



[Autores]

## 4. SISTEMAS ELECTRICOS, NEUMATICOS, DE CONTROL Y SUPERVISIÓN DE ETAPAS

### 4.1 SISTEMAS ELECTRICOS

Como se ha mencionado anteriormente existen actuadores para realizar trabajos específicos como lo son los motores de mezclado y de banda, los cuales son actuadores que necesitan una serie de elementos para su correcto funcionamiento (protecciones, calibre de conductores).

#### 4.1.1 CALCULO DE CONDUCTOR ELECTRICO DE MOTOR DE MEZCLADO

Para hallar el conductor eléctrico es necesario conocer la corriente nominal de trabajo del elemento o potencia, la tensión de alimentación, además se debe tener en cuenta el factor de corrección por temperatura. El Factor de corrección por temperatura influye desfavorablemente en la conducción de electricidad debido a que aumenta la resistencia eléctrica. Por el contrario a menor temperatura se conduce mejor la electricidad. A la hora de hacer el cálculo del conductor a utilizar se debe tener en cuenta los datos que se muestran en la siguiente tabla.

**Tabla 10.** Factor de corrección por temperatura <sup>(17)</sup>.

Temperatura ambiente °C	Temperatura máxima de operación del conductor		
	60°C	75°C	90°C
30	1,0	1,0	1,0
31-35	0,91	0,94	0,96
36-40	0,82	0,88	0,91
41-45	0,71	0,82	0,87
46-50	0,58	0,75	0,82
51-55	0,41	0,67	0,76

Para hallar el conductor se realizan los siguientes cálculos:

$$P = V * In * \sqrt{3} * \cos \theta \quad \text{Ecuación 24}$$

Donde:

*P*: Potencia

*V*: Tensión

*In*: Corriente nominal

$\theta$ : Factor de potencia

Se procede a despejar la corriente de la ecuación 24.

$$I_n = \frac{P}{V * \sqrt{3} * \cos \phi}$$

$$I_n = \frac{14.9 \text{ Kw}}{240 \text{ V} * \sqrt{3} * \cos 0,85}$$

$$I_n = 35,89 \text{ A}$$

Trabajando con una temperatura ambiente de 31°C a 35°C y una temperatura de operación del conductor de 75°C, se tiene un factor de corrección por temperatura de 0.94 y teniendo un factor de seguridad del 15% se procede hallar la corriente máxima de operación.

$$I_z = \frac{I_n}{F_c} * F_s \quad \text{Ecuación 25}$$

Donde:

$I_z$ : Corriente admisible

$F_c$ : Factor de corrección

$F_s$ : Factor de seguridad

$$I_z = \frac{35,89 \text{ A}}{0,94} * 1,15$$

$$I_z = 43,90 \text{ A}$$

Teniendo en cuenta la siguiente tabla de calibres de conductores AWG y la corriente admisible del conductor se elige un conductor calibre 8 AWG THWN, el cual soporta una corriente de 50 A.

**Tabla 11.** Calibres de conductores según la corriente <sup>(18)</sup>.

Amperaje que soportan los cables de cobre					
Nivel de temperatura:	60°C	75°C	90°C	60°C	
Tipo de aislante:	TW	RHW, THW, THWN	THHN, XHHW-2, THWN-2	SPT	
Medida / calibre del cable	Amperaje soportado			Medida / calibre del cable	Amperaje soportado
14 AWG	15 A	15 A	15 A	20 AWG	2 A
12 AWG	20 A	20 A	20 A		
10 AWG	30 A	30 A	30 A	18 AWG	10 A
8 AWG	40 A	50 A	55 A		
6 AWG	55 A	65 A	75 A	16 AWG	13 A
4 AWG	70 A	85 A	95 A		
3 AWG	85 A	100 A	115 A	14 AWG	18 A
2 AWG	95 A	115 A	130 A		
1 AWG	110 A	130 A	145 A	12 AWG	25 A
1/0 AWG	125 A	150 A	170 A		
2/0 AWG	145 A	175 A	195 A		
3/0 AWG	165 A	200 A	225 A		
4/0 AWG	195 A	230 A	260 A		

Una vez conocido el calibre del conductor se procede hallar si este calibre es el óptimo para esta aplicación. A continuación se procede hallar la caída de tensión en el conductor usando la siguiente ecuación.

$$\Delta V = \sqrt{3} * I_z * (R * \cos\theta + Xl * \sin\theta) \quad \text{Ecuación 26}$$

Donde:

$\Delta V$ : Caída de tensión

$R$ : Resistividad del conductor

$\theta$ : Factor de potencia

$Xl$ : Reactancia inductiva

Para poder calcular la caída de voltaje debemos hallar la resistividad del conductor con la ecuación de resistividad.

$$R = \frac{\sigma * L}{S} \quad \text{Ecuación 27}$$

Donde:

$\sigma$ : Resistividad del cobre

$L$ : Longitud del conductor

$S$ : Sección transversal del conductor

$$R = \frac{0,0172 \Omega \frac{mm^2}{m} * 10 m}{2,08 mm^2}$$

$$R = 0,08 \Omega$$

Se procede hallar la caída de tensión.

$$\Delta V = \sqrt{3} * 43,9 A * (0,010\Omega * \cos(0,85) + 0 * \sin(0,85))$$

$$\Delta V = 0,76 V$$

Nota: la reactancia inductiva  $X_l$ : 0 porque  $S < 120 \text{ mm}^2$  como se muestra en la siguiente tabla.

**Tabla 12.** Tabla de reactancia inductiva <sup>(19)</sup>-

Sección	Reactancia inductiva (X)
$S \leq 120 \text{ mm}^2$	$X \cong 0$
$S = 150 \text{ mm}^2$	$X \cong 0,15 R$
$S = 185 \text{ mm}^2$	$X \cong 0,20 R$
$S = 240 \text{ mm}^2$	$X \cong 0,25 R$

Se procede hallar el porcentaje de la caída de tensión sobre la fuente de alimentación de la siguiente forma.

$$\Delta V * \frac{100\%}{V} < 3\% \quad \text{Ecuación 28}$$

$$0,76 V * \frac{100\%}{240} < 3\%$$

$$0,31 \% < 3 \%$$

Como esta relación se cumple, entonces se concluye que el calibre hallado es óptimo para esta aplicación.

#### **4.1.2 CALCULO DE DISYUNTOR TERMO-MAGNETICO PARA MOTOR MEZCLADO**

Es un dispositivo capaz de interrumpir la corriente eléctrica de un circuito cuando este sobre pasa ciertos valores máximos. Sus efectos se basan en dos de los efectos producidos por la circulación de la corriente eléctrica en un circuito: el magnético y el térmico <sup>(20)</sup> lo que significa que este dispositivo protege el circuito

eléctrico contra cortocircuitos y contra sobrecargas en el sistema. Para hallar el disyuntor es necesario multiplicar la corriente máxima o admisible por un factor de seguridad (en este caso el 25%), para así tener un grado de confiabilidad contra sobrecargas.

$$I = 43,9 A * 1,25$$

$$I = 54,87 A$$

Para la protección del motor contra sobrecargas y cortocircuitos se seleccionó un disyuntor termomagnético tripolar marca *EATON* de referencia *mMC6-C50/3* de 50 A con una curva tipo C y un/Vn 115/240 VAC (ver ANEXO C Eaton Distribution Catalogue página 4).

#### **4.1.3 CONTACTOR PARA MOTOR MEZCLADO**

Este elemento se utilizar para el accionamiento y control de motores eléctricos, este cuenta con una bobina que al ser energizada cierra el circuito entre la alimentación y el motor poniéndolo en marcha. Teniendo en cuenta que la corriente de trabajo del motor (43,9 A) se decide trabajar con un contactor tripolar de marca *EATON* de referencia *DILM50(24)*, el cual soporta una corriente nominal de 50 A (para más información ver anexo C Ficha técnica *DILM50*).

#### **4.1.4 RELE TERMICO PARA MOTOR MEZCLADO**

El relé térmico es un dispositivo eléctrico utilizado para protección de circuitos contra sobre cargas, por lo general se usa para la protección de motores eléctricos. Para la elección del relé térmico se tiene en cuenta la corriente de trabajo del motor (43,9 A), por lo tanto se decide trabajar con un relé térmico de marca *Lovato electric* de referencia *RF95.3.50* con un rango ajustable de corriente de 35 a 50 A (para más información ver anexo C *general\_catalogue\_2014-2015\_full* página 110).

#### **4.1.5 CALCULO DE CONDUCTOR ELECTRICO DE MOTOR DE BANDA**

Para hallar el cálculo del conductor para la banda transportadora se procede a realizar los cálculos de igual forma como se hizo con el motor de mezclado.

Según los datos de la ficha técnica del motor seleccionado para la banda, la corriente nominal es de 7,9 A teniendo en cuenta este valor se procede a hallar el cálculo de la corriente admisible utilizando la ecuación 25

$$I_z = \frac{7,9 A}{0,94} * 1,15$$

$$I_z = 9,66 A$$

Teniendo en cuenta la tabla 9 de calibres de conductores se elige un conductor calibre 14 AWG THWN, el cual soporta una corriente de 15 A.

Se procede a realizar el análisis para verificar que el calibre del conductor es el óptimo para esta aplicación de la siguiente forma.

$$\Delta V = 2 * I_z * (R * \cos\theta + Xl * \sin\theta) \text{ Ecuación 29}$$

Con la ecuación 27 hallamos la resistividad del conductor.

$$R = \frac{0,0172 \Omega \frac{mm^2}{m} * 5 m}{8.35mm^2}$$

$$R = 0.082 \Omega$$

Se procede hallar la caída de tensión.

$$\Delta V = 2 * 9,66 A * (0,082\Omega * \cos(0,9) + 0 * \sin(0,9))$$

$$\Delta V = 1,58 V$$

Nota: la reactancia inductiva Xl: 0 porque  $S < 120 \text{ mm}^2$  como se muestra en la tabla 10.

A continuación se halla la relación de porcentaje con la ecuación 28.

$$1,58 V * \frac{100\%}{120} < 3\%$$

$$1,31 \% < 3 \%$$

Como esta relación se cumple, entonces se concluye que el calibre hallado es óptimo para esta aplicación.

#### 4.1.6 CALCULO DE DISYUNTOR TERMO-MAGNETICO PARA MOTOR BANDA

Para hallar la corriente máxima que va necesitar el motor para su funcionamiento se multiplica por un factor de seguridad en este caso es de 1.25 que le da al sistema un margen de seguridad.

$$I = 9,66 A * 1,25$$

$$I = 12,07 A$$

Para la protección del motor contra sobrecargas y cortocircuitos se seleccionó un disyuntor termomagnético bipolar de marca *EATON* de referencia mMC6-16/2 de 16 A con una curva tipo C y un/Vn 115/240 VAC (ver ANEXO C Eaton Distribution Catalogue página 4).

#### 4.1.7 CONTACTOR PARA MOTOR BANDA

Teniendo en cuenta que la corriente de trabajo del motor de banda es de 9,66 A, se decide trabajar con un contactor de marca *EATON* y de referencia DILM12-10, el cual soporta una corriente de trabajo de 12 A (para más información ver anexo C Ficha técnica DILM12-10).

#### 4.1.8 RELE TERMICO PARA MOTOR BANDA

El relé térmico con el que se decidió trabajar es de marca *Lovato electric* de referencia RF381400, el cual tiene una corriente ajustable de 9 a 14 A (para más información ver anexo C general\_catalogue\_2014-2015\_full página 110).

#### 4.1.9 CALCULO DE CONDUCTOR ELECTRICO DE FUENTE DE PODER

La fuente de poder tiene como función principal alimentar el controlador lógico programable, además de los solenoides de las válvulas electro-neumáticas y la pantalla de supervisión de etapas hmi. Las válvulas electro-neumáticas a utilizar son de marca *Festo* servopilotadas y de retroceso por muelle mecánico, las cuales según el catálogo de productos de *Festo* (Ver anexo B *Electroválvulas VUVS batería de válvulas VTUS* páginas 36 y 37) tienen una potencia máxima promedio de 2,5 W y son alimentadas a 24 V, por lo tanto la corriente es la siguiente:

$$I = \frac{W}{V} \quad \text{Ecuación 30}$$

$$I = \frac{2,5 W}{24 V}$$

$$I = 104,1 mA$$

El consumo promedio de una válvula electro-neumática es de 104,1 mA, en el sistema se cuenta con un total de 11 válvulas por lo tanto el consumo de las total del sistema por las válvulas es de 1,14 A.

El PLC a utilizar es de marca *DELTA* de referencia DVP48EH00R2, el cual cuenta con 24 entradas digitales, 24 salidas a relé, alimentación a 24 V y una corriente de trabajo de 500 mA (para más información ver anexo C DELTA PLC DATASHEET), en la siguiente imagen se puede observar la ficha técnica básica del plc *DELTA*.

**Figura 65.** Ficha técnica PLC DELTA DVP48EH00R2 <sup>(21)</sup>.

Specifications	
<b>Product Category</b>	Programmable Logic Controllers (PLC)
<b>I/O Channels</b>	
Total Points	48
Inputs	24
Outputs	24
Expandable	Expandable
Maximum Channels	512
<b>Input</b>	Analog Input (optional feature); Frequency or Pulse; Digital
<b>Output</b>	AC Output (optional feature); Relay Output
<b>System Specifications</b>	
Scan Time	2.40E-4 ms
Number of Instructions	212
<b>Programming Options</b>	
Front Panel (optional feature); Hand-held Programmer (optional feature); Computer Programmable	
<b>Computer Interface Options</b>	Multiple Serial Interface
<b>Features</b>	Timers; Counter
<b>Maximum Counting Frequency</b>	200 kHz
<b>Power</b>	24VDC
<b>Mounting Options</b>	Stand-alone

La pantalla de supervisión de etapas escogida es de marca *DELTA* de referencia DOP-B07E415, la cual es una pantalla táctil con alimentación a 24 V y una corriente de 300 mA (para más información ver anexo C Touch Screen DOP-B página 3).

La fuente de alimentación debe entregar una corriente de 1,94 A, por lo tanto se decide trabajar con una fuente Delta de referencia DRP024V120W1AA, la cual tiene un voltaje de salida de 24 Vdc y puede entregar hasta 5 A. En la siguiente imagen se puede observar las especificaciones técnicas de la fuente de alimentación DELTA (para más información ver anexo C Datasheet\_drp024v120w1aa).

Figura 66. Hoja de datos DRP024V120W1AA (22).

TECHNICAL DATASHEET	
<b>CliQ DIN Rail Power Supply</b>	
24V 120W 1 Phase / DRP024V120W1AA	
<b>Specifications</b>	
<b>Input Ratings / Characteristics</b>	
Nominal Input Voltage	100-240Vac
Input Voltage Range	85-264Vac
Nominal Input Frequency	50-60Hz
Input Frequency Range	47-63Hz
DC Input Voltage Range*	120-375Vdc
Input Current	< 1.40A @ 115Vac, < 0.80A @ 230Vac
Efficiency at 100% Load	> 86.0% @ 115Vac, > 87.0% @ 230Vac
Max Inrush Current (Cold Start)	< 80A @ 115Vac, < 150A @ 230Vac
Power Factor at 100% Load	> 0.98 @ 115Vac, > 0.87 @ 230Vac
Leakage Current	< 1mA @ 240Vac
*Safety approval according to IEC/EN/UL 60950-1.	
<b>Output Ratings / Characteristics**</b>	
Nominal Output Voltage	24Vdc
Factory Set Point Tolerance	24Vdc ± 2%
Output Voltage Adjustment Range	22-28Vdc
Output Current	5.00A (continuously operating at 24V) 7.50A (Power Boost for 3 seconds at 24V, refer to the details in the Functions section)
Output Power	120W (continuously operating at 24V) 180W (Power Boost for 3 seconds at 24V, refer to the details in the Functions section)

Una vez escogida la fuente de alimentación se procede hallar su conductor con la corriente total del sistema (la cual es de 1,94 A) de la misma forma que en los casos anteriores.

$$I_z = \frac{5 A}{0,94} * 1,15$$

$$I_z = 6,11 A$$

Teniendo en cuenta la tabla 9 de calibres de conductores se elige un conductor calibre 14 AWG THWN, el cual soporta una corriente de 15 A.

Se procede a realizar el análisis para verificar que el calibre del conductor es el óptimo para esta aplicación.

$$R = \frac{0,0172 \Omega \frac{mm^2}{m} * 1 m}{8.35mm^2}$$

$$R = 0.002 \Omega$$

Se procede hallar la caída de tensión.

$$\Delta V = 2 * 6,11 A * (0,002\Omega * \cos(0,9) + 0 * \sin(0,9))$$

$$\Delta V = 0,02 V$$

A continuación se halla la relación de porcentaje con la ecuación 28.

$$0,02 V * \frac{100\%}{120} < 3\%$$

$$0,016 \% < 3 \%$$

Como esta relación se cumple, entonces se concluye que el calibre hallado es óptimo para esta aplicación.

#### **4.1.10 CALCULO DE DISYUNTOR TERMO-MAGNETICO PARA FUENTE DE ALIMENTACIÓN**

Para hallar la corriente máxima que va necesitar la fuente de alimentación para su funcionamiento se multiplica por un factor de seguridad en este caso es de 1.25 que le da al sistema un margen de seguridad.

$$I = 2,37 A * 1,25$$

$$I = 2,96 A$$

Para la protección del motor contra sobrecargas y cortocircuitos se seleccionó un disyuntor termomagnético bipolar de marca *EATON* de referencia mMC6-C6/2 de 6 A con una curva tipo C y un/Vn 115/240 VAC (ver ANEXO C Eaton Distribution Catalogue página 4).

#### **4.2 SISTEMAS NEUMATICOS, DE COTROL Y SUPERVISIÓN DE ETAPAS**

El sistema neumático, de control y supervisión de etapas se realiza en el software *AUTOMATION STUDIO V 5.6* edición educativa, el cual permite integrar los componentes eléctricos, neumáticos e hidráulicos, además de un sistema básico de supervisión. El control se realiza dividiendo el sistema en procesos, los cuales son:

1. Tanques
2. Motores
3. Puesta de tapas
4. Prensado y puesta de pasadores
5. Supervisión de etapas

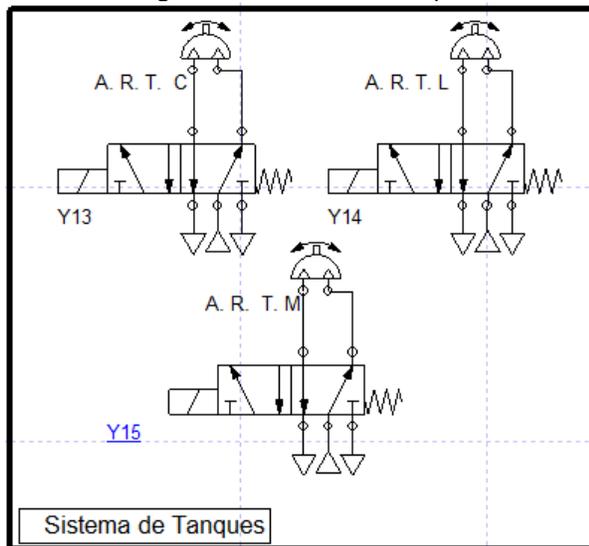
## 6. Programa de control

Para una fácil visualización de cada etapa se divide los sistemas en la simulación. En las siguientes imágenes se puede observar los sistemas simulados en el software *AUTOMATION STUDIO*.

### 4.2.1 SISTEMA DE TANQUES

Como se puede observar en la siguiente figura, el sistema de tanques está conformado por tres actuadores de bola (uno para cada tanque) y su respectiva válvula neumática 5/2.

Figura 67. Sistemas de tanques

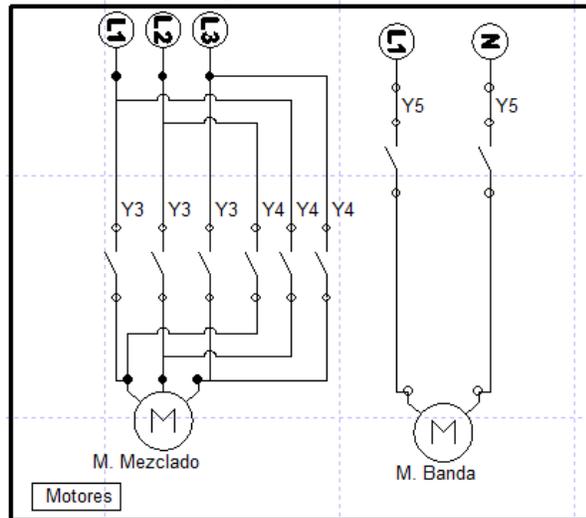


[Autores]

### 4.2.2 SISTEMA DE MOTORES

En la figura 63 se puede observar el sistema de motores (motor de tanque de mezclado y llenado y motor de banda transportadora) con sus respectivos contactores, además el motor de mezclado y llenado tiene su circuito de inversión de giro para pasar de la etapa de mezclado a la etapa de llenado.

Figura 68. Motores

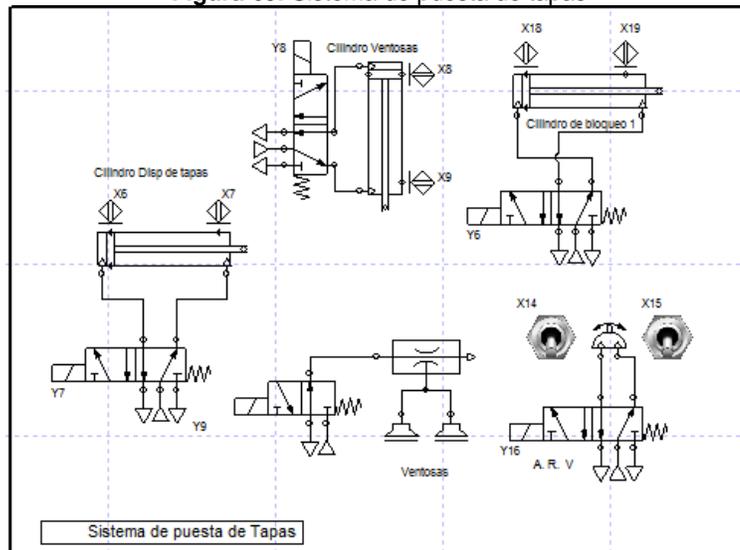


[Autores]

### 4.2.3 SISTEMA DE PUESTA DE TAPA

Como se observar en la siguiente figura el sistema de puesta de tapas consta de actuadores como: tres cilindros doble efecto neumáticos (cilindro dispensador de tapas, cilindro de ventosas y cilindro de bloqueo de moldes o cilindro de seguridad), un sistema generador de vacío y un actuador rotativo, además de 4 válvulas 5/2 y una válvula 3/2 neumáticas.

Figura 69. Sistema de puesta de tapas

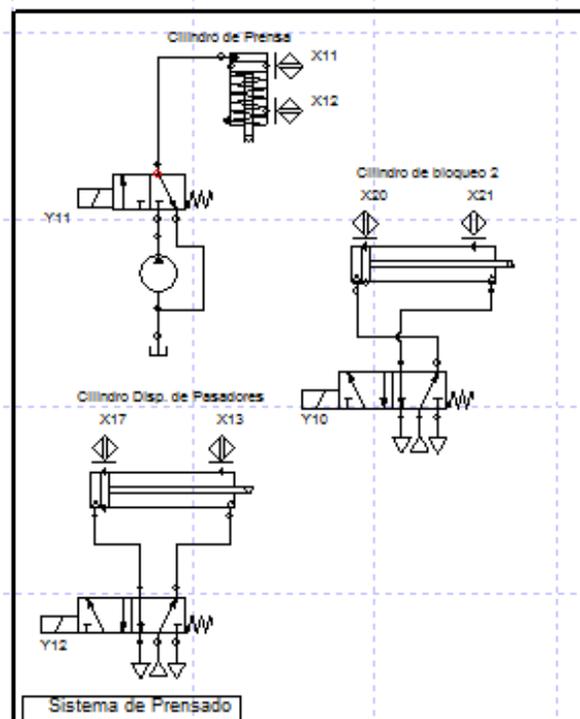


[Autores]

#### 4.2.4 SISTEMA DE PRENSADOR Y PUESTA DE PASADORES

El sistema de prensado está compuesto por un cilindro hidráulico simple efecto el cual simboliza la prensa hidráulica, dos cilindros doble efecto neumáticos los cuales son los cilindros de dispensado de pasadores y el cilindro de bloqueo de este sistema, además 2 válvulas 5/2 neumáticas para los cilindros doble efecto neumáticos y una 3/2 hidráulica para el cilindro de la prensa.

Figura 70. Sistema de prensado

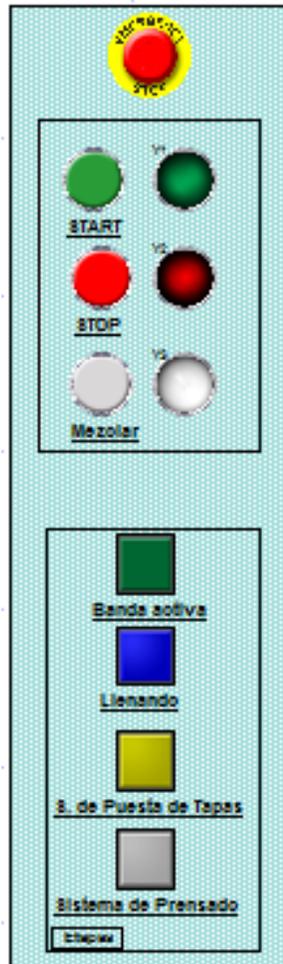


[Autores]

#### 4.2.5 SUPERVISION DE ETAPAS

El sistema de supervisión de etapas cuenta con una serie de indicadores que permiten conocer en qué etapa se encuentra el proceso, además de una botonera virtual la cual cuenta con 4 botones, los cuales son: botón de start, botón de stop, paro de emergencia y botón de mezclado, además de 7 indicadores para: Start, stop, mezclado, banda activa, sistema de llenado activo, sistema puesta de tapas activo y sistema de prensado activo. En la siguiente imagen se puede apreciar el sistema de supervisión de etapas realizado en el software *AUTOMATION STUDIO*.

Figura 71. Sistema de supervisión de etapas



[Autores]

#### 4.2.6 PROGRAMA DE CONTROL

El programa de control permite interactuar las entradas y salidas del sistema de tal forma que lleve a cabo las tareas deseadas. El sistema cuenta con 21 entradas las cuales provienen de sensores, botones y finales de carrera y 16 salidas asociadas a solenoides, indicadores y contactores. Las entradas y salidas del sistema se pueden apreciar en las siguientes tablas.

**Tabla 13.** Tabla de entradas

Entradas	Etiqueta
Botón Start	X1
Botón Stop	X2
Botón de Mezclado	X3
Final de carrera de llenado	X4
Final de carrera sis. Tapas	X5
Final de carrera A- Disp. Tapas	X6
Final de carrera A+ Disp. Tapas	X7
Final de carrera A- Cilindro Vent.	X8
Final de carrera A+ Cilindro Vent.	X9
Final de carrera sis. Prensado	X10
Final de carrera A- Cilindro Prensa	X11
Final de carrera A+ Cilindro Prensa	X12
Final de carrera A+ Cilindro Pasad.	X13
Final de carrera A- Actuador rota.	X14
Final de carrera A+ Actuador rota.	X15
Botón de paro de emergencia	X16
Final de carrera A- Cilindro Pasad.	X17
F.C. A- sis. De bloqueo tapas	X18
F.C. A+ sis. De bloqueo tapas	X19
F.C. A- sis. De bloqueo prensado	X20
F.C. A+ sis. De bloqueo prensado	X21

[Autores]

**Tabla 14.** Tabla de salidas

Salida	Etiqueta
Relé de Start	Y1
Relé Stop	Y2
Relé Mezclado	Y3
Relé Sistema de llenado	Y4
Relé Banda	Y5
Solenoides sistema de bloqueo tapas	Y6
Solenoides cilindro tapas	Y7
Solenoides cilindro ventosas	Y8
Solenoides ventosas	Y9
Solenoides sistema de bloqueo prensado	Y10
Solenoides cilindro prensado	Y11
Solenoides cilindro de pasadores	Y12
Solenoides actuador rotativo caucho	Y13
Solenoides actuador rotativo ligante	Y14
Solenoides actuador rotativo mezclado	Y15
Solenoides actuador rotativo ventosas	Y16

[Autores]

Una vez definidas las entradas y salidas se procede a realizar el programa de control, el cual debe seguir la siguiente secuencia de funcionamiento:

1. Una vez la maquina se energiza el sistema procede a estar en condiciones iniciales, las cuales son:
  - Cilindro de bloqueo de prensado y pasadores en la posición A+, y los demás cilindros en la posición A- (la posición A+ hace referencia cuando el vástago está completamente afuera y la posición A- cuando el vástago está adentro).
  - Los motores de mezclado y llenado y banda transportadora están apagados.
  - Los actuadores rotativos y de bola en la posición A- (la posición A- en un cilindro rotativo es hacia la izquierda y en un actuador de bola es cuando este está completamente cerrado).
2. Una vez el sistema detecta que el botón de start esta pulsado se debe encender un indicador (el cual nos permite saber que el sistema esta pronto a funcionar) y queda a la espera que se presione el pulsador de mezclado.

3. Cuando el pulsador de mezclado está activo el sistema procede a abrir la válvula de bola del tanque de caucho (Y13) y válvula de bola del tanque de ligante (Y14) por un determinado tiempo (tiempo necesario para que en el tanque de mezclado se deposite las cantidades requeridas), una vez se cumpla este tiempo se deben cerrar estas válvulas y activarse el motor del tanque de mezclado en el sentido correcto para mezclar por un determinado tiempo, además de un indicador que permite apreciar que el sistema se encuentra en la etapa de mezclado; una vez se cumpla el tiempo de mezclado se debe apagar el motor de mezclado y el indicador de la etapa de mezclado y se debe encender el motor de la banda transportadora y un indicador de banda activa.
4. Una vez la banda transportadora está activa se procede a poner los moldes vacíos en la banda transportadora para que estos activen los finales de carrera de cada etapa (llenado, puesta de tapa, prensado y puesta de pasadores).
5. Cada que se active cualquier final de carrera de una etapa la banda transportadora se debe detener. A continuación se explica las acciones que se hacen cuando un molde activa cada etapa:
  - Etapa de llenado: Una vez el final de carrera de la etapa de llenado (X4) se active, la banda transportadora se detiene, seguidamente se activa el indicador de etapa de llenado y el motor de mezclado y llenado se activa en el correspondiente sentido por cierto tiempo (tiempo necesario para llenar el molde con la mezcla); una vez cumplido el tiempo se apaga el motor y el indicador y se activa nuevamente la banda transportadora.
  - Etapa de puesta de tapas: Una vez el final de carrera de la etapa de puesta de tapas (X5) este activo, la banda transportadora se detiene, inmediatamente se activa el indicador de etapa de puesta de tapas, se activa el cilindro dispensador de tapas (Y7) hasta llegar a la posición A+ y así activar el sensor de proximidad (X7) (logrando así llevar una tapa a una determinada posición), seguidamente el cilindro dispensador de tapas vuelve a su posición inicial y se activa el cilindro de ventosas (Y8), cuando este cilindro llega a la posición A+ y activa el sensor de proximidad (X9) se queda en esta posición el tiempo suficiente para que se active las ventosas (Y9) y sujeten la tapa, una vez se realice esta acción se mantiene activo la solenoide del sistema de ventosas y se contrae el cilindro de ventosas hasta lograr la posición A- y así logre activar el sensor de proximidad (X8), una vez este activo el sensor X8 se debe activar el actuador rotativo de

ventosas (Y16) hasta llegar a la posición A+ y activar el final de carrera X15, una vez el actuador rotativo este en la posición A+ se deberá quedar en esta posición el tiempo necesario para que el cilindro de ventosas (Y8) llegue a la posición A+ y active el sensor de proximidad X9 y dar señal para que el sistema de ventosas (Y9) se desactive (soltando así la tapa), seguidamente el cilindro de ventosas y el actuador rotativo vuelvan a su posición inicial, dando indicación para que el cilindro de bloqueo pase de la posición A+ a A- (por un tiempo determinado para que el molde pase), activando el sensor de proximidad X18, el cual da señal para que se desactive el indicador de esta etapa y la banda transportadora se active nuevamente con su respectivo indicador.

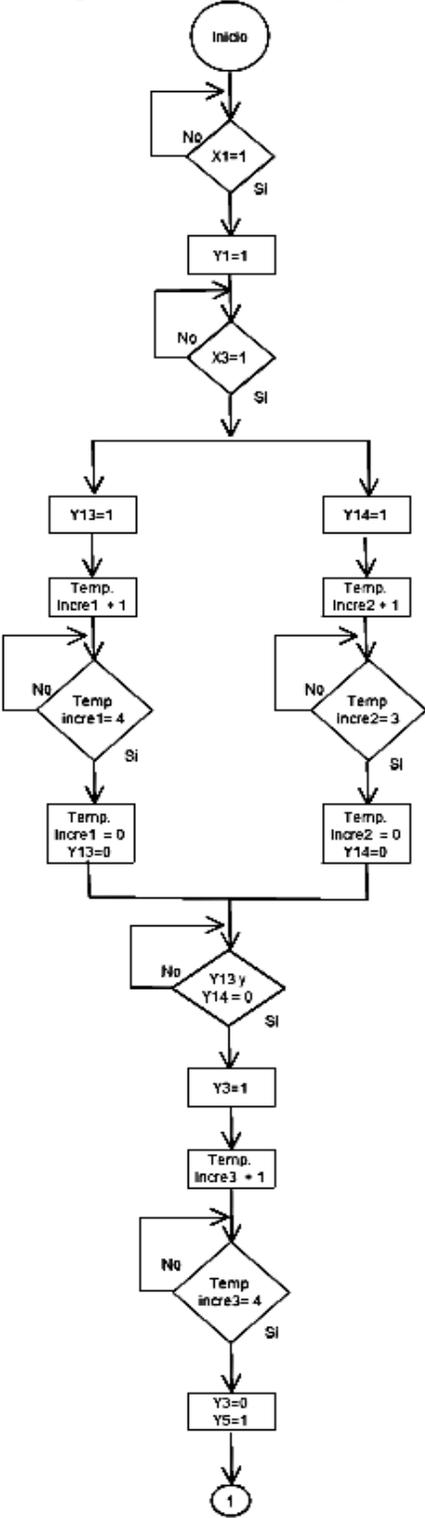
- Etapa de prensado y puesta de pasadores: Una vez de active el final de carrera de esta etapa (X10), el motor de banda transportadora se detendrá, seguidamente se activara el cilindro de prensado (Y11) hasta activar a la posición A+ y activar el sensor de proximidad X12 (logrando así compactar la mezcla) y en esta posición estará el tiempo necesario para que el cilindro de puesta de pasadores (Y12) se active hasta llegar a la posición A+ (logrando así poner los pasadores en su sitio), seguidamente vuelve a la posición A- el cilindro de pasadores y el cilindro de prensado, dando señal para que el cilindro de bloqueo de prensado pase de la posición A+ a A- (por un tiempo determinado para que el molde pase) activando el sensor de proximidad X20, el cual da señal para que se desactive el indicador de esta etapa y la banda transportadora se active nuevamente con su respectivo indicador.

El sistema siempre debe estar atento a la activación de los botone de stop y paro de emergencia.

Los cilindros de sistema de bloqueo tapas y sistema de bloqueo tapas tienen como función asegurar que el molde quede en la posición exacta para que la puesta de tapa y prensado sea exitoso y no haya problemas de posicionamiento con el molde.

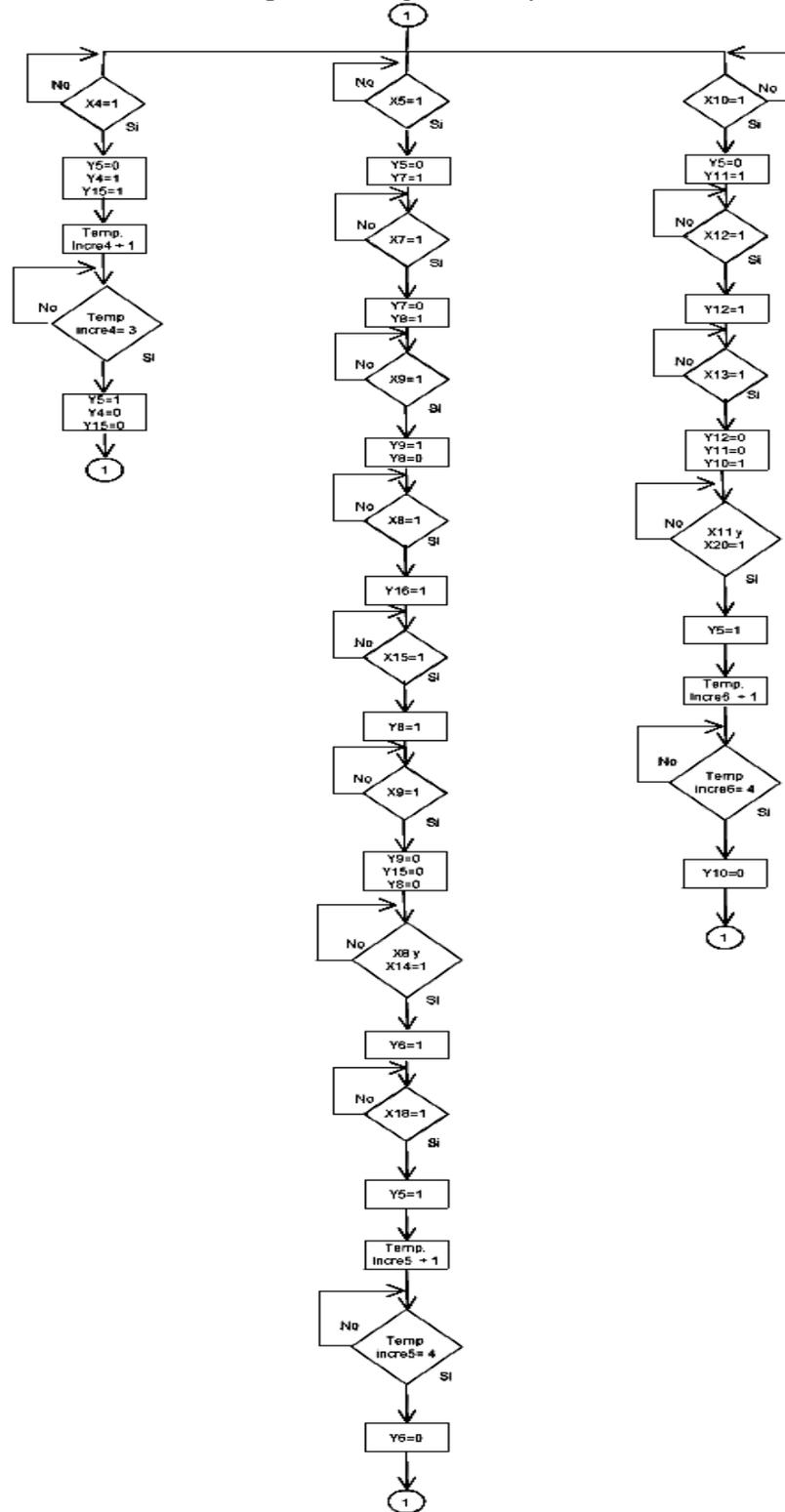
En las siguientes imágenes se puede apreciar el diagrama de flujo general del programa de control del sistema.

Figura 72. Diagrama de flujo 1



[Autores]

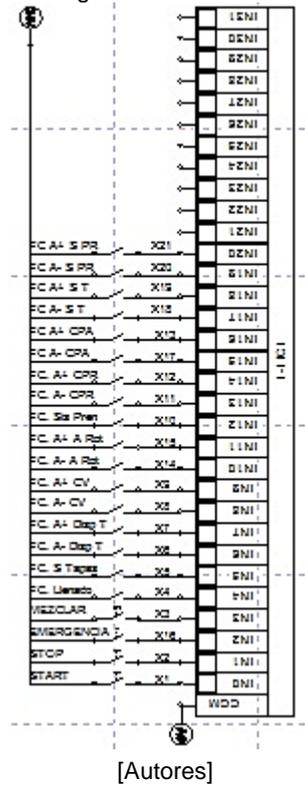
Figura 73. Diagrama de flujo 2



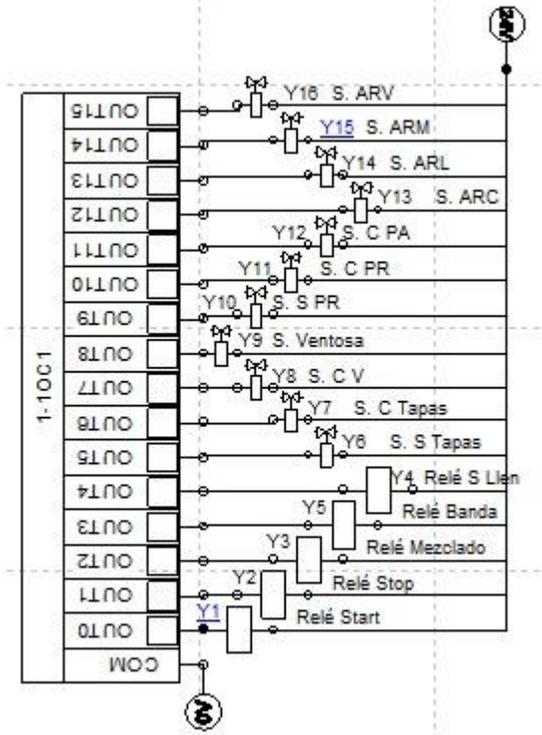
[Autores]

Una vez definido la secuencia de control del sistema se procede a programar las entradas y salidas del sistema en el entorno de simulación del software *AUTOMATION STUDIO*. En las siguientes imágenes se puede apreciar la configuración de las entadas y salidas en el entorno de simulación.

Figura 74. Configuración de entradas del sistema



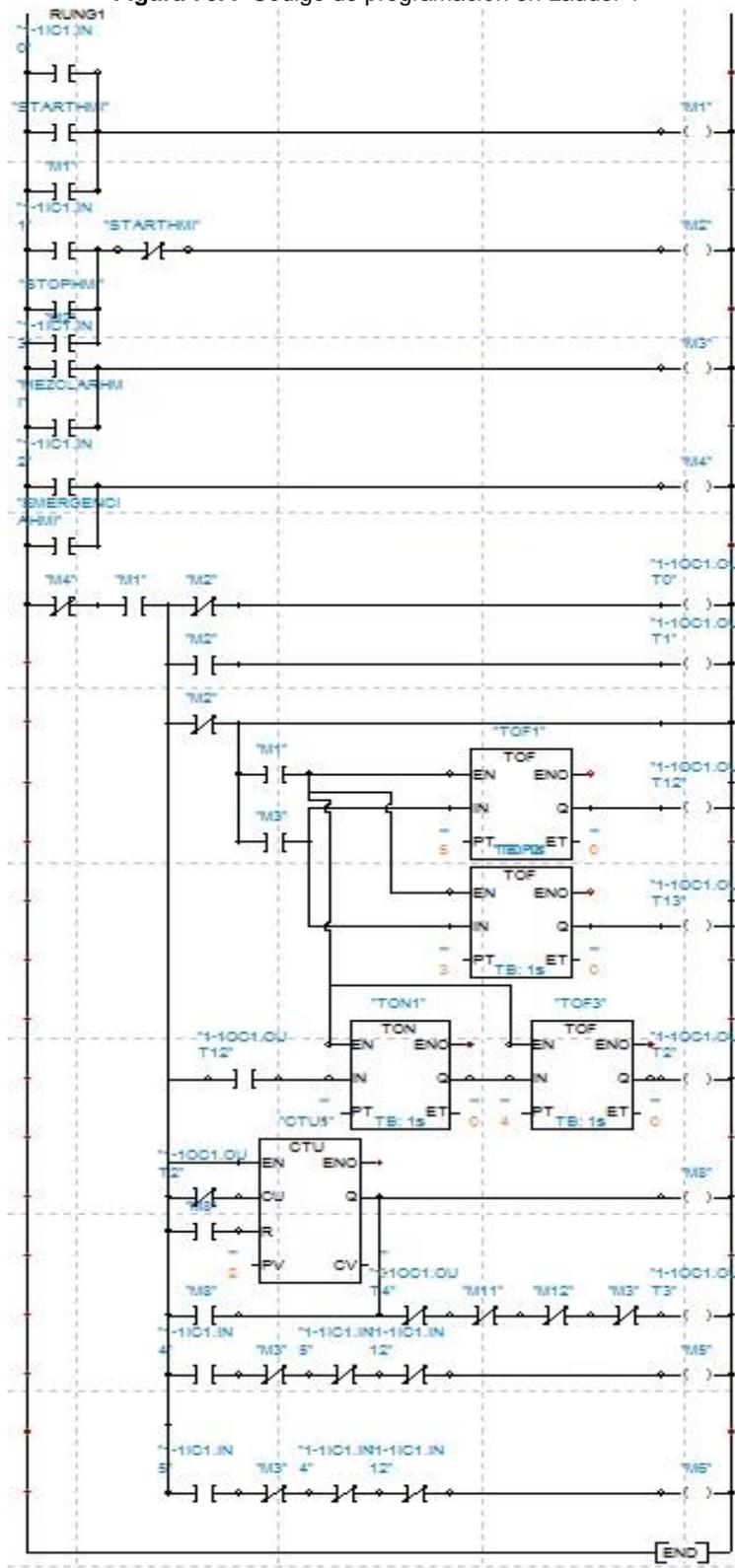
**Figura 75.** Configuración de salidas del sistema



[Autores]

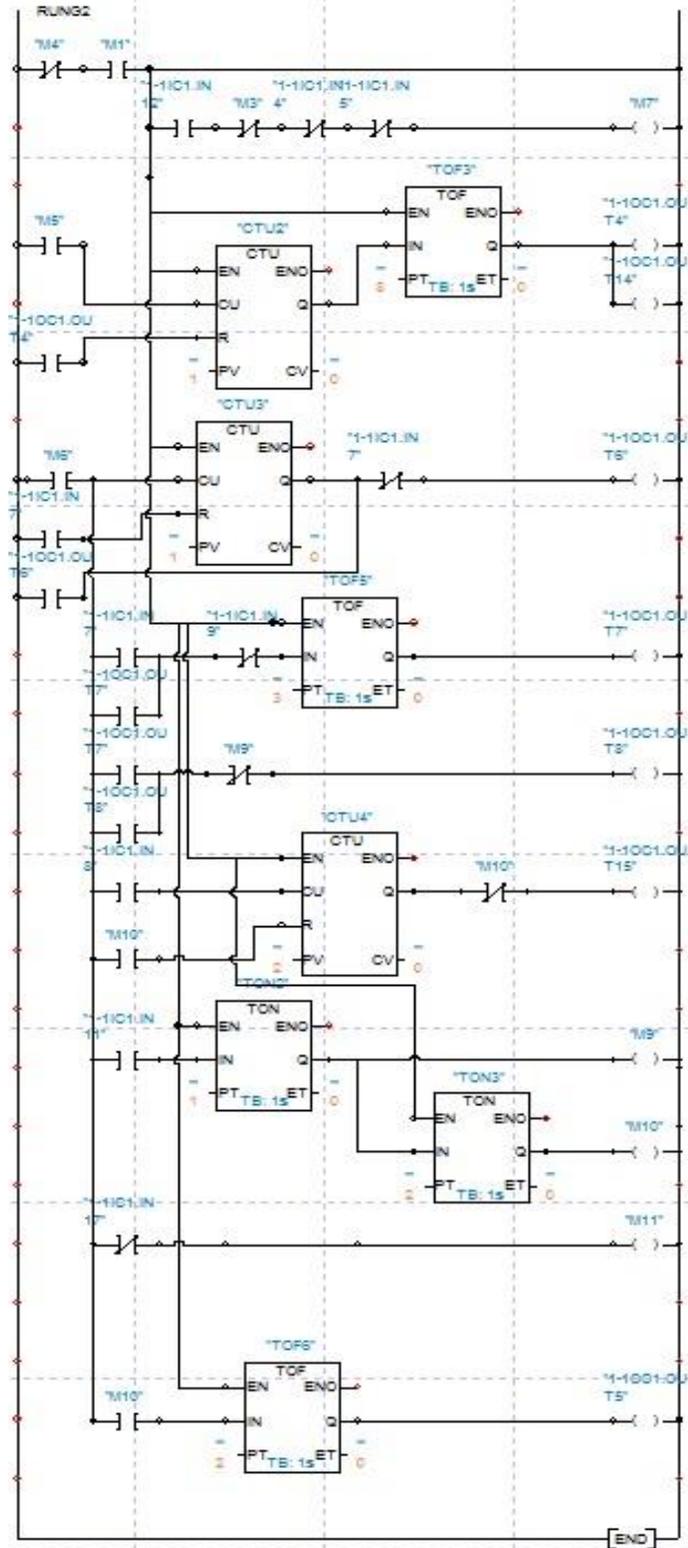
Una vez configuradas las entradas y salidas del sistema se procede a realizar la programación. La programación se realiza en lenguaje de contactos o más conocido como ladder, el cual es un lenguaje estándar para programación de plc's. En las siguientes imágenes se puede observar el código de programación realizado en lenguaje ladder en el entorno de simulación de *AUTOMATION STUDIO*.

Figura 76. . Código de programación en Ladder 1



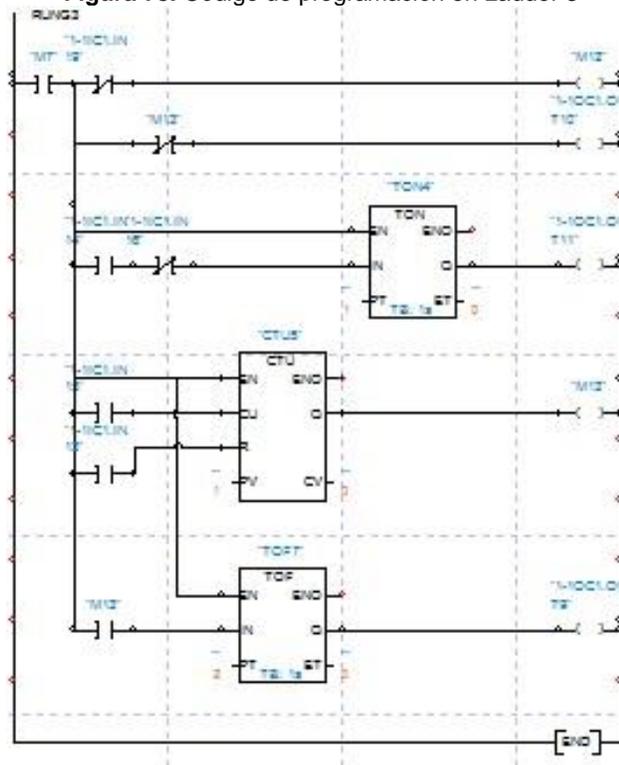
[Autores]

Figura 77. Código de programación en Ladder 2



[Autores]

Figura 78. Código de programación en Ladder 3

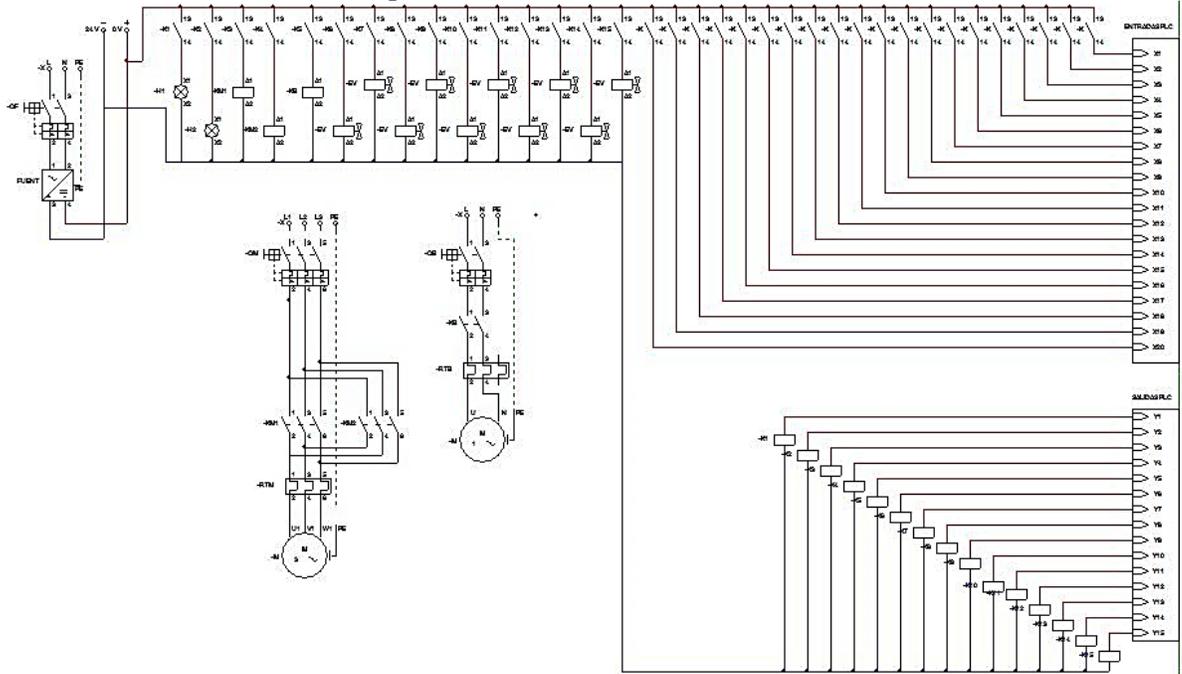


[Autores]

### 4.3 PLANOS ELECTRICOS DE CONEXIÓN

El plano eléctrico permite realizar una correcta conexión entre los diferentes componentes que conforman el sistema, además permite hacer un seguimiento del circuito para encontrar posibles fallas en el montaje. En la siguiente imagen se puede apreciar el plano eléctrico con las respectivas conexiones físicas de la máquina.

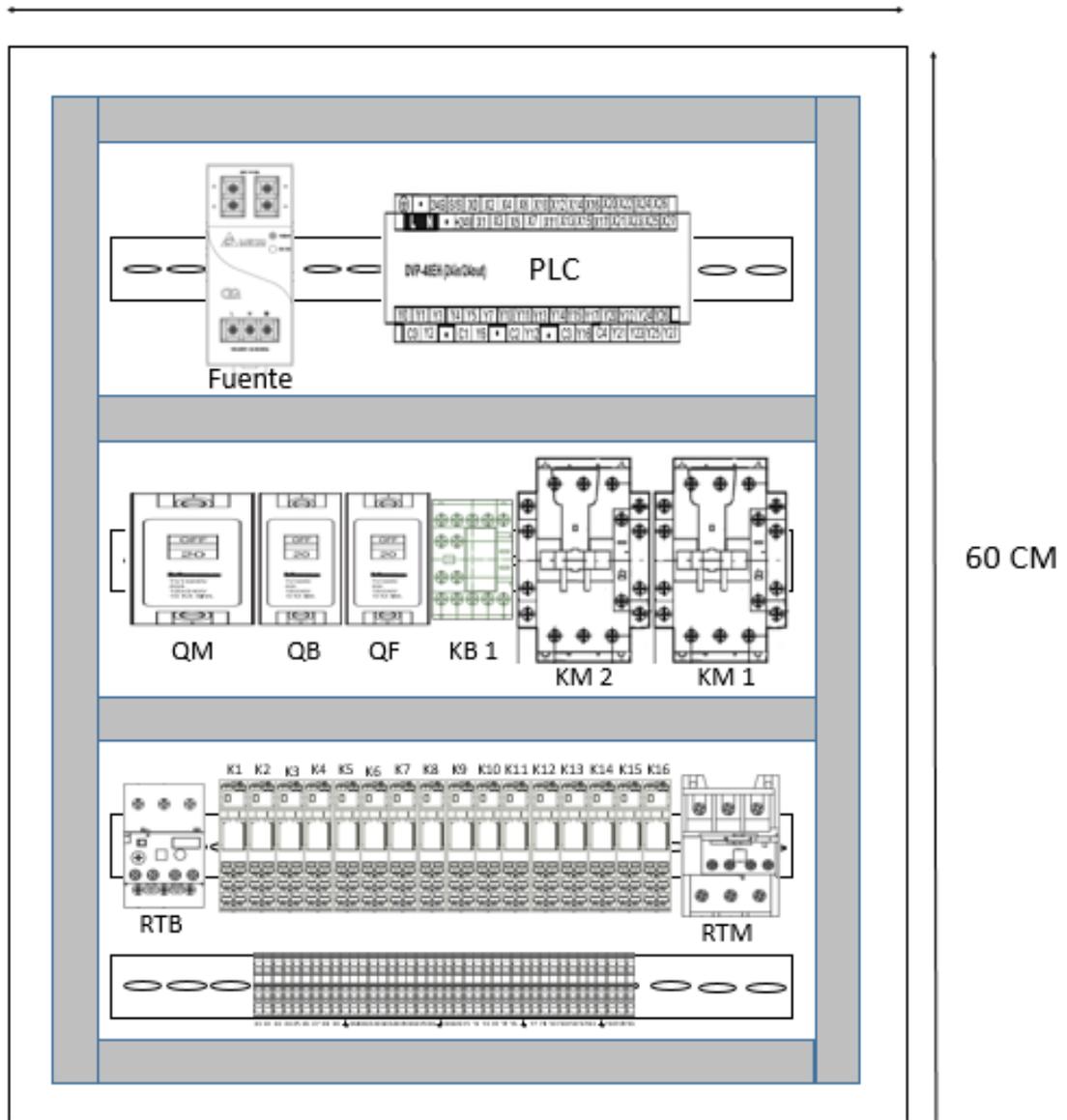
Figura 79. Plano de conexiones eléctricas.



[Autores]

Una vez diseñado el circuito de conexiones se procede a diseñar el circuito de distribución en el tablero eléctrico siguiendo el reglamento Técnico de Instalaciones Eléctricas R E T I E, teniendo en cuenta las medidas físicas reales de cada componente del sistema y elegir un gabinete apropiado. En la siguiente imagen se puede observar el circuito de distribución del tablero eléctrico.

**Figura 80.** Circuito de distribución de tablero eléctrico  
50 CM

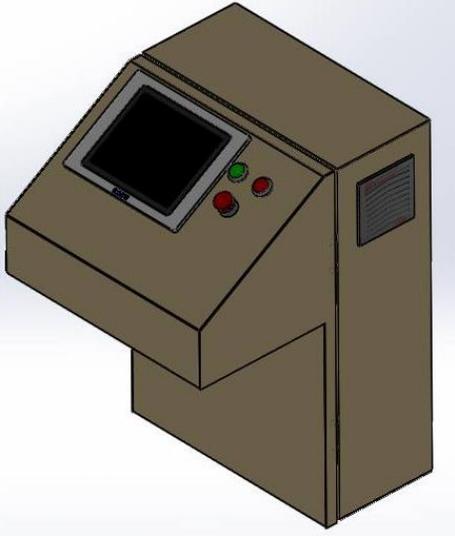


[Autores]

Como se puede observar en la figura anterior, el gabinete debe contar con unas medidas de 50 cm de ancho y 60 centímetros de alto, además siguiendo la normatividad R E T I E el espesor de la lámina del tablero debe ser mayor a 0,9 mm ya que es un tablero que solo presenta 2 tipos de circuito (circuito de potencia y circuito de control) por lo tanto el gabinete cuenta con un espesor de 1,9 mm. Una vez conocidas las medidas necesarias se procede a elegir el gabinete apropiado

para el sistema. En la siguiente imagen se puede observar el gabinete seleccionado para el sistema.

**Figura 81.** Gabinete de componentes eléctricos



[Autores]

## 5. ANÁLISIS Y COSTOS

En este capítulo se presenta la cotización de cada uno de los componentes de los diferentes procesos realizados a lo largo del desarrollo del diseño. En las siguientes tablas se pueden observar el listado de componentes y su respectiva cotización.

Tabla 15. Lista de materiales y precios eléctricos

LISTADO DE MATERIALES ELECTRICOS Y DE CONTROL				
NOMBRE DE COMPONENTE	CANTIDAD	REFERENCIA	RECIO UNID.	RECIO TOTAL
Relevo 8 pines Voltaje DC 10 A	16	VRPL08-024	28.900	462.400
Base de pines montaje 8 pines	16	YBP-08	16.700	267.200
Pilotos electrónicos 24 YDC	2	QE22R-24	5.900	11.800
Terminales en anillo con aislante en vinilo	1	YTA-1,25-3	9.500	9.500
Terminal tipo U	1	YTU-2-3	11.900	11.900
PLC Delta serie DYP-EH2	1	DYP48EH00RZ	2.533.500	2.533.500
Fuente 24 YDC - 5 A	1	DRP024Y1290W1AA	571.000	571.000
Pulsador Rasante sin retención 22 mm	2	8LP2TB103	38.200	76.400
Paro de emergencia	1	LPCB6744	99.900	99.900
Bloques de contacto y bases de fijación	1	LPXC10	18.900	18.900
Bloque portalámparas LED	2	LPXLEM4	40.900	81.800
Bornera unipolar 20 a 12 AVG 25 A	37	CBP.2	2.600	96.200
Bornera para tierra 25 A	4	64	12.900	51.600
Referenciado para borneras	20	KMJ	1.100	22.000
Contactador Tripolar Bobina 24 YDC - 50 A	1	DIM50L(24)	710.000	710.000
Contactador Bipolar 12 A	1	DILM12-10	192.000	192.000
Disyuntor Termomagnetico Tripolar	1	mMC6-C50/3	118.000	118.000
Disyuntor Termomagnetico Bipolar	1	mMC6-C16/2	51.500	51.500
Disyuntor Termomagnetico Bipolar	1	mMC6-C6/2	51.500	51.500
Relé Térmico	1	RF95.3.50	390.000	390.000
Relé Térmico	1	RF38 1400	163.500	163.500
Riel omega perforado x 2 m	1		15.000	15.000
Canaleta 25 x 30 x 1 m	1		22.000	22.000
Pantalla Touch	1	DEL0227	2.292.000	2.292.000
Cable eléctrico flexible C 18 x 100 m	1		120.000	120.000
Prensa estopa 1/2 "	1		5.500	5.500
Coraza negra 1/2" x 1 m	1		4.500	4.500
Cable encauchetado C 14 AVG	30		3.000	90.000
Motorreductor	1		4.900.000	4.900.000
Motor Eléctrico	1	014-762-0028	875.000	875.000
TOTAL			14.314.600	

[Autores]

**Tabla 16.** Lista de materiales y precios estructurales, mecánicos y neumáticos

LISTADO DE MATERIALES ESTRUCTURALES-MECANICOS-NEUMATICOS				
NOMBRE DEL COMPONENTE	CANTIDAD	REFERENCIA	RECIO UNIDA	RECIO TOTAL
Viga de Hierro IPN x 6 m	1	Viga IPN-120	222.921	222.921
Viga de Hierro UPN X 6 m	2	Viga UPN-80	191.708	383.416
Tubo Cuadrado 80X80X5 mm X 6 m	7	TQ80X80X5	337.018	2.359.127
Perfil Angular 25 X 3 mm X 6 m	1	ngulo 25x3 m	32.900	32.900
Macizos Redondos 20 mm	1	MR20	48.507	48.507
Cilindro Neumático	2	CL16025	173.120	346.240
Cilindro Neumático	2	CL16100	202.730	405.460
Cilindro Neumático	1	CL16175	233.480	233.480
Bobina Válvula	10	YSB2	72.920	729.200
Válvula 5/2 Mono Estable	10	YSN08022	261.960	2.619.600
Válvula de Bola	3	PBAC04032	498.400	1.495.200
Unidad de Mantenimiento	1	UM2032	420.130	420.130
Silenciadores	18	AS02	16.050	288.900
Generador de Vacío	1	OB00420	2.186.380	2.186.380
Ventosa	2	OYP115	29.280	58.560
Racor Recto	27	RM1020209	8.690	234.630
Control de Flujo	4	RP1010202	54.380	217.520
Chumacera	1		28.000	28.000
Tornillería y Tuercas				30.000
Bisagras	8		5.500	44.000
Lamina Acero Inoxidable Cal 14	1		670.000	670.000
Lamina de acero Galvanizado Cal 14	1		430.000	430.000
Tornillería			100.000	100.000
Banda Transportadora	1		15.000.000	15.000.000
Chumacera	1		38.000	38.000
<b>TOTAL</b>				<b>28.685.171</b>

[Autores]

**Tabla 17.** Costo final

NOMBRE	DESCRIPCION	PRECIO
PARTE MECANICA	Perfiles-Tornillería-Laminas Etc.	28.685.171
PARTE ELECTRICA	Control-Mando-Potencia Etc.	14.314.600
MANO DE OBRA	Cortes-Soldadura-Perforaciones	3.000.000
DISEÑO Y DESARROLLO	Diseño Mecánico, Eléctrico, Programación	7.000.000
<b>TOTAL</b>		<b>52.999.771</b>

[Autores]

Como se puede observar en la anterior tabla, el costo de fabricación del diseño presentado es de \$ 52'999.771 COP (cabe aclarar que esta cotización puede variar según costos de fabricantes).

## 6. CONCLUSIONES

- En la determinación de una estrategia para el moldeo de caucho reciclado de llantas usadas, se pudo determinar que la mejor forma de realizar este proceso según los datos obtenidos de las pruebas realizadas, es depositando la mezcla en un molde y aplicarle la presión suficiente para que el volumen de la mezcla se reduzca hasta la mitad y dejando que esta presión se mantenga todo el tiempo de secado, ya que siguiendo este proceso las propiedades mecánicas finales del producto son las mejores para el trabajo requerido.
- Se pudo desarrollar el diseño del sistema mecánico adecuado para la máquina, gracias a los resultados obtenidos de las pruebas realizadas de mezclado, compactación y secado, debido que en este proceso se logró conocer las formas y los requerimientos mecánicos para cada paso de la fabricación de adoquines, con esta información se logró realizar el diseño en *solidworks* que cumpliera con los requerimientos de diseño.
- En el diseño eléctrico de la maquina se pudo llevar a cabo con las tareas requeridas, ya que en el entorno de simulación y programación, el sistema siempre cumplió con la secuencia propuestas, además en el diseño de cada circuito eléctrico siempre se siguió la normativa RATIE
- El diseño de un sistema de supervisión de etapas cumplió con las expectativas propuestas, ya que se logró programar una interfaz gráfica, la cual se encarga de visualizar el seguimiento de cada una de las etapas del proceso en el transcurso de fabricación del adoquín.

## 7. RECOMENDACIONES

Una vez concluido el proyecto se considera importante investigar sobre otros aspectos relacionados con la fabricación de adoquines a base de caucho reciclado por lo tanto se propone:

- Realizar un análisis de propiedades mecánicas como: elasticidad, plasticidad, dureza, conductividad térmica, fatiga al adoquín fabricado para determinar su confiabilidad en diferentes aplicaciones.
  
- Realizar una investigación previa para conocer la viabilidad y el impacto de este producto en ámbito ambiental, económico y social.

Además de lo anterior también se recomienda mejorar algunos aspectos del proyecto como:

- Mejorar el sistema de supervisión de tapas, con el fin de monitorear otros estados del proceso como: estado de actuadores, sensores y niveles de tanques.

## 8. BIBLIOGRAFIA

- [1]. Noticias RCN. Así se reciclan las llantas usadas en Bogotá [En línea]. Disponible en: <http://www.noticiasrcn.com/videos/asi-se-reciclan-las-llantas-usadas-bogota> [Consultado el día 20 de febrero de 2015]
- [2]. Castro, Guillermo. Materiales y compuestos para la industria del neumático: DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA F.I.U.B.A. [en línea]. Disponible en: [http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material\\_Complementario/Materiales\\_y\\_Compuestos\\_para\\_la\\_Industria\\_del\\_Neumatico.pdf](http://campus.fi.uba.ar/file.php/295/Material_Complementario/Materiales_y_Compuestos_para_la_Industria_del_Neumatico.pdf) (Consultado el día 29 de octubre del 2015)
- [3]. Torres Ospina, Hermes Andrés. Valoración de propiedades mecánicas y de durabilidad de concretos adicionado con residuos de llantas de caucho: Escuela Colombiana de ingeniería Julio Garavito. Bogotá, 2014.
- [4]. Miranda Guardiola, Rosa del Carmen. Segovi Martínez, Ciro Cesar. Sosa Blanco, Cesar Alberto. Pirolisis de llantas usadas, Estudio cinético: Facultad de ciencias químicas UANL. México, Septiembre del 2006.
- [5]. Ligante 4000, Krypton Chemical SI, Gama Raystol: Ficha técnica.
- [6]. Ligante Asfáltico, Krypton Chemical SI, Gama Raystol: Ficha técnica.
- [7]. Ligante UV, Krypton Chemical SI, Gama Raystol: Ficha técnica.
- [8]. Mott, L, Robert. Mecánica de fluidos aplicada. 4ta edición. México, 1996. P. 23- 27. (ISBN 968-880-542-4)
- [9]. MOTOX Geared Motors Catalog D 87.1 – 2010
- [10]. Cepex. Válvulas actuadas eléctrica y neumática [En línea]. Disponible en: <http://www.cepex.com/productos-agua/valvulas-actuadas-electrica-y-neumatica> [Consultado el día 23 de noviembre de 2015]
- [11]. Young, Hugh D, Freedman, Roger A Fisica Universitaria. 12ava edición. México, 2009. P 150. (ISBN 978-607-442-288-7)
- [12]. Siegling transilon. Forbo Movement Systems. Bandas de transporte y procesamiento. Cálculo de banda transportadora.

- [13]. Siegling transilon. Forbo Movement Systems. Bandas de transporte y procesamiento: Programa.
- [14]. BISON GEAR, catálogo de productos [En línea]. Disponible en: <<http://www.bisongear.com/printable-spec-sheet.php?sku=014-762-0028>> [Citado 1 de abril de 2015]
- [15]. AIRMAT LTA PEREIRA, neumática, hidráulica, instrumentación y vapor. Catálogo de productos.
- [16]. FESTO. Catálogo de productos: Actuadores giratorios DFPB. Disponible en: [https://www.festo.com/cat/es-co\\_co/data/doc\\_es/PDF/ES/DFPB\\_ES.PDF](https://www.festo.com/cat/es-co_co/data/doc_es/PDF/ES/DFPB_ES.PDF) [Citado 31 de enero de 2015]
- [17]. Campos Nava Marcos, CÁLCULOS EN INSTALACIONES ELÉCTRICAS, UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DEL ESTADO DE HIDALGO, 2012, España.
- [18]. Voltech, catálogo de productos. Disponible en: <https://www.voltech.com.mx/cables.php> [Citado 4 de abril de 2015]
- [19]. Martínez Argote Alfredo, Calculo de Caídas de Tensión, Universidad del País Vasco, España.
- [20]. Oriol Boixaragones, miguel A. saigigrau, Ferran Zabaleta Alaña, automatismos eléctricos programables, Universidad Politécnica de Cataluña, España, 2004.
- [21]. IHS ENGINEERING360: Delta Programmable Logic Controller -- DVP48EH00R2 [En línea]. Disponible en: <http://datasheets.globalspec.com/ds/714/DeltaProducts/2E5B6E0F-1391-488D-819B-C182DF78CE02> [Citado 8 de marzo de 2016].
- [22]. DELTA. TECHNICAL DATASHEET CliQ DIN Rail Power Supply

## ANEXOS

### Anexo A

- Guía de cálculo de banda
- Siegling bandas materiales
- Ficha técnica A motor BISON GEAR
- Ficha técnica B motor BISON GEAR

### Anexo B

- 04 Ventosas
- Actuadores giratorios DFPB
- catalogo cilindro Festo
- catalogo generador de vacío
- Cepex - Pneumatic Actuation
- Electroválvulas VUVS batería de válvulas VTUS
- Hydraulic cylinder mill type

### Anexo C

- 52003628\_EN\_DE\_RIFLINE\_Complete\_LoRes
- Bornes para carril Phoenix
- Catalogo Motorreductores 2
- Catalogo-Dexson
- Circuito de simulación neumático, hidráulico, eléctrico, supervisión y programación en *AUTOMATION STUDIO*.
- Datasheet\_drp024v120w1aa
- DELTA PLC DATASHEET
- Eaton Distribution Catalogue
- Ficha técnica DILM12-10
- Ficha técnica DILM50
- general\_catalogue\_2014-2015\_full
- PLC DELTA DVP48EH00R2
- Relay Module - RIF-1-RPT-LV-230AC 1X21
- Touch Screen DOP-B

## **Anexo D**

- Piezas y ensamblajes en *SOLIDWORKS*
- Planos en *SOLIDWORKS*
- Planos en PDF

## **Anexo E**

- Ligante Caucho 4000
- Ligante Caucho alifático
- Ligante Caucho UV