

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE EMPAQUE PARA TRANSPORTE DE PRODUCTOS AL GRANEL

JUAN PABLO VERGARA RAMIREZ

UNIVERSIDAD TECNOLOGICA DE BOLIVAR  
FACULTAD INGENIERIA MECANICA  
CARTAGENA D.T Y C.  
2008

# DISEÑO DE UN SISTEMA DE EMPAQUE PARA TRANSPORTE DE PRODUCTOS AL GRANEL

JUAN PABLO VERGARA RAMIREZ

*Trabajo de grado presentado para optar al título de Ingeniero  
Mecánico*

*Director*  
VLADIMIR QUIROZ  
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD TECNOLÓGICA DE BOLÍVAR  
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA  
CARTAGENA D.T. Y C.  
2008

Nota de aceptación

-----  
-----  
-----

-----  
Presidente del Jurado

-----  
Jurado

## RESUMEN

En este proyecto se busca desarrollar un sistema de empaque, el cual tenga como características principales que sea de fácil manejo, no contamine el medio ambiente, no contamine el producto y minimice los costos en las industrias Colombianas.

Como este es un proyecto de investigación y debido a que existe muy poca bibliografía respecto a este tema, se tuvo que realizar un prototipo en el cual se realizaron pruebas, para saber como se comportaría el producto y el empaque dentro de la tracto mula que los transportaría.

En este proyecto las pruebas fueron realizadas con resina de PVC 440.

En estas pruebas se observo que no todo el producto fluiría libremente, por lo cual debería ser ayudado por un sistema que hiciera fluir el producto, por lo cual nació la necesidad de diseñar un inflable. Dicho inflable en el momento de inyectarle aire tomaría una forma triangular que permita darle la pendiente suficiente para que el producto fluya dentro de empaque y se deslicé hasta los agujeros de descarga.

Con esto se obtendrá que fluya la totalidad del producto.

El sistema tendrá 5 agujeros de carga en la parte superior, por los cuales se vaciara el producto a transportar.

Y tendrá 5 o 10 agujeros de descarga dependiendo de las necesidades de la industria.

# TABLA DE CONTENIDO

Pág.

<b>Introducción</b>	
<b>1. Descripción del problema.</b>	<b>1</b>
<b>2. Formulación del problema.</b>	<b>2</b>
<b>3. Objetivo de la investigación.</b>	<b>3</b>
<b>3.1. Objetivos específicos.</b>	<b>3</b>
<b>4. Justificación.</b>	<b>4</b>
<b>5. Marco de referencia.</b>	<b>5</b>
<b>5.1. Formas de transporte.</b>	<b>5</b>
<b>5.2. Estado del arte.</b>	<b>8</b>
<b>6. Especificaciones técnicas del producto.</b>	<b>11</b>
<b>7. Construcción del prototipo.</b>	<b>13</b>
<b>7.1. Dimensiones del prototipo.</b>	<b>14</b>
<b>7.2. Masa del prototipo.</b>	<b>18</b>
<b>7.3. Dimensiones recalculadas.</b>	<b>23</b>
<b>7.4. Fabricación del prototipo.</b>	<b>25</b>
<b>8. Pasos para realizar pruebas.</b>	<b>31</b>
<b>8.1. Prueba con 10 agujeros.</b>	<b>33</b>
<b>8.2. Pruebas con 5 agujeros.</b>	<b>39</b>
<b>9. Empaque.</b>	<b>46</b>
<b>9.1. Tipo de material de empaque.</b>	<b>47</b>
<b>9.2. Geometría del empaque.</b>	<b>48</b>
<b>9.3. Geometría del empaque.</b>	<b>53</b>
<b>9.4. Agujeros de llenado.</b>	<b>56</b>
<b>9.5. Sujeción.</b>	<b>60</b>
<b>10. Inflable.</b>	<b>66</b>
<b>10.1. Inflable para 10 agujeros.</b>	<b>67</b>
<b>10.2. Inflable para 5 agujeros.</b>	<b>76</b>

	hhh
<b>10.3. Presión y volumen necesarios para 5 agujeros.</b>	
<b>10.4. Presión y volumen necesario para 10 agujeros.</b>	<b>82</b>
<b>11. Empaque Un solo Cuerpo.</b>	<b>88</b>
<b>11.1. Sistema 5 agujeros.</b>	<b>94</b>
<b>11.2. Sistema 10 agujeros.</b>	<b>95</b>
<b>12. Beneficios en la Industria.</b>	<b>99</b>
<b>12.1. Proceso de empaque actual.</b>	<b>103</b>
<b>12.2. Proceso de empaque con este proyecto.</b>	<b>104</b>
<b>Conclusión.</b>	<b>108</b>
<b>Recomendaciones.</b>	<b>110</b>
<b>Bibliografía.</b>	<b>111</b>
	<b>112</b>

## LISTA DE FIGURAS

- Figura 1. Tractomula.
- Figura 2. Silo Rígido.
- Figura 3. Contenedor Con Polietileno.
- Figura 4. Súper Saco.
- Figura 5. Tractomula Cargada Con Súper Sacos.
- Figura 6. Carrocería De una Tractomula.
- Figura 7. Dimensiones Francas Del Prototipo.
- Figura 8. Tractomula Cargada Con Súper Sacos.
- Figura 9. Tractomula Cargada Con Súper Sacos Vista Lateral.
- Figura 10. Perfil Del Prototipo Recalculado.
- Figura 11. Prototipo Antes De Armar.
- Figura 12. Prototipo Armado.
- Figura 13. Perfil Del Prototipo.
- Figura 14. Tractomula Con Orificios.
- Figura 15. Vista Lateral De Una Tractomula Tipo Carbonera.
- Figura 16. Prototipo Con 5 Agujeros.
- Figura 17. Prototipo Con 10 Agujeros.
- Figura 18. Prototipo Antes De Las Pruebas.
- Figura 19. Prototipo Con 10 Agujeros.
- Figura 20. Prototipo Con 10 Agujeros Cargado.
- Figura 21. Prototipo De 10 Agujeros Descargando.
- Figura 22. Prototipo Con 10 Agujeros Vaciado.
- Figura 23. Prototipo Con 5 Agujeros.
- Figura 24. Prototipo Con 5 Agujeros Cargado.
- Figura 25. Prototipo Con 5 Agujeros Descargando.
- Figura 26. Prototipo Con 5 Agujeros Con La Masa Que No Fluyo.
- Figura 27. Tractomula Con Orificios.
- Figura 28. Segmento Circular.
- Figura 29. Diferencia De Áreas.
- Figura 30. Datos Del Segmento Circular.
- Figura 31. Perfil Del Empaque.
- Figura 32. Vista Superior Del Empaque Con Mangas De Carga.
- Figura 33. Vista Frontal Del Empaque Con Mangas.
- Figura 34. Empaque Con Mangas De Carga.
- Figura 35. Empaque Con Mangas De Llenado.
- Figura 36. Perfil Del Empaque Con Agujeros De Descarga.
- Figura 37. Vista Frontal Del Empaque Con 10 Agujeros De Descarga.
- Figura 38. Vista Frontal Del Empaque Con 5 Agujeros De Descarga.
- Figura 39. Empaque Con 5 Orificios De Descarga.
- Figura 40. Empaque Con 10 Agujeros De Descarga.
- Figura 41. Agujeros De Descarga.
- Figura 42. Sujeción Del Empaque De 10 Agujeros.
- Figura 43. Sujeción Empaque 5 Agujeros.
- Figura 44. Vista Superior Empaque 10 Agujeros.
- Figura 45. Vista Superior Empaque 5 Agujeros.

Figura 46. Prototipo De 10 Agujeros Con Producto Que No Fluyo.  
Figura 47. Vista Superior Del Prototipo De 10 Agujeros.  
Figura 48. Esquina Del Prototipo De 10 Agujeros.  
Figura 49. Vista De La Esquina Del Prototipo.  
Figura 50. Otra Vista De La Esquina Del Prototipo.  
Figura 51. Producto En Los Agujeros.  
Figura 52. Forma Del Inflable.  
Figura 53. Vista Frontal Del Inflable De 10 Agujeros.  
Figura 54. Vista Superior Del Inflable De 10 Agujeros.  
Figura 55. Prototipo Con 5 Agujeros Con Producto.  
Figura 56. Producto Alrededor De Los Agujeros De Descarga.  
Figura 57. Esquina Del Prototipo De 5 Agujeros.  
Figura 58. Inflable De 5 Agujeros.  
Figura 59. Vista Frontal Del Inflable De 5 Agujeros.  
Figura 60. Vista Superior Del Inflable De 5 Agujeros.  
Figura 61. Vista Frontal Del inflable De 5 Agujeros.  
Figura 62. Vista Lateral Del Inflable De 5 Agujeros.  
Figura 63. Vista Del Área A3.  
Figura 64. Vista Frontal Inflable De 10 Agujeros.  
Figura 65. Vista Lateral Del Inflable De 5 Agujeros.  
Figura 66. Vista Del Área A3.  
Figura 67. Vista Frontal Sistema De 5 Agujeros.  
Figura 68. Vista Superior Sistema 5 Agujeros.  
Figura 69. Vista Lateral Sistema 5 Agujeros.  
Figura 70. Sistema De 5 Agujeros Completo.  
Figura 71. Vista Frontal Del Sistema 10 Agujeros.  
Figura 72. Vista Lateral Del Sistema De 10 Agujeros.  
Figura 73. Vista Superior Del Sistema De 10 Agujeros.  
Figura 74. Sistema De 10 Agujeros.  
Figura 75. Plano De Súper Saco.  
Figura 76. Súper Saco Almacenado.  
Figura 77. Proceso Actual.  
Figura 78. Proceso Con El Proyecto Implantado.



## **LISTADO DE TABLAS**

Tabla 1. Dimensiones Del Prototipo.

Tabla 2. Inventario De Piezas.

Tabla 3. Dimensiones Del Prototipo Recalculadas.

Tabla 4. Requerimiento De Piezas.

Tabla 5. Datos Obtenidos De La Prueba Con 10 Agujeros.

Tabla 6. Resultados Prueba 5 Agujeros.

# INTRODUCCIÓN

El desarrollo industrial a traído consigo la importación y la exportación de las materias primas en sus estados naturales y el transporte ha tenido que ponerse a tono con este comercio que actualmente se hace.

Por esta razón es que nace la necesidad de buscar una forma en la cual se transporten las materias primas con la mayor seguridad en cuanto a contaminación ambiental y contaminación de productos.

Al principio se comenzó a empacar en bolsas de papel o sacos de fique que podían cargar entre 25 Kg. hasta 40 Kg., pero llego un momento en que la gran demanda de producto volvía ineficiente y muy costoso este tipo de empaque, por lo que se necesitaban varias personas y varias empacadoras para poder empacar la gran cantidad de producto que se producía, por lo cual se comenzó a empacar en súper sacos de polietileno que podían contener desde 500Kg hasta 1000Kg, los cuales son reutilizables, dichos súper sacos volvía las líneas de empaque mas eficientes en cuanto al tiempo de empaque comparado con los sacos de fique o bolsas tradicionales, dichos súper sacos tienen gran utilización hoy en día.

Debido a la competencia en el mercado se a buscado optimizar y mejorar el sistema de empaque, por lo cual se ha pensado en encontrar un sistema que ahorre tiempo y dinero, por lo cual este proyecto de grado busca como objetivo principal diseñar un silo flexible portátil, el cual ahorre los costo de empaque, horas hombre, horas montacargas en el cargue y descargue, volviendo mas eficiente la industria Colombiana de productos al granel.

# 1. DESCRIPCION DEL PROBLEMA

Actualmente se está transportando la materia prima, en forma de gránulos (productos granulados) que llega al país en vehículos no adecuados para este tipo de transporte, como volquetas de volteo o tracto mulas, presentándose contaminación en los productos y contaminando el medio ambiente.

Prueba de ello son los productos que encontramos esparcidos en las diferentes vías de acceso a las empresas y en las vías de la ciudad.

Otro medio de transporte son los container que son totalmente cerrados, pero muy incómodos para el descargue, ya que tiene que realizarse en forma manual, lo que produce un tiempo muerto en el camión, elevado valor en el flete y un nuevo costo ya que dicho container tiene que devolverse vacío hasta su lugar de origen.

También son muy utilizados unos súper sacos que pueden contener de 625 Kg. hasta 1300 Kg., los cuales necesitan para ser empacados líneas de empaque, bodegas para su almacenamiento, cargadores y grúas para ser puestos en el vehículo el cual los llevara a su destino y una vez seas recibidos por el cliente deben hacer la misma maniobra de forma inversa, lo cual sube los costos y los tiempos en los procesos de cargue y descargue.

## 2. FORMULACION DEL PROBLEMA

Debido que la mayoría de las materias primas (productos granulados) llegan al país en buques de carga, se hace necesario encontrar un sistema de empaque que sea rápido para su carga y al mismo tiempo rápido para su descarga, moviendo grandes volúmenes, evitando la contaminación del producto, la contaminación ambiental y que reduzca los costos.

Ahora con la apertura y con el tratado de libre comercio, TLC, próximamente aprobado por el ejecutivo y el legislativo, se hace necesario buscar este tipo de empaque. Así se haría mucho más rápido el envío de estas materias primas hacia el interior del país y el transporte dentro del puerto o sociedad portuaria.

Las pruebas en este proyecto se realizarán con resina de pvc 440.

¿Será posible diseñar un sistema de empaque de productos al granel el cual disminuya los costos de transporte y almacenamiento sin poner en riesgo el producto?

### **3. OBJETIVO GENERAL**

El objetivo general del proyecto es encontrar un medio de empaque de fácil transporte y de fácil devolución, que no sea contaminante del medio ambiente. Así mismo este empaque debe ser de rápido llenado y de rápido vaciado, para no incrementar por tiempos muertos el valor del transporte.

#### **Objetivos Específicos**

- Calcular las fuerzas y flujos a los cuales estará sometido el material de empaque.
- Encontrar la forma geométrica del empaque con el cual se pueda cargar la mayor cantidad de producto sin cambiar el centro de gravedad de la tractomula.
- Obtener las especificaciones técnicas del producto a utilizar para la selección del material de empaque.
- Diseñar el sistema inflable el cual permita evacuar fácil y rápidamente la totalidad del producto.

## 4. JUSTIFICACION

Actualmente la industrias Colombianas que manejan productos al granel utilizan unas súper bolsas como material de empaque para transportar sus productos, dicha súper bolsa (big bag), van desde 625 Kg. hasta 1300 Kg., de la siguiente manera: una vez procesado el producto se lleva a unas tolvas de empaque, las cuales entregan el producto en la línea de empaque, la cual introduce el producto en las súper bolsas utilizando recursos humanos y mecánicos, una vez las súper bolsas se encuentran listas son llevada a través de montacargas al sitio de almacenamiento transitorio, una vez el cliente hace el requerimiento del producto, dicho producto es cargado en montacargas y llevado hasta la tractomula para que sea transportado hasta donde fue requerido, una vez dicha tractomula llega a su destino, se hace el mismo procedimiento pero de manera inversa, descarga de la tractomula, transporte a las bodegas transitorias, y por ultimo descarga en las líneas para que el producto sea llevado a las tolvas para su procesamiento.

Si el producto llega del exterior dicho producto viene al granel en los buques y debe ser vaciado en volquetas, las cuales han sido utilizadas transportando otros productos, por lo cual dicho producto a transportar se ve contaminado por los residuos.

La meta principal de esta tesis es diseñar un sistema de empaque, el cual ahorre en gran parte el proceso de llenado, almacenamiento, carga y descarga de los productos al granel y evite la contaminación ambiental, por lo cual la industria mejoraría sus rendimientos, trayendo consigo una reducción en los costos de transporte.

## 5. MARCO DE REFERENCIA

### Formas de Transporte

La historia hasta nuestros días nos muestra que para transportar productos al granel se han utilizado varios tipos de modelos según el producto a transportar.

- Para productos con fines alimenticios como lo son el millo, sorgo, maíz, trigo entre otros, los cuales ingresan al país por los puertos, se utilizan tractomulas o volquetas (ver figura 1) en las cuales es vaciado el producto sin ningún tipo de material de empaque que impida que dicho producto sea contaminado o descargado con facilidad, ya que la descarga en su mayoría de veces se realiza de forma manual.

Figura 1. Tractomula.



- Para productos como las resinas se utiliza un silo rígido (ver figura 2), el cual solo puede ser utilizado para el transporte de dicho producto, ya que en el momento de ser vaciado otro tipo de producto en este, se contaminaría la resina y perdería sus propiedades.

Figura 2. Silo Rígido.





- De igual manera para transportar resinas son utilizados contenedores los cuales en su interior contienen una tela de polietileno la cual aísla el producto y cuenta con las desventajas de un sistema especial de carga y descarga y alquiler del contenedor para transportar dicho producto por lo cual se incrementan los costos. (ver figura 3)

Figura 3. Contenedor con Polietileno.



## 5.2. Estado del Arte

Actualmente para transportar resinas de PVC se utiliza como material de empaque una súper bolsa (big bag) ver figura 4, la cual tiene la capacidad de contener unos 860 Kg. de producto, los cuales son apilados de a dos en las tractomula hasta alcanzar un total de 40 súper sacos, como se muestra en la figura 5.

Figura 4. Súper Saco.

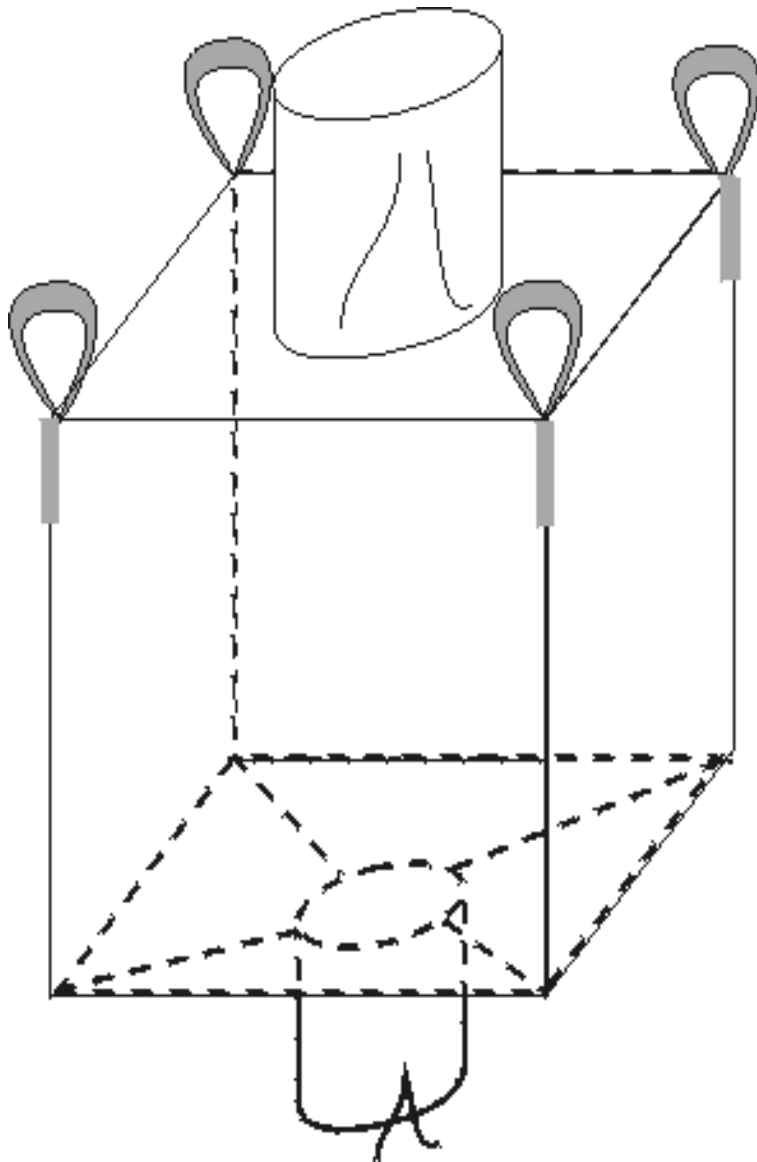
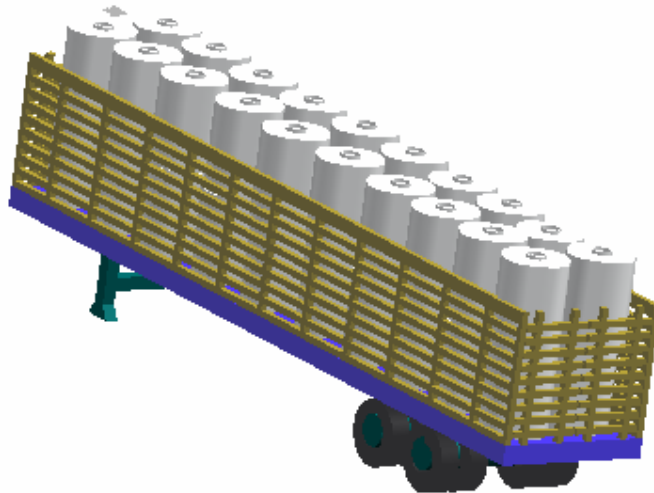


Figura 5. Tractomula Cargada con súper sacos.



El proceso que se le da a estos súper sacos en la industria es el siguiente:

Una vez ingresan los súper sacos a la planta son llevados a un taller donde se les introduce un liner plástico el cual protegerá a la resina, una vez ingresado el liner es llevado a la línea de empaque en la cual es vaciada la resina, una vez pesado y marcado el súper saco es cargado por un montacargas y llevado a una bodega donde se almacenara.

En el momento de ser despachada la resina dichos súper sacos son llevados con un montacargas desde la bodega al sitio de carga, una vez llegan donde el cliente se repite el mismo proceso pero de manera inversa. En el capítulo 12 se tratara ampliamente este proceso.

En nuestro país dicha resina es producida por las empresas Petco y Propilco, las cuales están ubicadas en la ciudad de Cartagena de Indias en el sector de mamonal, dichas resinas son transportadas generalmente hacia el interior del país donde se encuentran la mayoría de empresas que necesitan este tipo de resina como materia prima para elaborar productos.

## **6. ESPECIFICACIONES TECNICAS DE LA RESINA DE PVC 440**

Es una resina de poli cloruro de vinilo tipo homopolímero elaborada por el proceso de polimerización en suspensión. Tiene un peso molecular medio y se recomienda para la elaboración de artículos rígidos.

Esta resina aparece en la Tabla 1 de la versión de la NSF (National Sanitary Foundation de Estados Unidos) del rango de formulaciones del Instituto de Tubería Plástica (PPI) para PVC.

### **APLICACIONES PRINCIPALES.**

- Extrusión de Tuberías.
- Extrusión de perfiles rígidos para ventanas y acabados exteriores entre otros.
- Tubos para la conducción de cables eléctrico.

## PROPIEDADES DE LA RESINA.

	<b>Norma</b>	<b>PVC - 440</b>
Apariencia		Polvo Blanco
Valor K	DIN 53726	66 ± 1
Viscosidad Inherente	ASTM D 1243	0.87- 0.92
Densidad Aparente, g./l. (Método A)	ASTM D 1895	510 min.
Absorción de Plastificantes, pcr.	ASTM D 3367	20 min.
Distribución del Tamaño de partícula % a través de malla 40 % a través de malla 200	ASTM D 1921	100 4 máx.
Volátiles, %	ASTM D 3030	0.5 máx.
Contenido de MVC Residual, ppm.	ASTM D 3749	1 máx.

## 7. CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO

Con la fabricación de un prototipo a escala se miran los posibles errores que se tengan en el diseño definitivo del silo flexible.

Este prototipo a escala nos ayudará a analizar la forma de llenado, la forma y velocidad de vaciado y la disposición que toma el producto cuando cae a la tracto mula para minimizar los errores en la fabricación de la pieza.

Con el prototipo es más fácil corregir los errores en cuanto a vaciado y llenado, y mirar si las puertas de vaciado tienen el tamaño correcto y la posición correcta para la salida eficiente del producto. Con el prototipo se podrá experimentar con las diferentes clases de productos a transportar y medir los tiempos de vaciado que es lo que nos interesa.

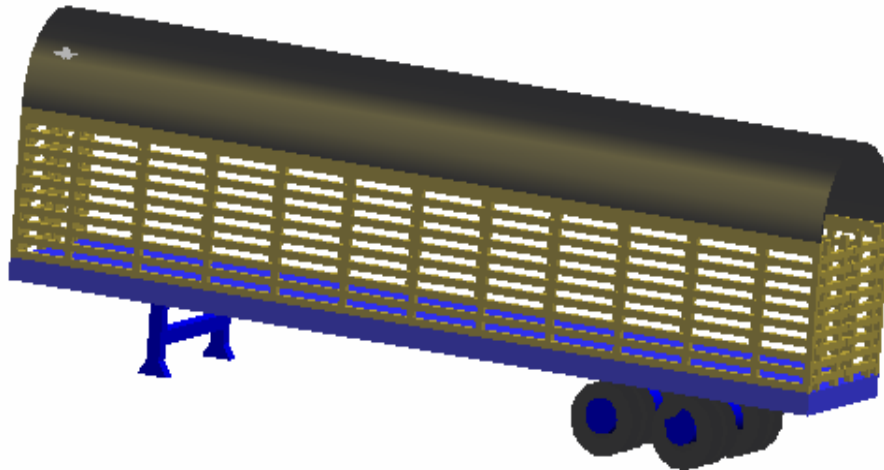
Para la fabricación se toma el área útil de una tractomula tipo carbonera comercial a escala y se colocara la bolsa o empaque en ella, también realizados a escala, con los diferentes tipos de amarre y ubicación de las compuertas de vaciado.

Una vez montado se obtienen los tiempos de vaciado de las diferentes resinas y productos, se detectaran los posibles problemas y errores de los cálculos. Todos estos datos se colocaran en unas tablas para sus análisis y corrección. Así mismo se analizan las diferentes presiones de aire para el llenado de la bolsa que ayudan al vaciado, como también el caudal de aire necesario para el llenado de dichas bolsa y si es posible dividir en varias secciones la bolsa para un mejor llenado y un rápido vaciado.

## 7.1 Dimensiones Del Prototipo

Para calcular las dimensiones del prototipo se partió de las dimensiones reales de una tractomula (ver figura 6) las cuales son 12.8 metros de largo, 2.4 metros de ancho y 2 metros de altura de la madera.

Figura 6. Carrocería de una tractomula.





La escala que se utilizara será de 1:20 (las dimensiones del prototipo serán 20 veces más pequeña que las dimensiones reales de la tractomula).

Inicialmente se fabricara en triplex y se analizará el comportamiento de los productos, y después en base a dichos resultados se fabricará la bolsa.

En la tabla 1 se confrontan las dimensiones reales contra las dimensiones a escala del prototipo.

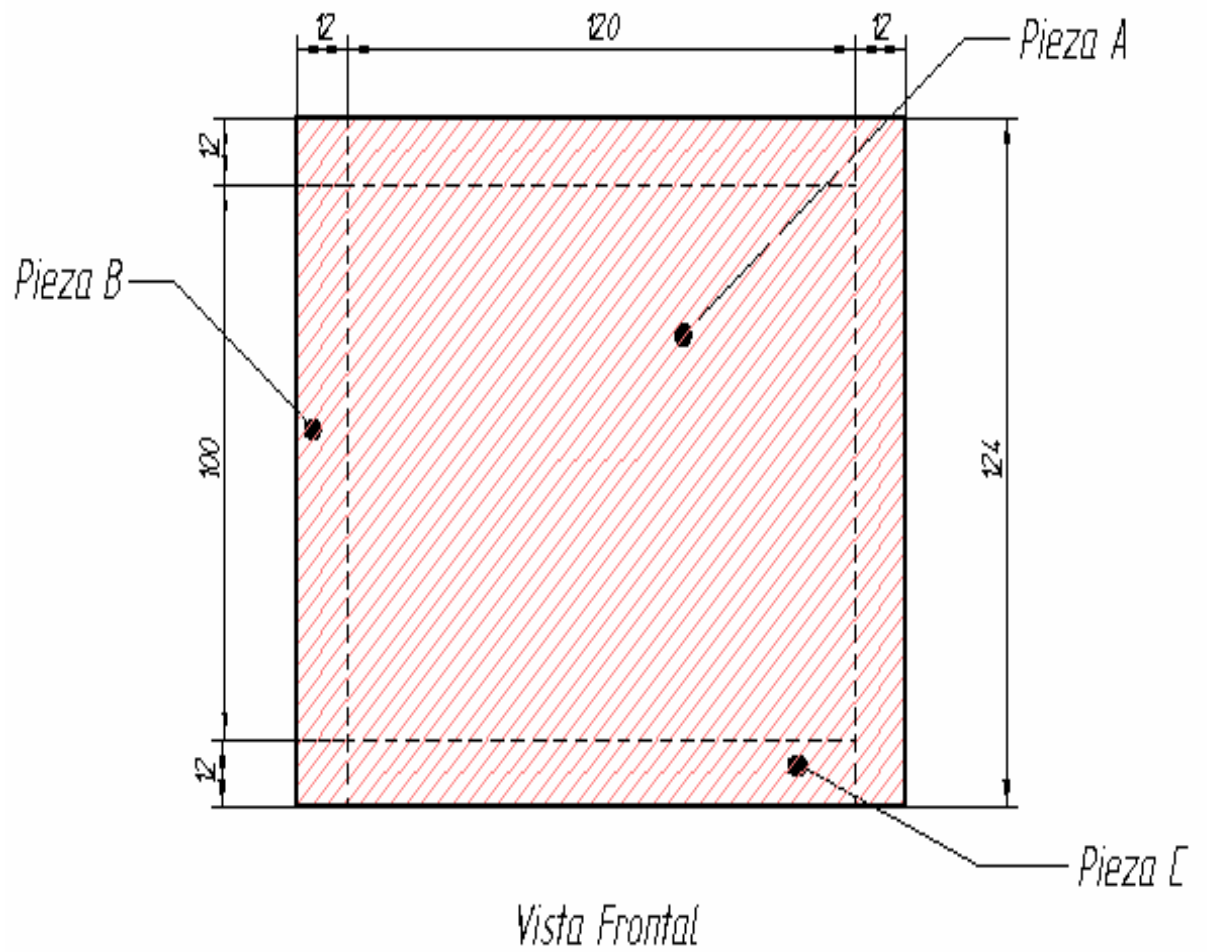
Tabla 1. Dimensiones del Prototipo.

<b><i>Dimensiones del Prototipo</i></b>		
Descripción	Dimensiones Reales	Dimensiones Prototipo
Largo	12.8	0.64
Alto	2	0.1
Ancho	2.4	0.12
Volumen	61.44	0.00768
Orificios DIA	0.5	0.025
Escala		20

Nota: La tabla anterior se encuentra en metros.

En la figura 7, se observa las dimensiones francas del prototipo las cuales contendrán la masa con las cuales se realizaran las pruebas.

Figura 7. Dimensiones francas del Prototipo



Las dimensiones del prototipo quedan de la siguiente manera:

- Alto = 100 mm.
- Ancho = 120 mm.
- Largo = 640 mm.

En la tabla 2 se observa el inventario de piezas necesarias para la construcción del prototipo.

Tabla 2. Inventario de Piezas.

<b>Inventario de Piezas</b>		
Tipo de Pieza	Cantidad	Dimensiones
Tipo A	2	124 mm x 144 mm
Tipo B	2	124 mm x 640 mm
Tipo C	1	120 mm x 640 mm

La pieza tipo A corresponde a las piezas frontales del prototipo.

La pieza tipo B corresponde a las piezas laterales del prototipo.

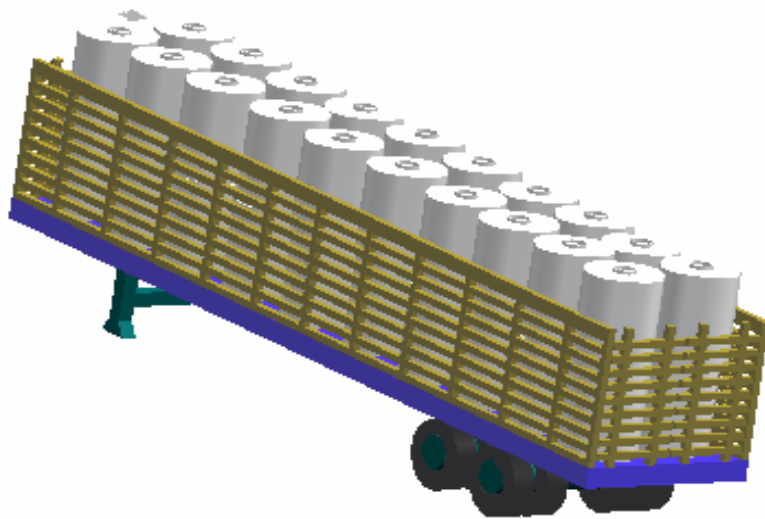
La pieza tipo C corresponde a la pieza inferior del prototipo.

## 7.2 Calculo De La Masa De La Prueba

La masa con la cual se van a cargar los prototipos para realizar las pruebas se calculo de la siguiente manera:

Actualmente las tractomulas son cargadas con 40 súper sacos de 860kg cada uno, ver figura 8.

Figura 8. Tractomula cargada con súper sacos



$$\text{Peso} = 860\text{kg} \times 40 \Rightarrow \text{Peso} = 34.400\text{kg}$$

En este proyecto se tomará como la capacidad mínima de carga 35 Ton, nos damos cuenta que entre súper saco y súper saco existen espacios libres que se están desaprovechando y los cuales volverían más eficiente este proyecto.

Tomando como base esta mínima capacidad de carga real se halla la masa que contendrá el prototipo.

Como  $densidad = \frac{masa}{volumen}$ , despejando la masa se tiene  $masa = densidad \times volumen$

$$masa = (0.53 \frac{gr}{cm^3}) \times ((12.8 \times 100) \times (2.0 \times 100) \times (2.4 \times 100)) \Rightarrow masa = 32563200gr$$

Esta masa la llevamos a toneladas.

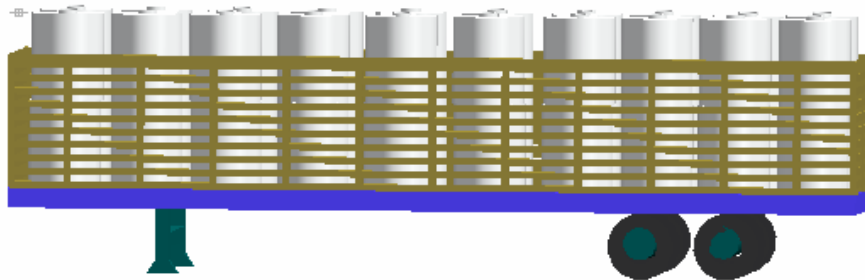
$$masa = 32563200gr \times \frac{1Ton}{1000000gr} \text{ Nos queda que } masa = 32.56Ton$$

Se observa que esta masa de 32.56 Ton es menor a la masa mínima de carga del proyecto.

$$\Delta m = 35\text{Ton} - 32.56\text{Ton} \Rightarrow \Delta m = 2.4368\text{Ton}$$

Como se ve en la figura 9, la hilera superior de súper sacos sobrepasa la altura de la carrocería, lo cual nos demuestra que los cálculos concuerdan con lo real.

Figura 9. Tractomula cargado con súper sacos vista lateral.



Para recalculer la altura del prototipo debemos saber la altura real necesaria para contener las 35 Ton.

$$35000000\text{gr} = (0.53\text{gr}/\text{cm}^3) \times (12.8 \times 100) \times (2.4 \times 100) \times (A \times 100)$$

Despejando la altura necesaria se obtiene

$$A = \frac{35000000 \text{ gr}}{((0.53 \text{ gr/cm}^3) \times (12.8 \times 100) \times (2.4 \times 100)) \times 100}$$

$$\Rightarrow A = 2.1496 \text{ m}$$

Con este dato se procede a recalculer la altura del prototipo, ver tabla 3.

Tabla 3. Dimensiones del Prototipo Recalculadas.

<b>Tabla Dimensiones del Prototipo Recalculadas</b>		
Descripción	Dimensiones Reales	Dimensiones Prototipo
Largo	12.8	0.64
Alto	2.1496	0.10748
Ancho	2.4	0.12
Volumen	66.035712	0.008254464
Escala		20

Nota: La tabla anterior se encuentra en metros.

Con esta altura nueva altura del prototipo calculamos la masa que contendrá el prototipo

$$masa = (0.53 \frac{gr}{cm^3}) \times (64cm \times 12cm \times 10.748cm)$$

$$\Rightarrow masa = 4375gr$$

La masa con la cual se realizaran las pruebas será de **4375 gramos**.

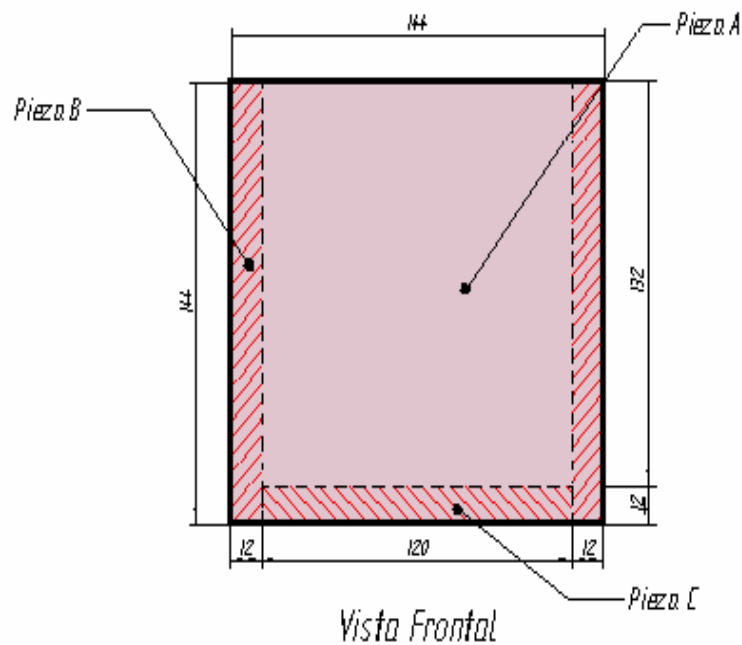


### 7.3. Dimensiones Del Prototipo Recalculadas

Como se recalculo anteriormente la nueva altura mínima franca del prototipo será de 107.4 mm, por lo cual se aproximara esta altura hasta 120 mm para que exista un factor de seguridad el cual evite que el producto se riegue por fuera del prototipo.

El perfil del prototipo recalculado quedaría de la siguiente manera: (Figura 10).

Figura 10. Perfil del Prototipo recalculado.



Se observa en la vista frontal del prototipo (figura 10) que las piezas A y B tienen unas dimensiones mayores a las dimensiones francas del prototipo,

puesto que debemos tener en cuenta el espesor del triplex, para que en el momento de hacer la construcción uniendo las piezas con clavos exista una superficie donde poder introducir dichos clavos y así mantener las dimensiones francas del prototipo.

Requerimiento de piezas sería el siguiente para poder construir un prototipo

Tabla 4. Requerimiento de piezas.

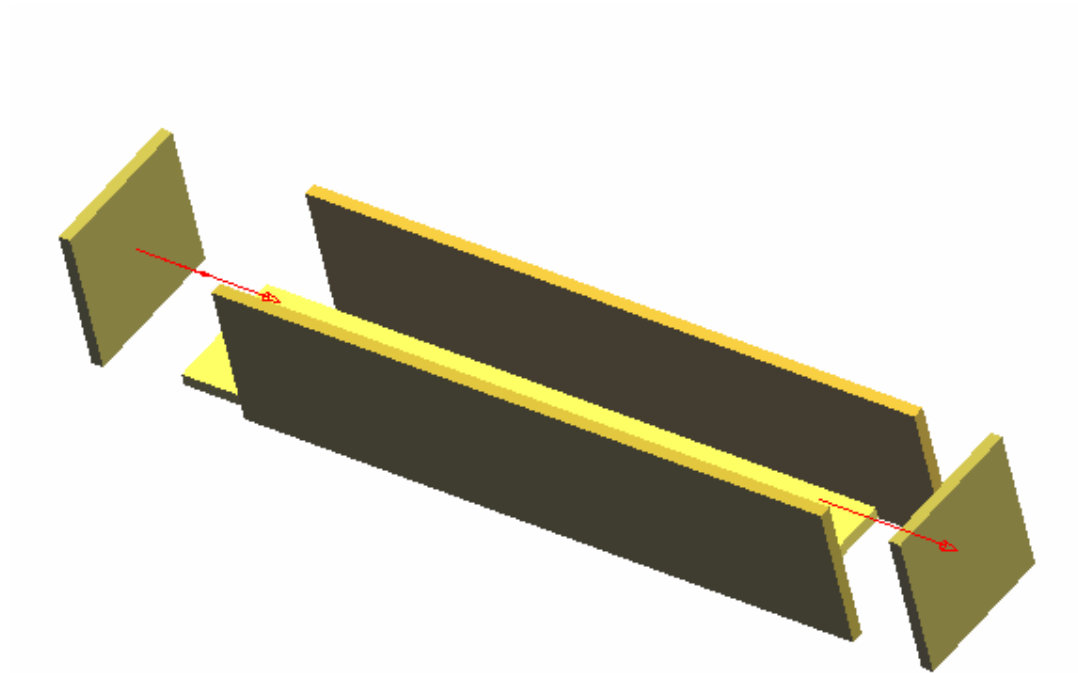
<b>Requerimiento de Piezas</b>		
Tipo de Pieza	Cantidad	Dimensiones
Tipo A	2	144 mm x 144 mm
Tipo B	2	144 mm x 640 mm
Tipo C	1	120 mm x 640 mm

## 7.4. Construcción del Prototipo

Para la construcción del prototipo necesitaremos una lámina de triplex de 12 mm de espesor, una sierra o dispositivo mecánico para realizar los cortes, martillo, flexometro, taladradora y clavos.

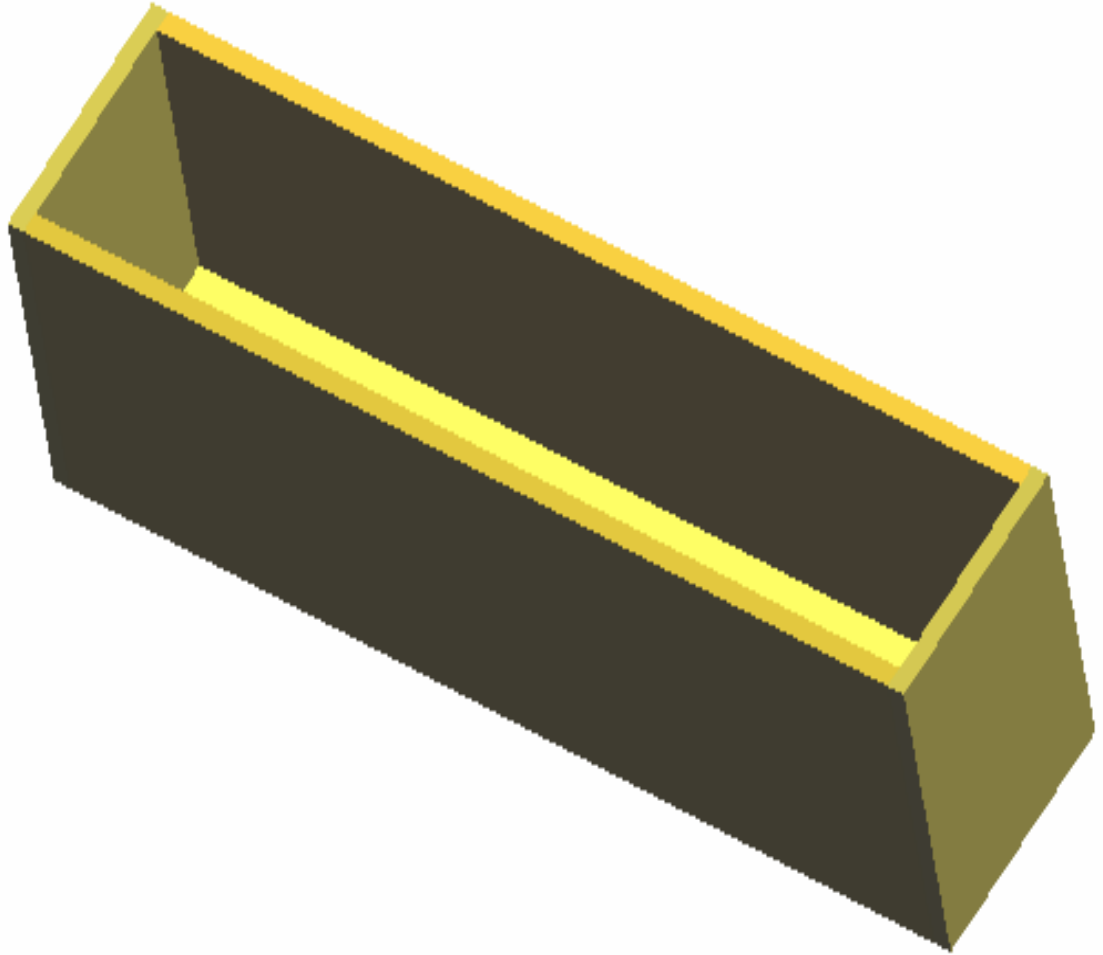
Una vez cortadas las piezas deben quedar de la siguiente manera para realizar su construcción, ver figura 11.

Figura 11. Prototipo antes de armar.



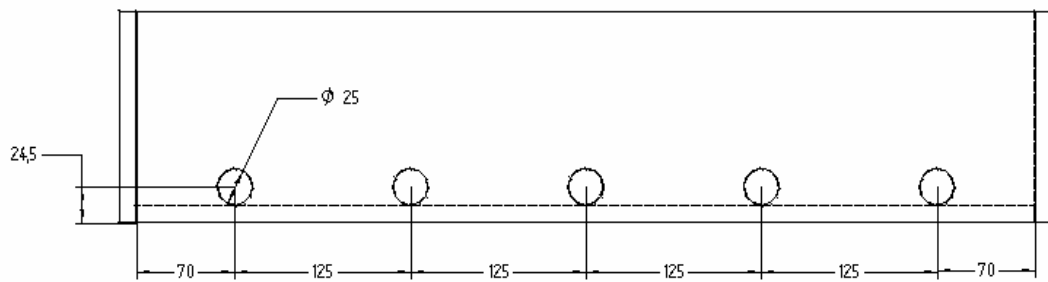
El prototipo construido debe quedar de la siguiente manera. (Figura 12)

Figura 12. Prototipo Armado.



Una vez construido debemos hacerle los orificios de descarga, los cuales deben tener un diámetro de 25 mm y estarán ubicados en la pieza B (piezas laterales del prototipo) de la siguiente manera: (ver figura 13)

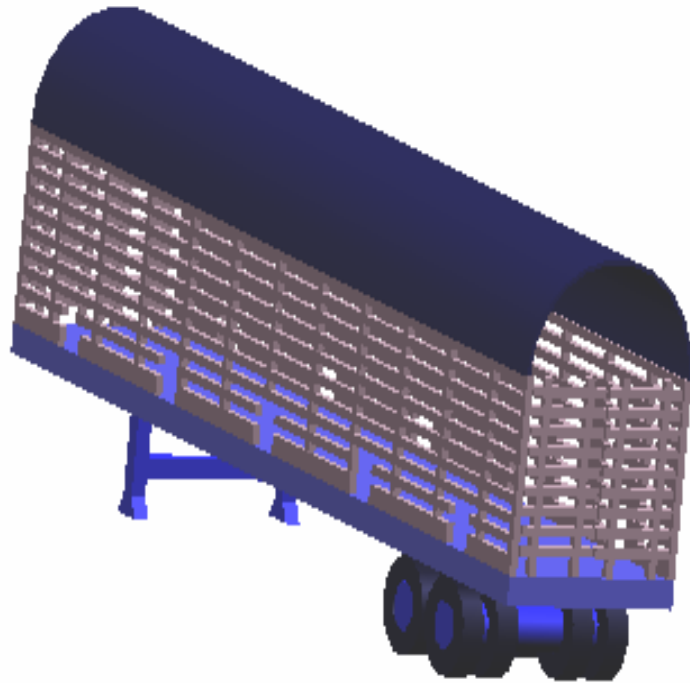
Figura 13. Perfil del Prototipo.



Esta distancia entre los agujeros de descarga (ver figura 13) es tomada de la carrocería de la tractomula tipo carbonera y llevada a escala al prototipo.

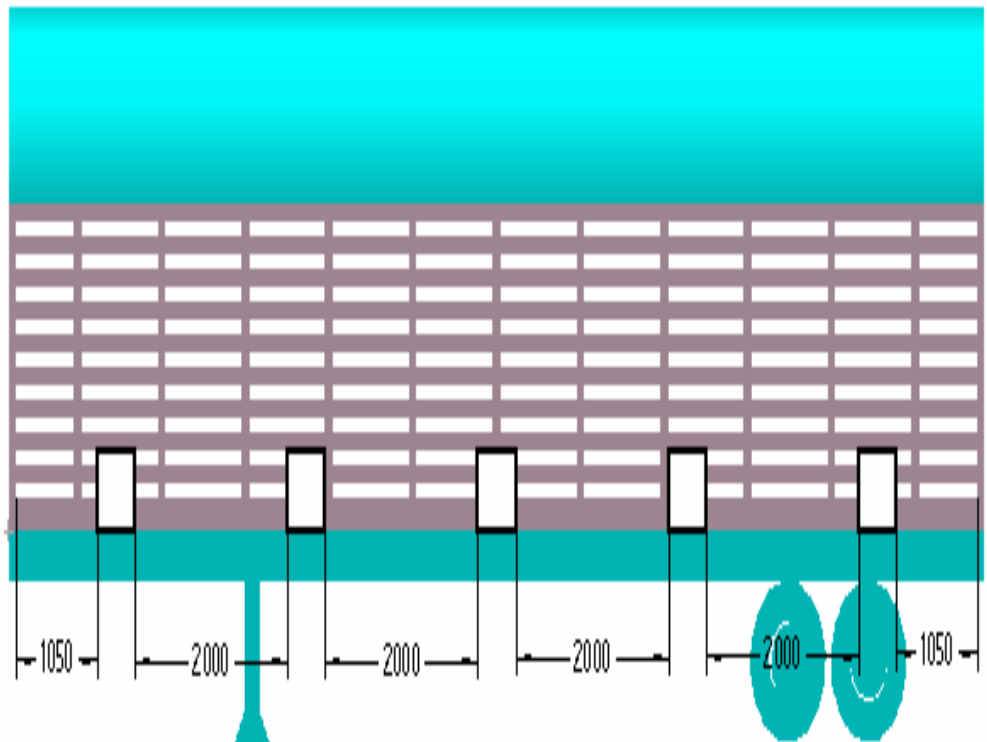
Dichas carrocerías tienen 10 compuertas cuadradas laterales (ver figura 14), las cuales tienen las siguientes dimensiones 500 mm x 500 mm, y están distribuidas de a 5 en cada lado.

Figura 14. Tracto mula con orificios.



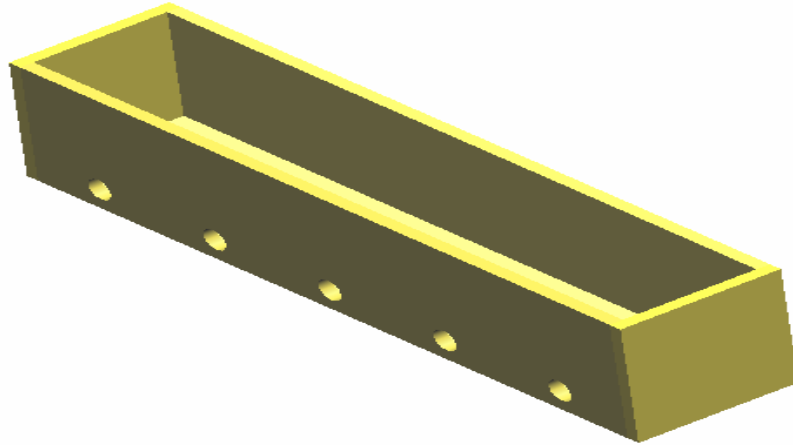
La vista lateral de la carrocería tipo carbonera es la siguiente: (figura 15)

Figura 15. Vista lateral de una tacto mula tipo carbonera.



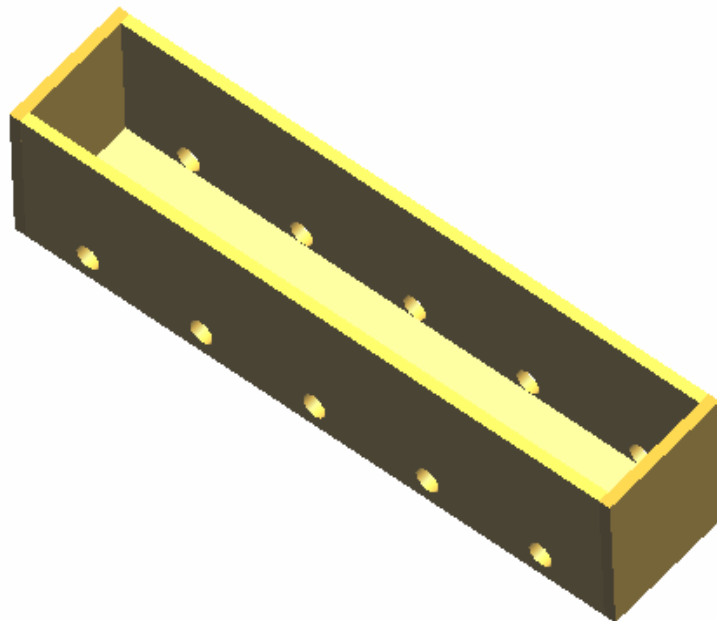
Una vez realizados los agujeros de descarga en la pieza B del prototipo, este debe verse de la siguiente manera con 5 orificios. (Figura 16)

Figura 16. Prototipo con 5 Agujeros.



Y con 10 agujeros de descarga de la siguiente manera. (figura 17)

Figura 17. Prototipo con 10 Agujeros.





## 8. PASOS PARA REALIZAR LAS PRUEBAS

El prototipo debe ser montado sobre una superficie horizontal, (ver figura 18).

Figura 18. Prototipo antes de las pruebas.



El prototipo siempre debe ser cargado con 4375 gramos de resina para todas las pruebas sin tener en cuenta el número de agujeros del prototipo.

Mientras se este llenando con resinas los agujeros se deben encontrar tapados.

La superficie en la cual se va a montar el prototipo no debe acumular producto, puesto que estas acumulaciones no dejaran que el producto fluya libremente, impidiendo obtener unos datos reales.

## 8.1. Pruebas Con El Prototipo De 10 Agujeros

Con el prototipo ya construido (ver figura 19, 20 y 21) se cargara con 4375 grs. de resina, y realizaremos 5 pruebas en las cuales tomaremos el tiempo de descarga y el peso que fluiría libremente.

Figura 19. Prototipo con 10 Agujeros.

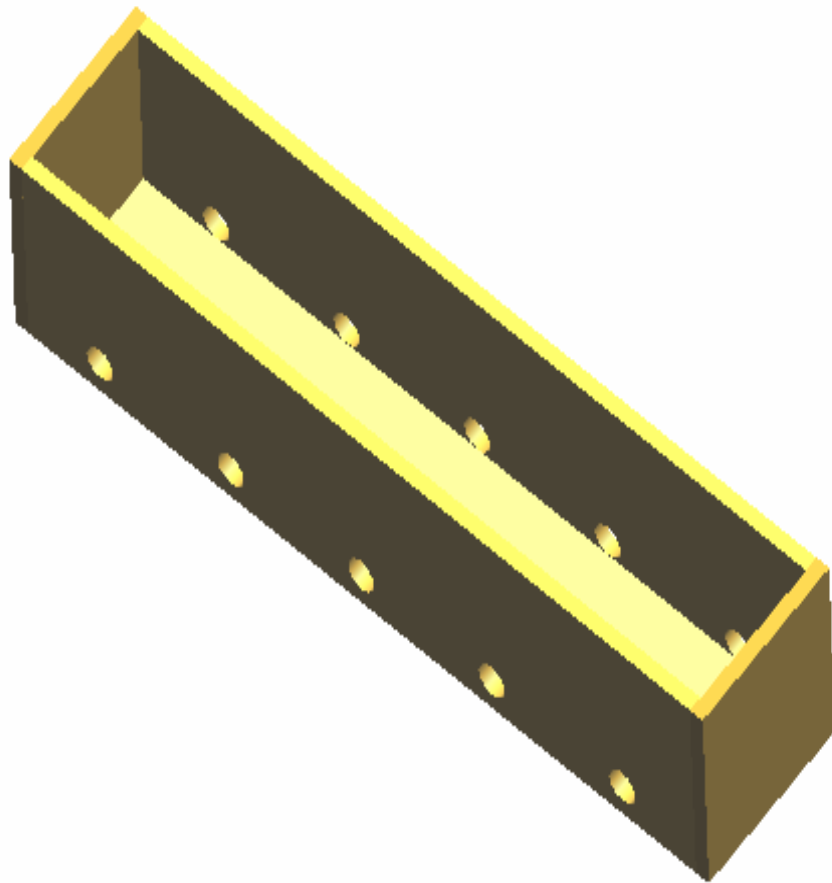


Figura 20. Prototipo de 10 Agujeros Cargado.

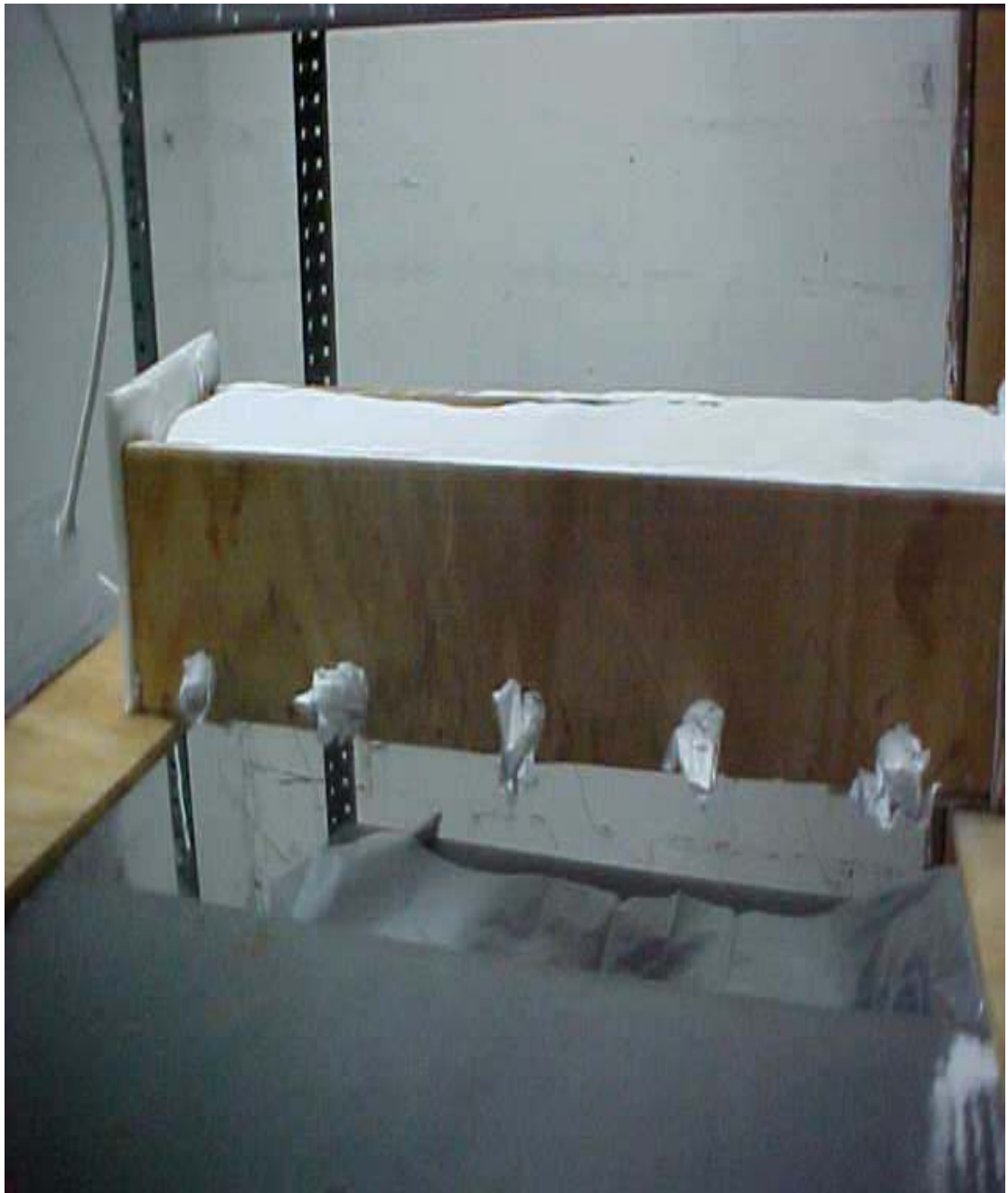


Figura 21. Prototipo de 10 Agujeros Descargando.



Los resultados de las diferentes pruebas son los siguientes: (tabla 5)

Tabla 5. Datos Obtenidos de la Prueba con 10 Agujeros.

<b>Prueba</b>	<b>Tiempo de Descarga</b>	<b>Peso que fluyo</b>
1	23 segundos	3100 gr.
2	18 segundos	3000 gr.
3	20 segundos	3050 gr.
4	21segundos	3125 gr.
5	20 segundos	3065 gr.

Calculamos el tiempo promedio de descarga y el peso promedio que fluyó, y obtenemos:

Tiempo Promedio de Descarga = 20.4 seg.

Peso Promedio que Fluyó = 3068 grs.

El peso promedio que fluyó corresponde al 70.12% del total con que se cargó el prototipo. (figura 22)

Figura 22. Prototipo con 10 Agujeros Vaciado.



Con estos dos datos calculamos el peso real que fluiría libremente de la siguiente manera:

$$P_{Real} = \frac{3068gr \times 35Ton}{4375gr}$$

$$\Rightarrow P_{Real} = 24.544Ton \Rightarrow \text{Este peso fluiría libremente en el silo real.}$$

Por lo cual nos damos cuenta que necesitaremos de un sistema que ayude a fluir el producto que no fluyó libremente, el cual tendría un peso de:

$$P_{nofluyo} = 35Ton - 24.544Ton$$

$$P_{nofluyo} = 10.456Ton$$

Calculamos el caudal descargado por cada orificio

$$D_o = \frac{DescargaTotal}{Numeroorificios}$$

$$D_o = \frac{24.544Ton}{10orificios} \Rightarrow D_o = 2.4544Ton/orificios$$

Con una velocidad de descarga por orificio de

$$\text{Velocidad de Descarga} = \frac{\text{Caudal x orificio}}{\text{Tiempo de descarga}}$$

$$\Rightarrow V_D = \frac{2.4544 \text{ Ton}}{20.4 \text{ seg}} \Rightarrow V_D = 0.12 \text{ Ton/seg}$$



## 8.2. Pruebas Con El Prototipo De 5 Agujeros

Con el prototipo ya construido (ver figura 23 y 24) lo cargamos con 4375 grs. de resina, y realizaremos 5 pruebas en las cuales tomaremos el tiempo de descarga y el peso que fluirá libremente.

Figura 23. Prototipo con 5 Agujeros.

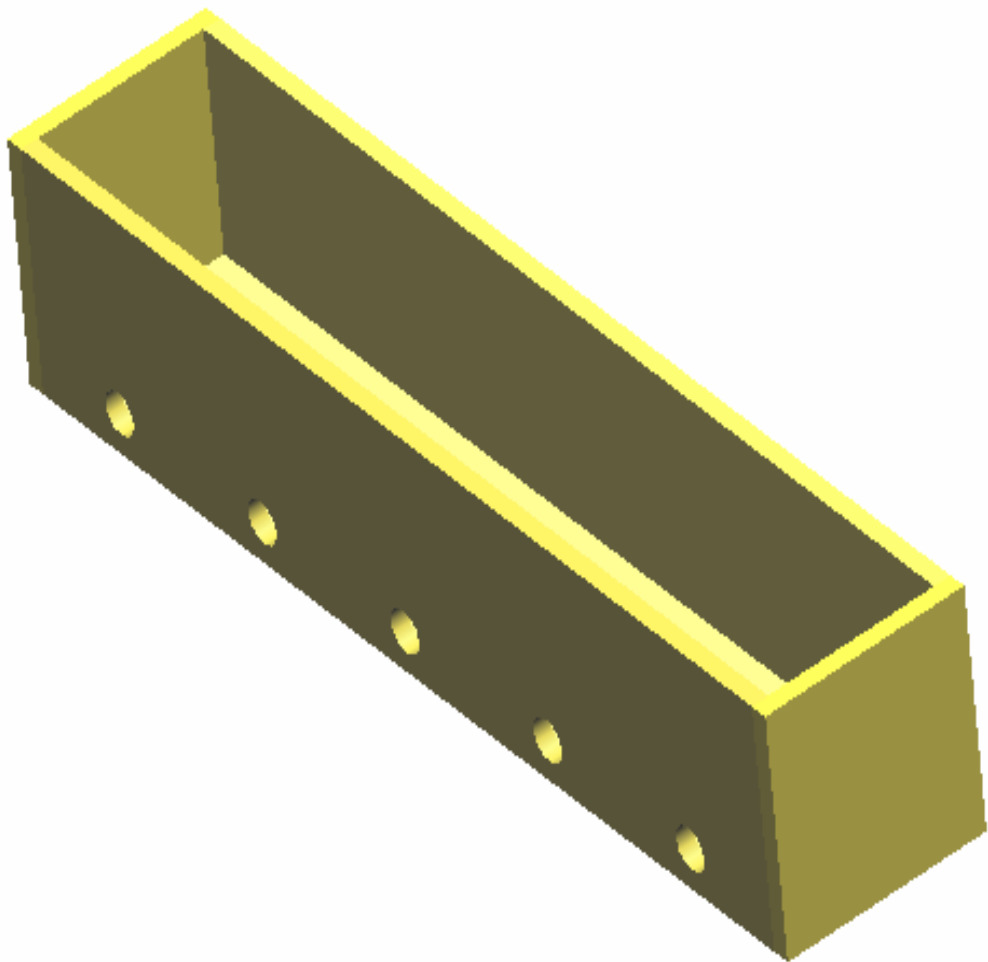


Figura 24. Prototipo con 5 Agujeros Cargado.



Una vez quitemos los tapones. (figura 25)

Figura 25. Prototipo con 5 Agujeros Descargando.



La tabla 6 muestra los resultados de las diferentes pruebas:

Tabla 6. Resultados Prueba 5 Agujeros.

<b>Prueba</b>	<b>Tiempo de Descarga</b>	<b>Peso que fluyo</b>
1	40 segundos	2750 gr.
2	41 segundos	2640 gr.
3	38 segundos	2700 gr.
4	37segundos	2720 gr.
5	40 segundos	2680 gr.

Calculamos el tiempo promedio de descarga y el peso promedio que fluyo, y obtenemos:

Tiempo Promedio de Descarga = 39.2 seg.

Peso Promedio que Fluyo = 2485.8 grs.

El peso promedio que fluyo corresponde al 56.81% del total con que se cargó el prototipo, ver figura 26.

Figura 26. Prototipo con 5 Agujeros con la masa que no fluye.



Con estos dos datos calculamos el peso real que fluiría libremente de la siguiente manera:

$$P_{Real} = \frac{2485.8grs \times 35Ton}{4375grs}$$

$$\Rightarrow P_{Real} = 19.88Ton \Rightarrow \text{Este peso fluiría libremente en el silo real.}$$

Por lo cual nos damos cuenta que necesitaremos de un sistema que ayude a fluir el producto que no fluyó libremente, el cual tendría un peso de:

$$P_{nofluyo} = 35Ton - 19.88Ton$$

$$\Rightarrow P_{nofluyo} = 15.11Ton$$

Calculamos el caudal descargado por cada orificio

$$D_o = \frac{DescargaTotal}{Numerooficios}$$

$$\Rightarrow D_o = \frac{19.88\text{Ton}}{5\text{orificios}}$$

$\Rightarrow$

$$\Rightarrow D_o = 3.97\text{Ton/orificio}$$

Con una velocidad de descarga de

$$\text{Velocidad de Descarga} = \frac{\text{Caudal/orificio}}{\text{Tiempo de descarga}}$$

$$V_D = \frac{3.97\text{Ton}}{39.2\text{seg}}$$

$$\Rightarrow V_D = 0.101\text{Ton/seg}$$

## 9. DISEÑO DEL EMPAQUE.

Una vez realizadas las anteriores pruebas, se debe diseñar el empaque en el cual se transportarán los productos, el cual es el tema de este proyecto.

Para entrar a diseñar dicho empaque se debe tener en cuenta los siguientes aspectos:

- a) La geometría del empaque debe amoldarse a la carrocería de la tractomula tipo carbonera, sin que esta pierda estabilidad.
- b) El llenado del empaque se realizará por la parte superior, puesto que los productos serán vaciados al granel directamente desde la tolva.
- c) La descarga se realizará por los agujeros con que cuenta la carrocería de la tractomula tipo carbonera, los cuales se encuentran a los lados de la misma, esto para no modificar por ningún motivo la carrocería de la tractomula y que cualquier carrocería de este tipo pueda transportar el producto con este empaque.



## 9.1. Tipo De Material Del Empaque

Para la elaboración del silo flexible se necesita un material que proteja al producto del medio exterior y de las inclemencias del tiempo, agua y aire, y que ante todo no contamine el producto, ya que este se encontrará en contacto directo.

Debe tener una larga vida útil y ser de fácil transporte una vez este desocupado, puesto que este aspecto repercute en la viabilidad económica del proyecto.

Para este proyecto se recomienda utilizar la plastilona 500. La cual tiene las siguientes especificaciones:

Peso:  $800 \frac{g}{m^2}$ .

Calibre: 630 micras.

Resistencia a la tensión:

Longitudinal:  $370 \frac{N}{cm}$ .

Transversal:  $330 \frac{MN}{cm}$ .

Elongación a la Rotura:

Longitudinal: 27%.

Transversal: 36%.

Resistencia al Rasgado:

Longitudinal: 450 N.

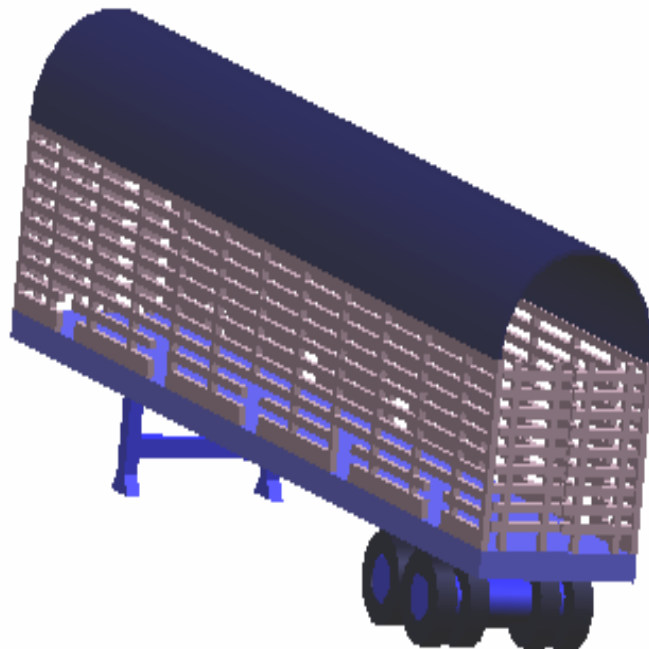
Transversal: 350N.

Dureza: 66 (shore A).

## 9.2. Geometría Del Empaque

Para diseñar la geometría del empaque partimos de las dimensiones de la carrocería tipo carbonera, puesto que esté se encontrará dentro de dicha carrocería, la cual respaldará la fuerza que ejercerá el producto. (Figura 27)

Figura 27. Tractomula con Orificios



Las dimensiones de la carrocería tipo carbonera son de 12.8 metros de largo, 2.4 metros de ancho y 2.0 metros de alto.

$$Volumen_{madera} = 12800mm \times 2400mm \times 2000mm$$

$$Volumen_{madera} = 6.144 \times 10^{10} mm^3 \Rightarrow Volumen_{madera} = 61.44m^3$$

Ahora se calculará el volumen necesario para contener las 35 toneladas de resina de pvc 440 que busca el proyecto, la cual tiene una densidad promedio de  $0.53 \frac{gr}{cm^3}$ .

$$densidad = \frac{masa}{volumen}$$

Se despeja el volumen y se tiene  $\Rightarrow Volumen = \frac{masa}{densidad}$

$$Volumen_{requerido} = \frac{35000000gr}{5.3 \times 10^{-4} \frac{gr}{mm^3}}$$

$$Volumen_{requerido} = 6.6037 \times 10^{10} mm^3 \Rightarrow Volumen_{requerido} = 66.037m^3$$

Como se observa existe una diferencia entre el volumen requerido y el volumen de la madera, dicha diferencia es:

$$\Delta V = 6.6037 \times 10^{10} \text{ mm}^3 - 6.144 \times 10^{10} \text{ mm}^3$$

$$\Delta V = 4.597 \times 10^9 \text{ mm}^3 \Rightarrow \Delta V = 4.59 \text{ m}^3$$

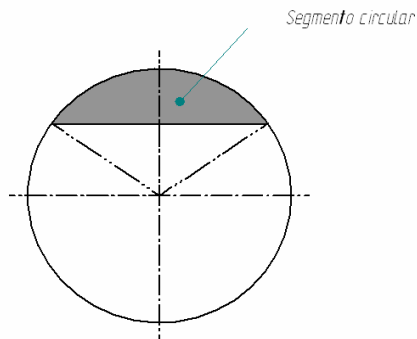
Si el silo se dejara con el volumen de la madera podría contener 32.56 toneladas

$$\text{masa} = (5.3 \times 10^{-4} \text{ gr/mm}^3) \times (6.144 \times 10^{10} \text{ mm}^3) \Rightarrow \text{masa} = 32563200 \text{ grs}$$

$$\Rightarrow \text{masa} = 32.56 \text{ Ton}$$

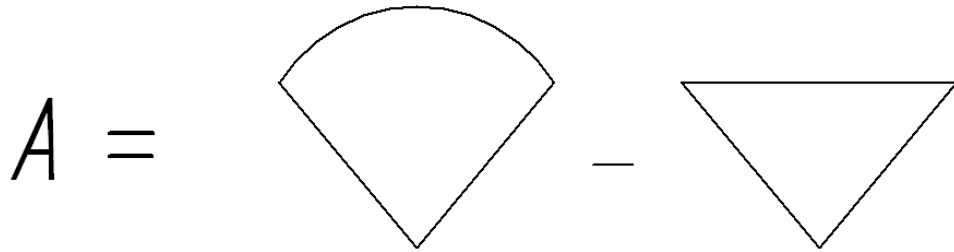
Para completar las 35 toneladas se utilizara un segmento circular, esta geometría se amoldaría a la carrocería de la tracto mula, puesto que esta tiene un envarillado que soporta la carpa que cubre la carga. (Figura 28)

Figura 28. Segmento Circular.



El área de un segmento circular es: (figura 29 y 30)

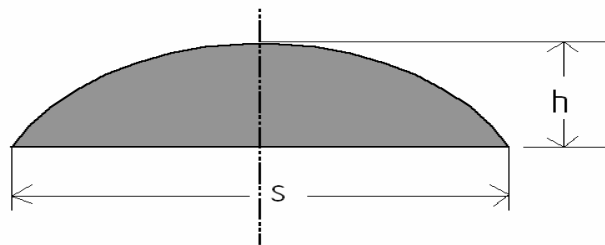
Figura 29. Diferencia de Áreas.



$$A = \frac{\pi \times r^2 \times \alpha}{360} - \frac{s(r-h)}{2}$$

$$b = \frac{\pi \times d \times \alpha}{360} \quad \text{y} \quad s = 2 \times r \times \text{sen} \frac{\alpha}{2}$$

Figura 30. Datos del segmento circular.



$$\text{Valor Aproximado del \u00e1rea} \Rightarrow \text{AREA} = \frac{2}{3} \times s \times h$$

El volumen del segmento circular ser\u00eda

$$\Delta V_{fal \ tan \ te} = \frac{2}{3} \times (2400mm) \times (h) \times (12800mm)$$

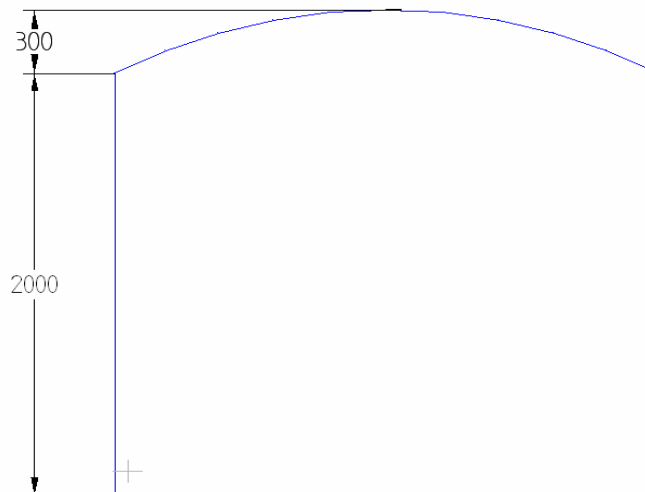
$$\Rightarrow \Delta V_{fal \ tan \ te} = 5.597 \times 10^9 mm^3 = \frac{2}{3} \times (2400mm) \times (h) \times (12800mm)$$

$$\Rightarrow h = 220mm \Rightarrow h = 22cm$$

Se obtiene que la altura del segmento circular es de 220 mm.

Puesto que el producto posee un \u00e1ngulo de escurrimiento el debe ser tenido en cuenta en el dise\u00f1o del empaque, por eso se utilizara la altura del segmento circular como 300 mm, como se ve en la figura 31.

Figura 31. Perfil del Empaque.



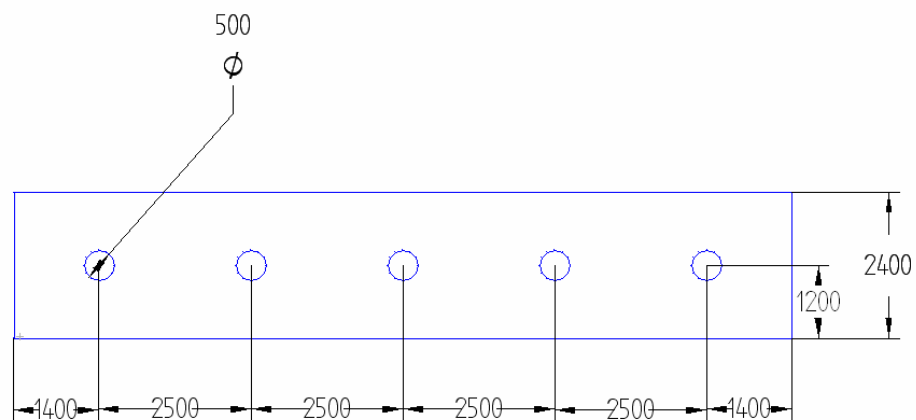
### 9.3 Agujeros De Llenado

Los agujeros de llenado o de carga se encontrarán en la parte superior del empaque, puesto que el producto se encontrará al granel en tolvas.

Los agujeros de carga tendrán un diámetro de 500mm.

El empaque contendrá 5 agujeros de carga los cuales estarán distribuidos de la siguiente manera. (figura 32)

Figura 32. Vista superior del empaque con mangas de carga.



Dichos agujeros deben tener unas mangas (ver figura 34) con una longitud de 1500 mm, ya que dichas mangas unirán la válvula de descarga de la tolva con el agujero de carga del empaque (ver figura 33), la cual impedirá que el producto se riegue y servirá para poder cerrar los agujeros.

Figura 33. Vista frontal del empaque con mangas.

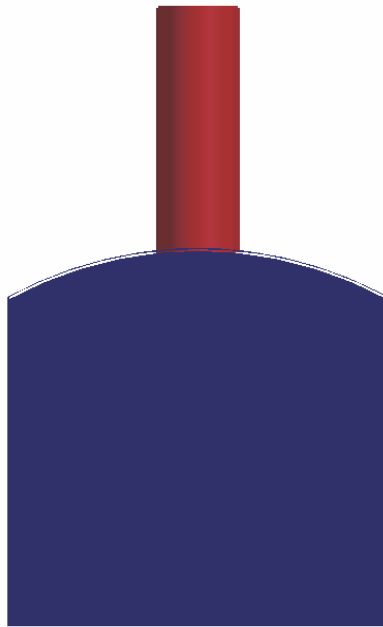
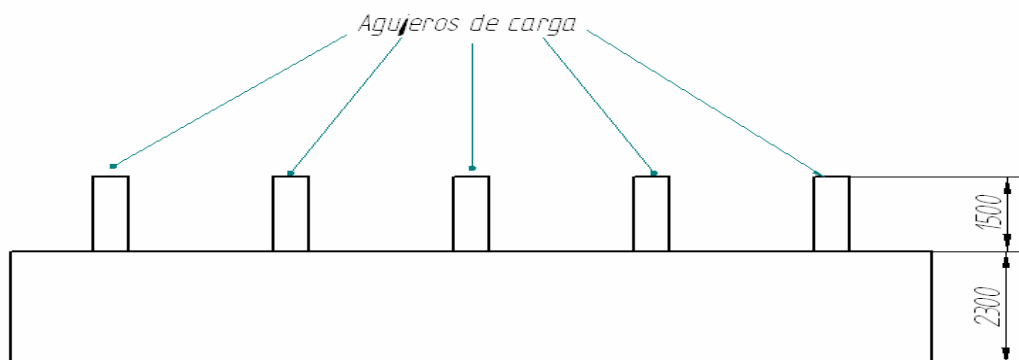


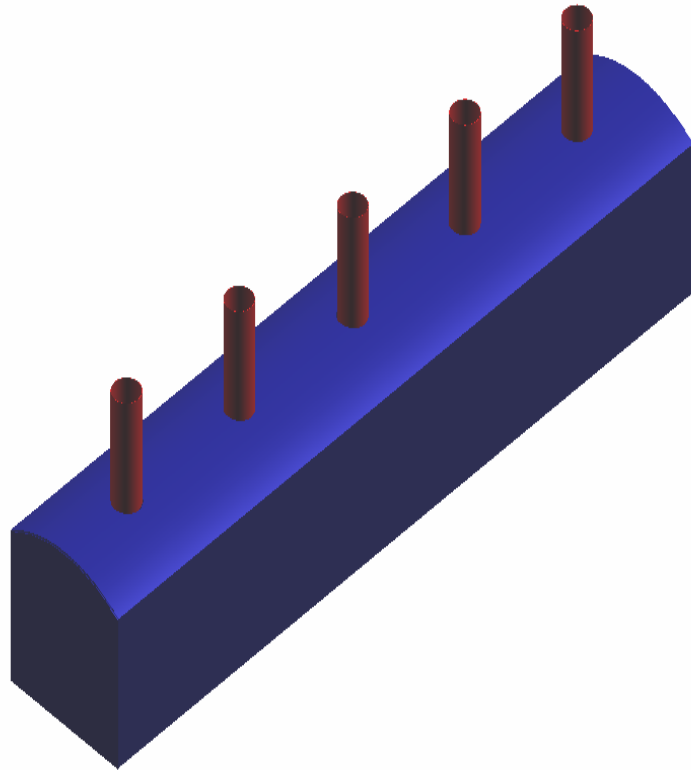
Figura 34. Empaque con mangas de carga





En la figura 35, se muestra el empaque con sus mangas de llenado.

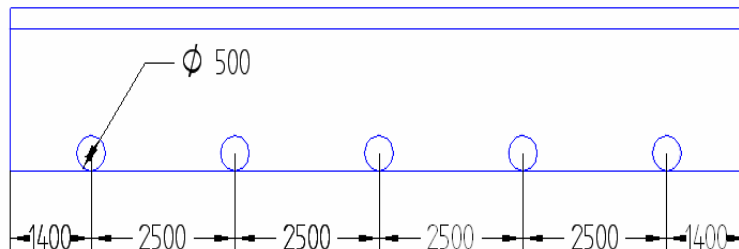
Figura 35. Empaque con Mangas de llenado.



## 9.4. Agujeros De Descarga

Los agujeros de descarga se encontrarán en la parte lateral del empaque, ver figura 36, para facilitar la salida del producto por la acción de la gravedad.

Figura 36. Perfil del empaque con agujeros de descarga.



Los agujeros de descarga tendrán un diámetro de 500 mm, igual a los agujeros de carga por ser el tamaño que tienen las carrocerías de las tractomulas.

El empaque puede tener 5 o 10 agujeros de descarga (ver figura 37, 38, 39 y 40). Esta cantidad de agujeros depende del sistema de descarga que tenga la empresa que recibirá el producto.

Figura 37. Vista frontal del empaque con 10 agujeros de descarga.

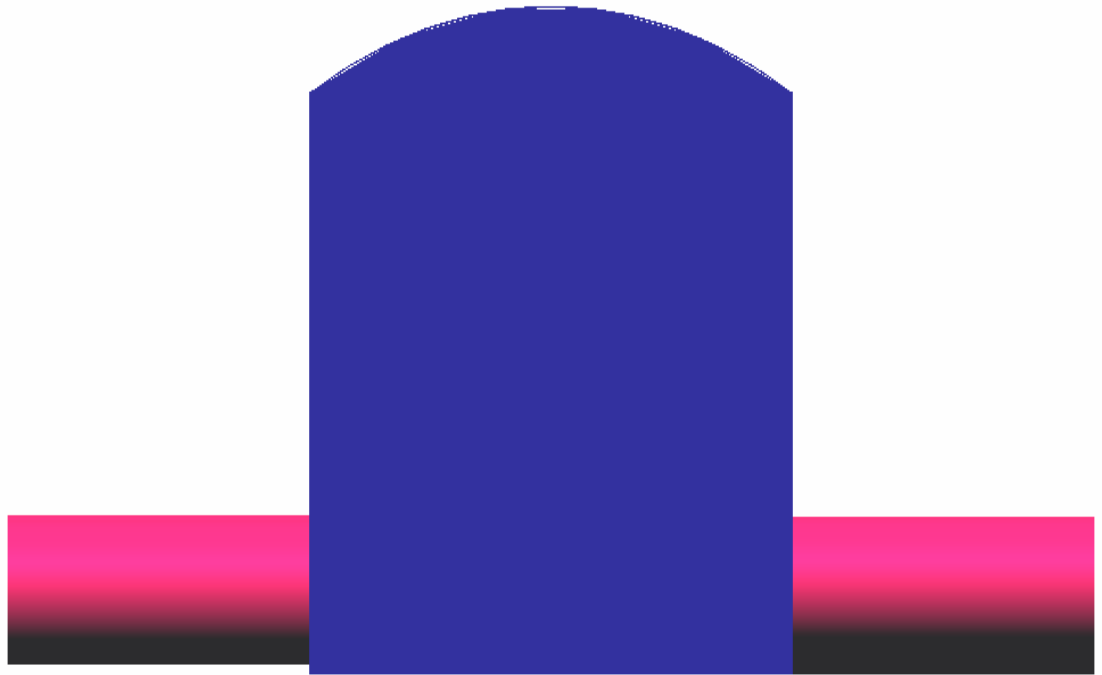


Figura 38. Vista frontal del empaque con 5 agujeros de descarga.

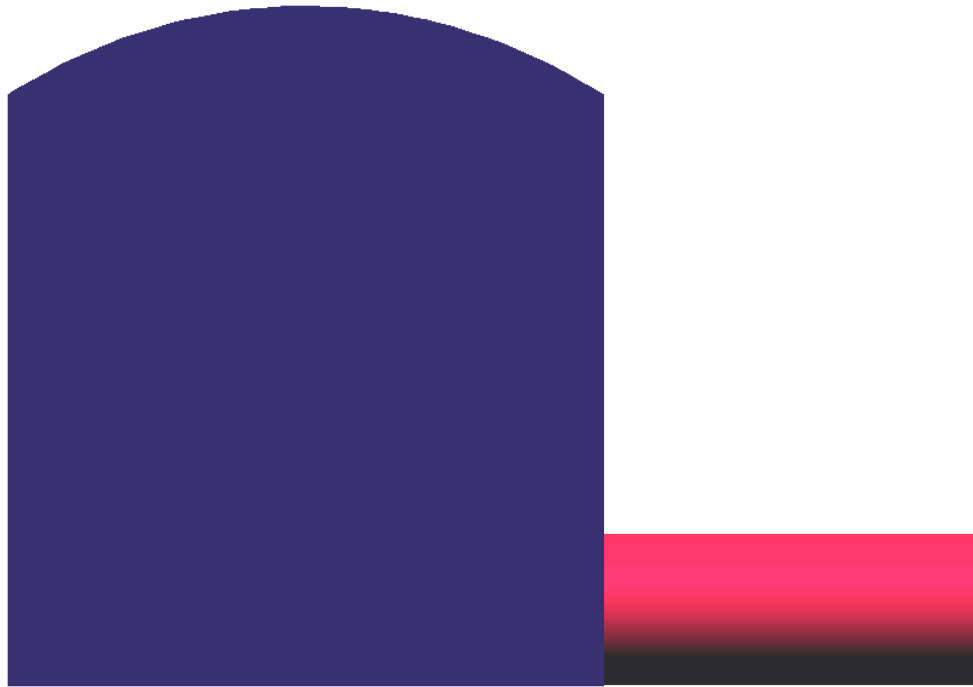


Figura 39. Empaque con 5 orificios de descarga.

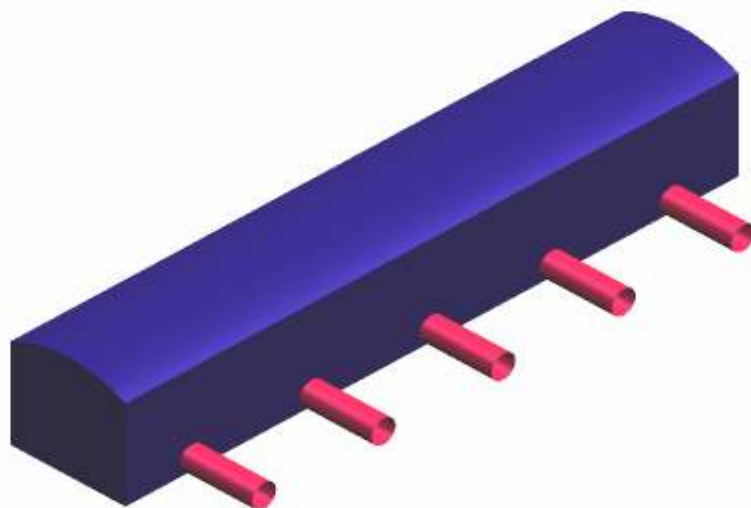
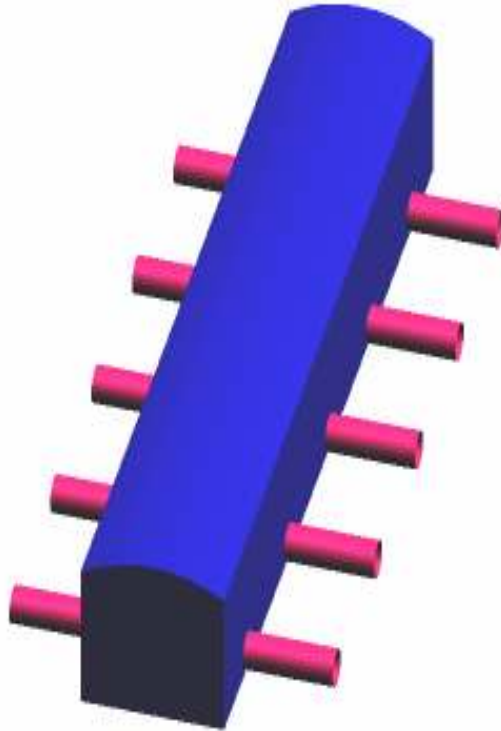


Figura 40. Empaque con 10 agujeros de descarga.



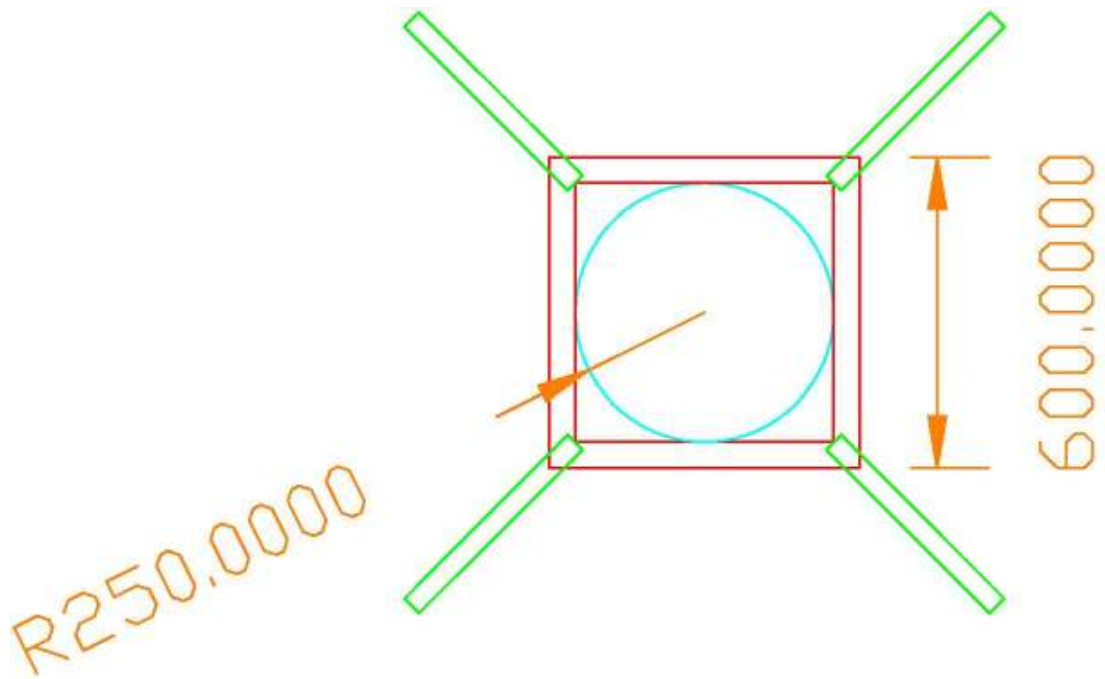
Los agujeros de descarga del empaque deben estar situados en las compuertas laterales de la tractomula tipo carbonera.

## 9.5. Sujeción Del Empaque

El empaque estará sujeto por unas tiras o correas las cuales irían agarradas de la carrocería de la tractomula de la siguiente manera:

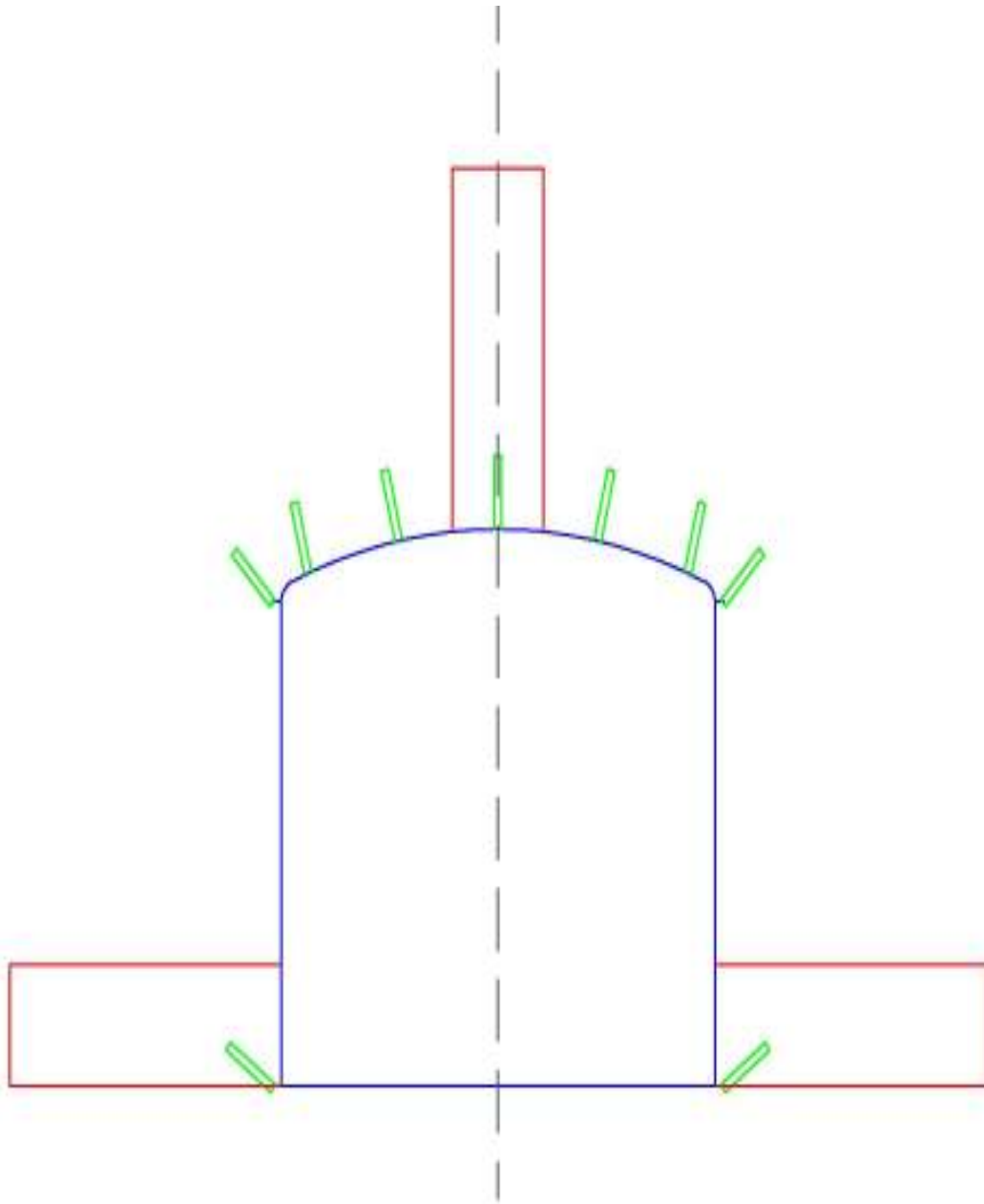
- a) En la parte superior esta sujeta del envarillado donde va montada la carpa, de tal forma que se mantenga la geometría del segmento circular, ver figuras 42 y 43.
- b) En los laterales irá una argolla cada medio metro (500mm) por la cual debe pasar cada correa, ver figura 44 y 45.
- c) En los agujeros de descarga deben ir unas tiras o correas (ver figura 41) las cuales unen el agujeros de descarga con las compuertas de la tractomula.

Figura 41. Agujeros de descarga.



## Agujeros de Descargas

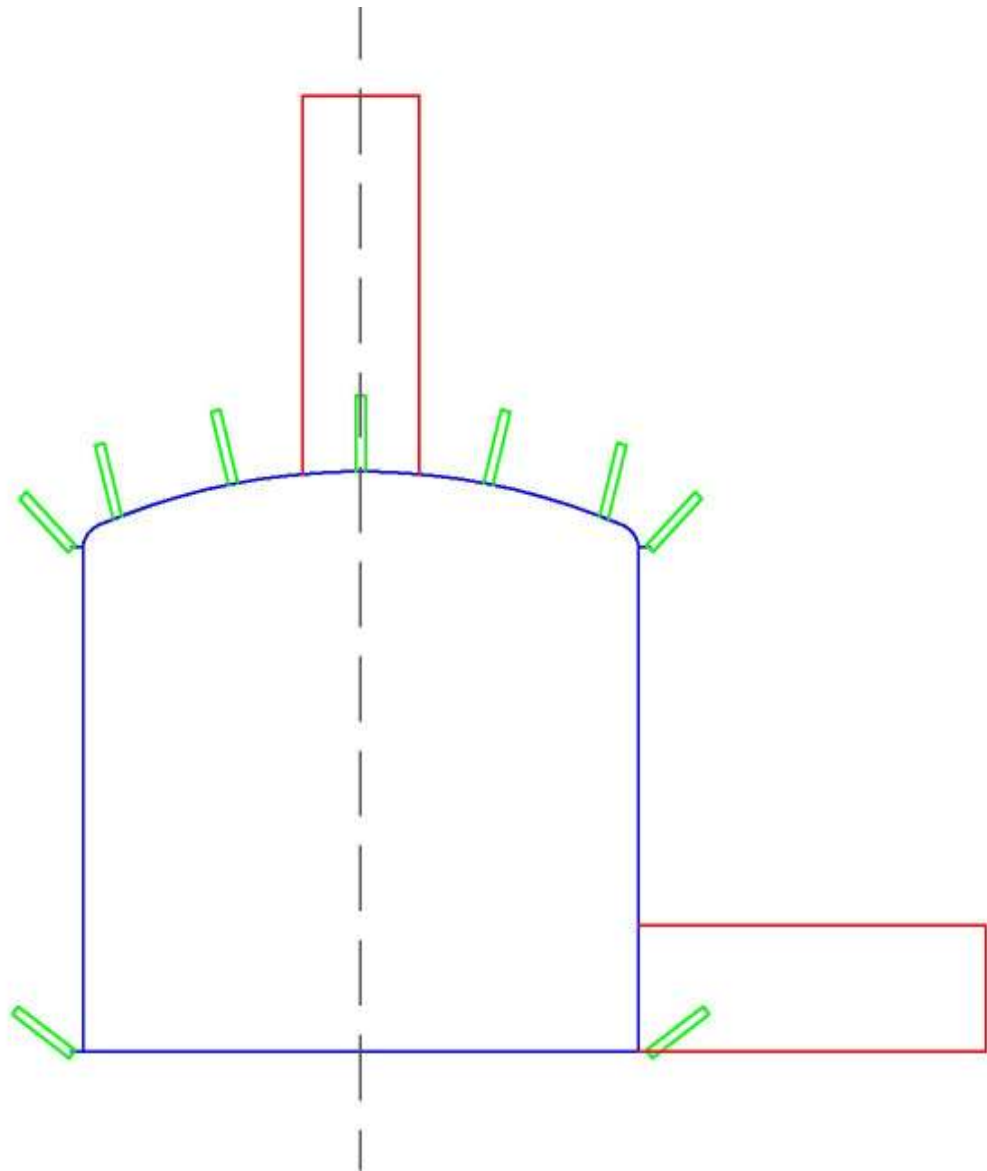
Figura 42. Sujeción del empaque de 10 agujeros.



**Vista Frontal Empaque**



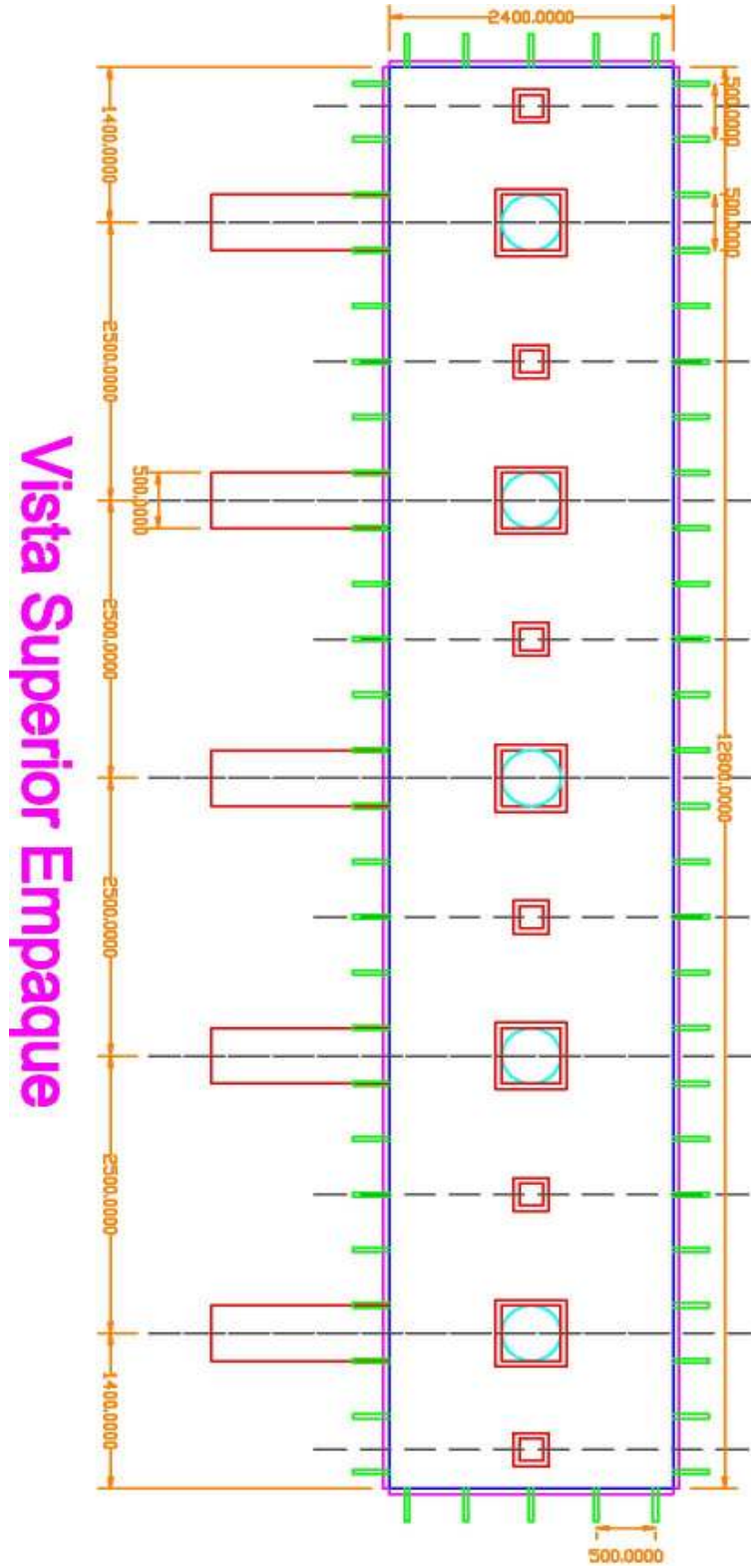
Figura 43. Sujeción empaque 5 agujeros.



# Vista Frontal Empaque



Figura 45. Vista superior empaque 5 agujeros.



## **10. INFLABLE.**

Como se vio en las pruebas el producto no fluyó en su totalidad libremente, por lo que es necesario desarrollar un sistema que lo ayude a evacuar en su totalidad.

Para esto se diseñará un inflable, el cual en el momento en que el producto deje de fluir libremente, comience a llenarse de aire para ir evacuando el producto en su totalidad.

Dicho inflable en el momento de carga se encontrara desinflado, con lo cual no ocupara espacio, ya que estaría en el empaque como un sobre piso.

## 10.1. Geometría Del Inflable Para 10 Agujeros

Las pruebas suministran la geometría del inflable de 10 agujeros como se muestra:

Vemos en la figura 46 los picos que toma el producto que no fluye.

Figura 46. Prototipo de 10 agujeros con producto que no fluye.



La altura del inflable es de 1500 mm de forma triangular, puesto que con esta geometría el producto fluye con mayor facilidad.

En la figura 47, se ve la forma que toma el producto entre los agujeros de descarga.

Figura 47. Vista superior del prototipo de 10 agujeros.



En la figura 48, 49 y 50, se muestra como quedan producto en las esquinas una vez dejo de fluir libremente.

Figura 48. Esquina del prototipo de 10 agujeros.





Figura 49. Vista de la esquina del prototipo.





Figura 50. Otra vista de la esquina del prototipo.



En la figura 51, se muestra la forma que toma el producto en cada uno de los agujeros de descarga.

Figura 51. Producto en los agujeros.



En base a las anteriores figuras se muestra la forma (ver figura 52, 53 y 54) que tomará el inflable en el momento de la descarga, una vez se le haya inyectado el aire necesario para hacer fluir la totalidad del producto.

Figura 52. Forma del Inflable.

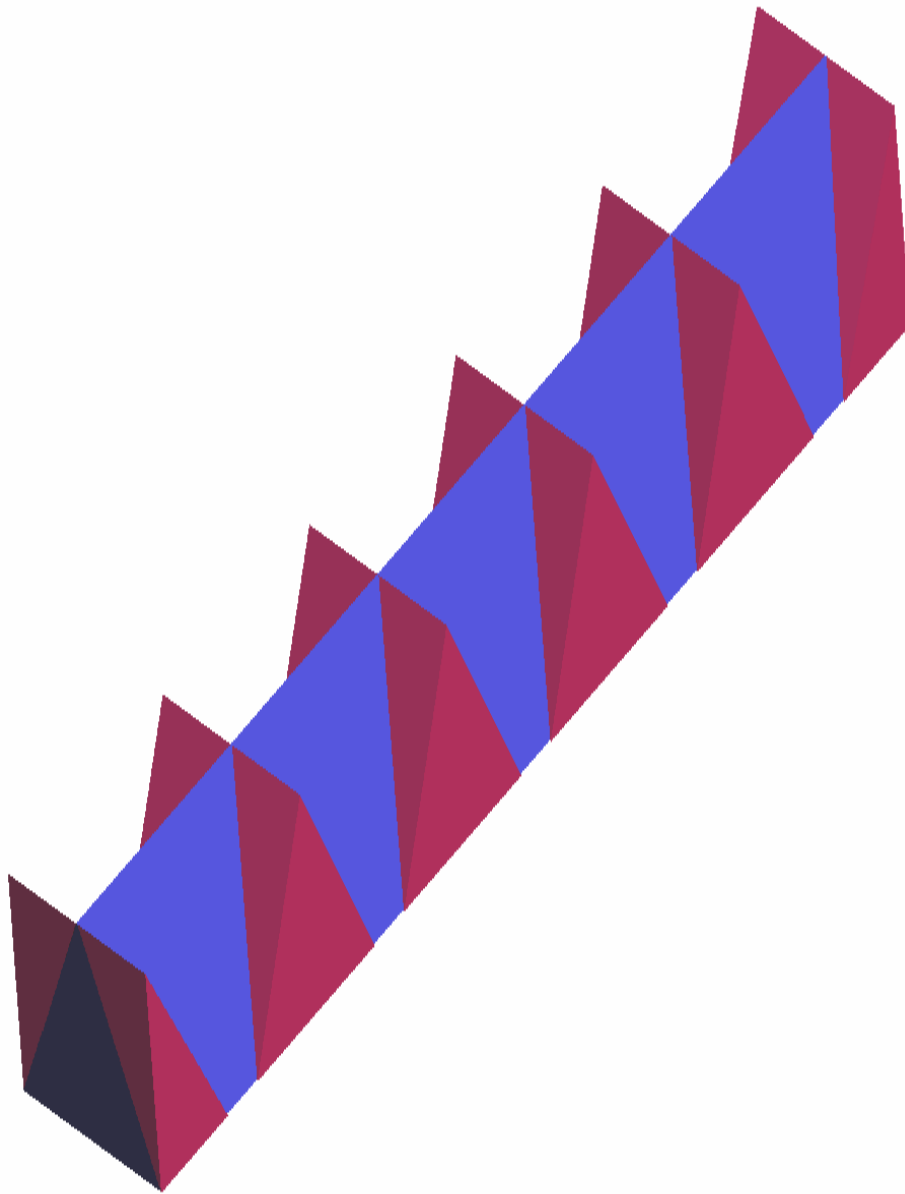


Figura 53. Vista Frontal del inflable de 10 agujeros.

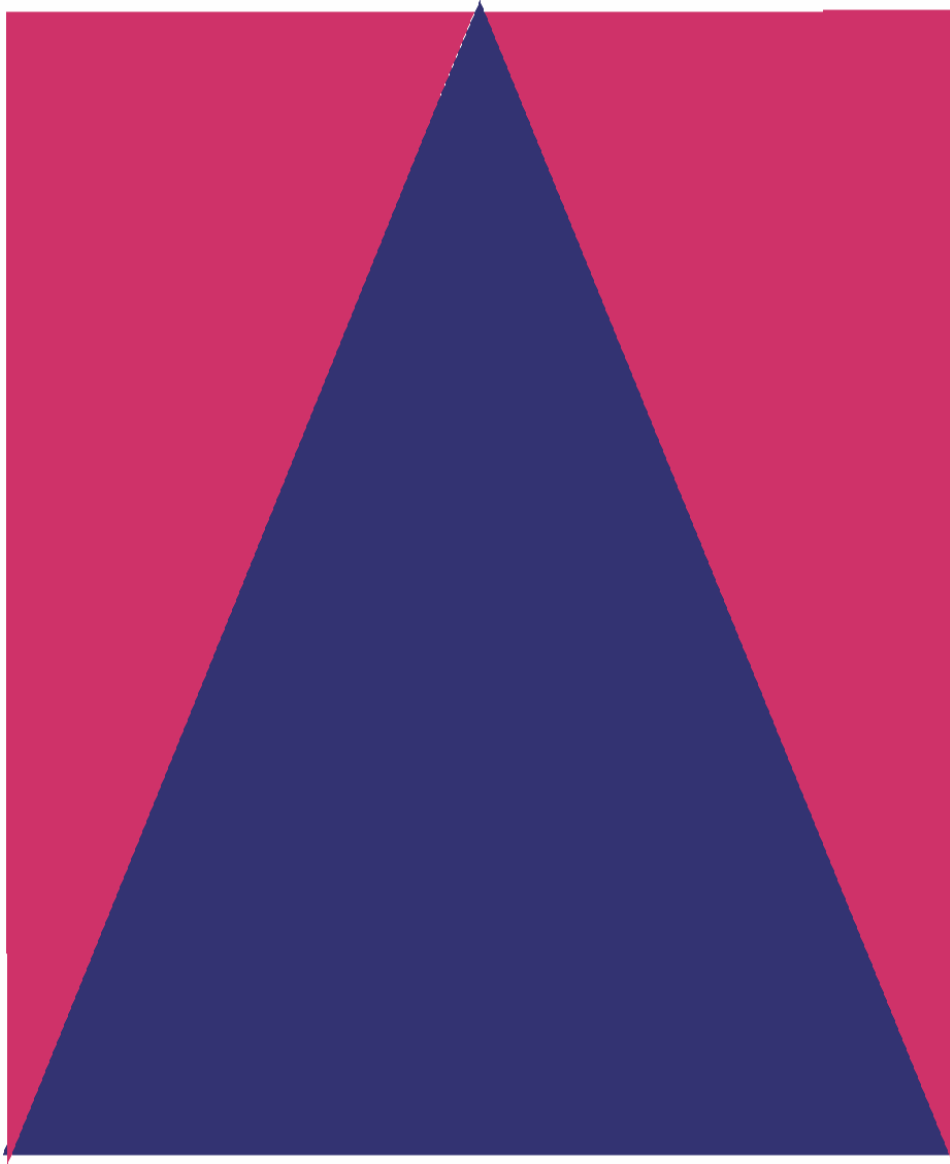


Figura 54. Vista superior del inflable de 10 agujeros.



## 10.2. Geometría Del Inflable De 5 Agujeros

Las pruebas suministran la geometría del inflable de 5 agujeros como se muestra:

En la figura 55, vemos la forma que toma el producto una vez dejo de fluir libremente en todo el prototipo

Figura 55. Prototipo con 5 agujeros con producto.



En la figura 56, se ve la forma que debe tomar el inflable en las paredes, para que haga fluir el producto que se acumula en estas.

Figura 56. Producto alrededor de los agujeros de descarga.



En la figura 57, indica la geometría que debe adoptar dicho inflable.

Figura 57. Esquina del Prototipo de 5 Agujeros.





En base a estas figuras la forma que debe adoptar el inflable para que haga fluir la totalidad del producto se puede ver en las figuras 58, 59 y 60.

Figura 58. Inflable de 5 agujeros.

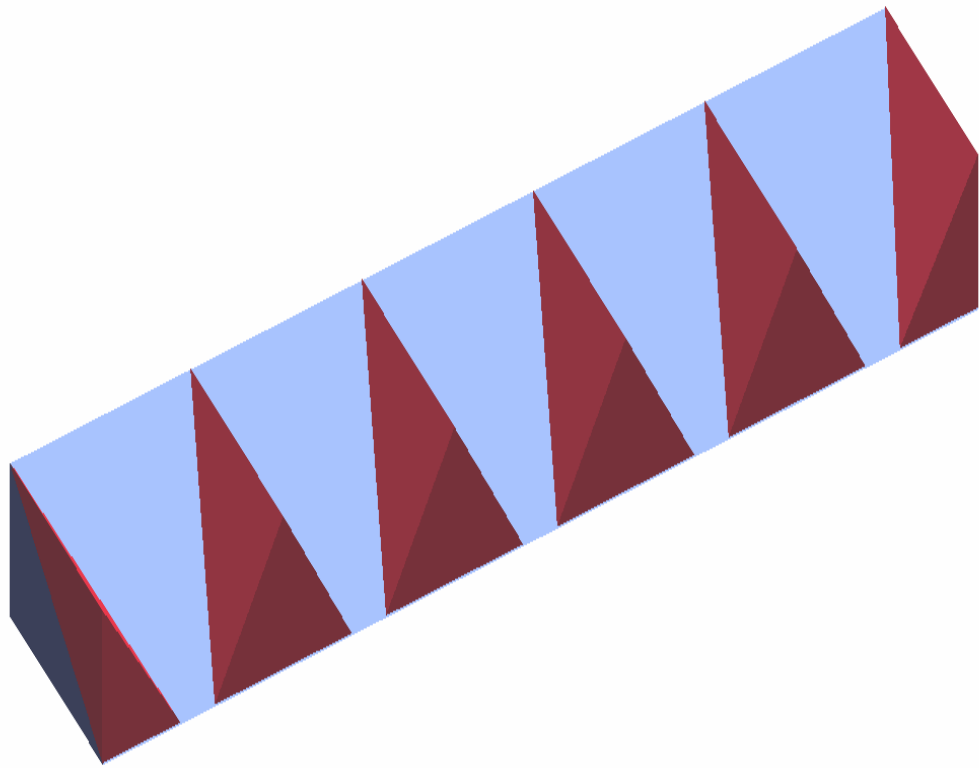


Figura 59. Vista Frontal del inflable de 5 agujeros.



Figura 60. Vista superior del inflable de 5 agujeros.



### 10.3. Presión Y Volumen Para El Inflable De 5 Agujeros

**Presión:** En el momento del llenado, el área donde se ejercerá la fuerza es la base del inflable, puesto que éste se encuentra desinflado.

La fuerza que se ejercerá sobre el inflable en el momento de comenzar a inflarse será la masa que no fluyo libremente, que fue calculada en el capítulo 8.2, la cual para el inflable de 5 agujeros es de 15.11 toneladas.

Dicha masa la multiplicamos por un factor de seguridad del 30%, puesto que en el momento que la masa sea mayor dicho factor cubrirá dicho aumento.

Para calcular la presión que necesitará el inflable para hacer fluir el producto tenemos:

$$P = \frac{15.11 \text{ ton} \times 1.3}{2.4m \times 12.8m}$$

$$\rightarrow P = \frac{19643kg}{307200cm^2}$$

→

$$P = 0.064 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

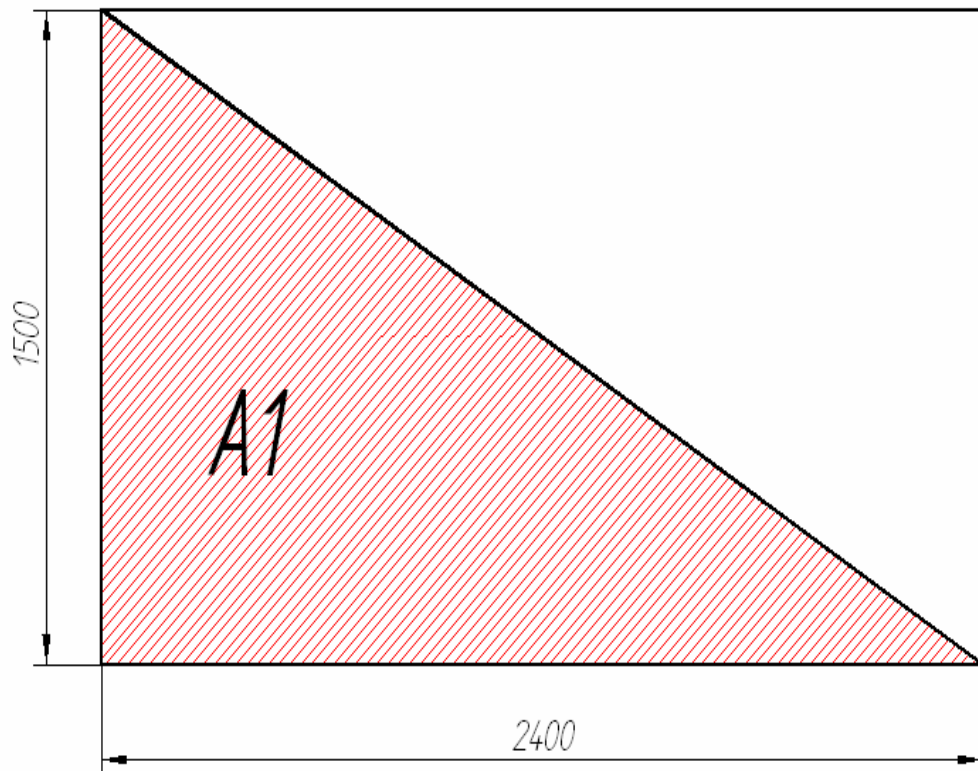
**Volumen:** Se calculara el volumen de aire necesario para que el inflable se encuentre inflado al 100%, ya que en este momento la masa de producto debe haber fluido completamente.

El área A1 esta conformada por un triangulo el cual tiene una base de 2400mm y una altura de 1500 mm. (figura 61)

$$A1 = \frac{2400mm \times 1500mm}{2}$$

$$\rightarrow A1 = 1800000mm^2 = 1.8m^2$$

Figura 61. Vista Frontal del inflable de 5 agujeros.



Esta A1 se extiende por la longitud total del inflable, el cual tiene una longitud de 12800 mm, por lo cual su volumen V1 es:

$$V1 = 1.8m^2 \times 12.8m$$

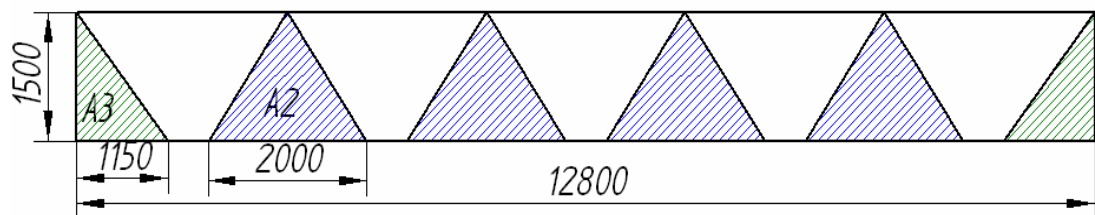
$$\rightarrow V1 = 23.04m^3$$

El área A2 esta conformada por un triangulo que tiene una altura de 1500mm y una base de 2000mm. (figura 62)

$$A2 = \frac{1500mm \times 2000mm}{2}$$

$$A2 = 1500000mm^2 = 1.5m^2$$

Figura 62. Vista lateral del inflable de 5 agujeros.



Para calcular el volumen V2, debemos hallar la profundidad. Como se observa en la figura 60, la profundidad esta conformada por 2 triángulos iguales, por lo cual se puede decir que para calcular el volumen V2 la profundidad es la mitad del ancho del inflable.

$$p = \frac{2400mm}{2}$$

$$\rightarrow p = 1200mm = 1.2m$$

Se halla V2

$$V2 = A2 \times p$$

$$\rightarrow V2 = 1.5m^2 \times 1.2m \rightarrow V2 = 1.8m^3$$

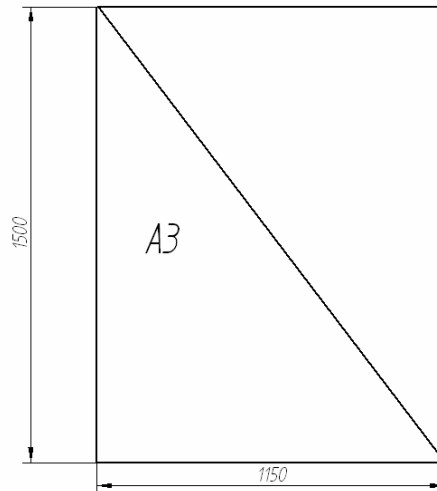
Como se muestra en la figura 61, existen 4 áreas A2, por lo cual el volumen V2 total es:

$$V2_{Total} = 4 \times 1.8m^3$$

$$\rightarrow V2_{Total} = 7.2m^3$$

El área A3 esta conformada por un triangulo que tiene una base de 1150mm y una altura de 1500mm. (figura 63)

Figura 63. Vista del área A3.



$$A3 = \frac{1500\text{mm} \times 1150\text{mm}}{2}$$

$$\rightarrow A3 = 862500\text{mm}^2 = 0.862\text{m}^2$$

La profundidad para el área A3 será la misma que se tomó para el área A2, por lo cual el volumen V3 es:

$$V3 = 0.862\text{m}^2 \times 1.2\text{m}$$

$$\rightarrow V3 = 1.0344\text{m}^3$$

Como se muestra en la figura 61, el volumen V3 total estaría conformado por 2 triángulos, por lo cual el volumen V3 total es:

$$V3_{\text{Total}} = 2 \times 1.0344\text{m}^3$$

$$\rightarrow V3_{\text{Total}} = 2.07\text{m}^3$$



Para calcular el volumen total del inflable de 5 agujeros sumamos todos los volúmenes que se obtuvieron anteriormente.

$$\begin{aligned}V_{Total} &= V_1 + V_{2Total} + V_{3Total} \\ \rightarrow V_{Total} &= 23.04m^3 + 7.2m^3 + 2.07m^3 \\ \rightarrow V_{Total} &= 32.31m^3\end{aligned}$$

Se obtiene que el volumen de aire necesario para llenar el inflable es de  $32.31m^3$ .

## 10.4. Presión Y Volumen Para El Inflable De 10 Agujeros

**Presión:** Como en el momento del llenado el área donde se ejercerá la fuerza es la base del inflable, puesto que este se encontrara desinflado, la fuerza que se ejercerá sobre el inflable en el momento de comenzar a inflarse será la masa que no fluyó libremente, que fue calculada en el capítulo 8.1, la cual para el inflable de 5 agujeros es de 10.456 toneladas.

Dicha masa la multiplicamos por un factor de seguridad del 30%, puesto que en el momento que la masa sea mayor dicho factor cubrirá el excedente.

Para calcular la presión que necesitara el inflable para hacer fluir el producto:

$$P = \frac{10.4577 \text{ ton} \times 1.3}{2400 \text{ mm} \times 12800 \text{ mm}}$$

$$\rightarrow P = \frac{13600 \text{ kgf}}{307200 \text{ cm}^2}$$

$$\rightarrow P = 0.044 \text{ kgf} / \text{cm}^2$$

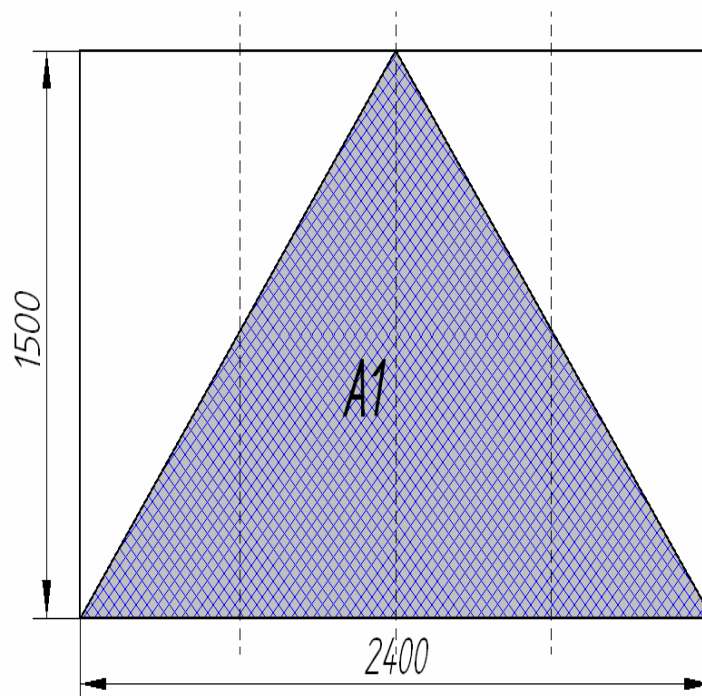
**Volumen:** Se calculara el volumen de aire necesario para que el inflable se encuentre inflado al 100%, ya que en este momento la masa de producto debe haber fluido completamente.

El área A1 esta conformada por un triangulo el cual tiene una base de 2400mm y una altura de 1500 mm. (figura 64)

$$A1 = \frac{2400mm \times 1500mm}{2}$$

$$\rightarrow A1 = 1800000mm^2 = 1.8m^2$$

Figura 64. Vista frontal inflable de 10 agujeros.



Esta A1 se extiende por la longitud total del inflable, el cual tiene una longitud de 12800 mm, por lo cual su volumen V1 es:

$$V1 = 1.8m^2 \times 12.8m$$

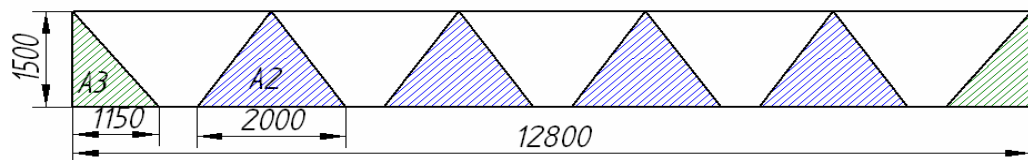
$$\rightarrow V1 = 23.04m^3$$

El área A2 esta conformada por un triangulo que tiene una altura de 1500mm y una base de 2000mm. (figura 65)

$$A2 = \frac{1500mm \times 2000mm}{2}$$

$$A2 = 1500000mm^2 = 1.5m^2$$

Figura 65. Vista lateral del inflable de 5 agujeros.



Para calcular el volumen V2, debemos hallar la profundidad. Como se ve en la figura 63, la profundidad esta conformada por 4 triángulos iguales, por lo cual se puede decir que para calcular el volumen V2 la profundidad es la mitad del ancho del inflable.

$$p = \frac{2400\text{mm}}{4} + \frac{2400\text{mm}}{4}$$

$$\rightarrow p = 1200\text{mm} = 1.2\text{m}$$

Se halla V2

$$V2 = A2 \times p$$

$$\rightarrow V2 = 1.5\text{m}^2 \times 1.2\text{m} \rightarrow V2 = 1.8\text{m}^3$$

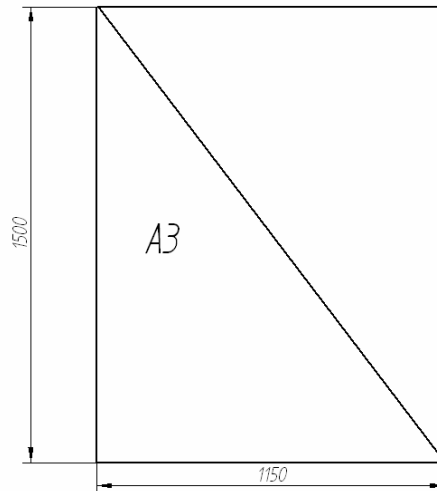
Como se ve en la figura 64, existen 4 áreas A2, por lo cual el volumen V2 total es:

$$V2_{\text{Total}} = 4 \times 1.8\text{m}^3$$

$$\rightarrow V2_{\text{Total}} = 7.2\text{m}^3$$

El área A3 esta conformada por un triángulo que tiene una base de 1150mm y una altura de 1500mm. (figura 66)

Figura 66. Vista del área A3.



$$A3 = \frac{1500\text{mm} \times 1150\text{mm}}{2}$$

$$\rightarrow A3 = 862500\text{mm}^2 = 0.862\text{m}^2$$

La profundidad para el área A3 será la misma que se tomó para el área A2, por lo cual el volumen V3 es:

$$V3 = 0.862\text{m}^2 \times 1.2\text{m}$$

$$\rightarrow V3 = 1.0344\text{m}^3$$

Como se ve en la figura 62, el volumen V3 total estaría conformado por 2 triángulos, por lo cual el volumen V3 total es:

$$V3_{\text{Total}} = 2 \times 1.0344\text{m}^3$$

$$\rightarrow V3_{\text{Total}} = 2.07\text{m}^3$$

Para calcular el volumen total del inflable de 10 agujeros sumamos todos los volúmenes que se obtuvieron anteriormente.

$$V_{Total} = V1 + V2_{Total} + V3_{Total}$$

$$\rightarrow V_{Total} = 23.04m^3 + 7.2m^3 + 2.07m^3$$

$$\rightarrow V_{Total} = 32.31m^3$$

Se obtiene que el volumen de aire necesario para llenar el inflable es de

$$32.31m^3.$$

Se puede observar que para el inflable de 10 agujeros y para el de 5 agujeros el volumen necesario es el mismo.

## **11. EI EMPAQUE COMO UN SOLO SISTEMA.**

Una vez diseñados el empaque y el inflable, para su fácil utilización en la industria se deben encontrar los dos como un solo sistema.

Ya que de esta manera seria mas fácil su montaje y su desmontaje.



## 11.1. SISTEMA DE 5 AGUJEROS.

A continuación se mostrara como debe quedar el sistema en el momento que el inflable haya descargado la total del producto.

Figura 67. Vista frontal sistema de 5 agujeros.

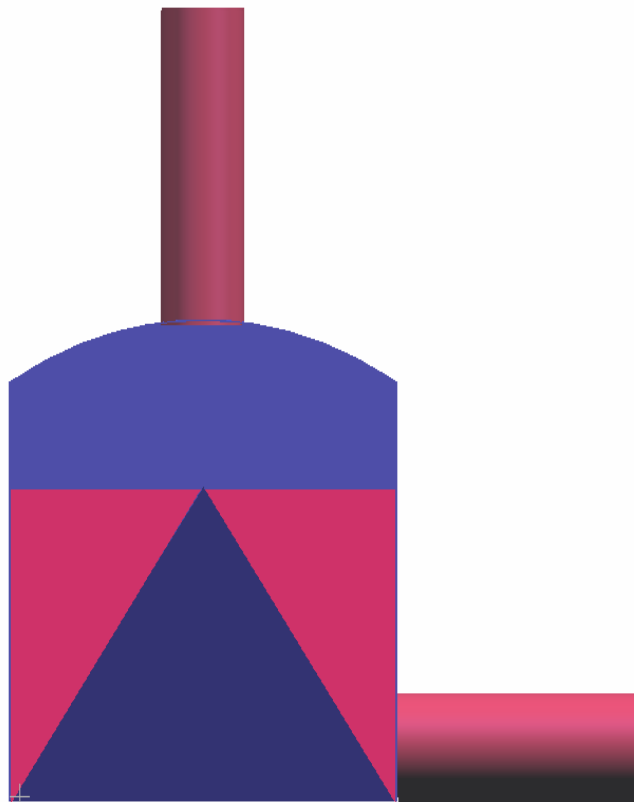


Figura 68. Vista superior sistema 5 agujeros.

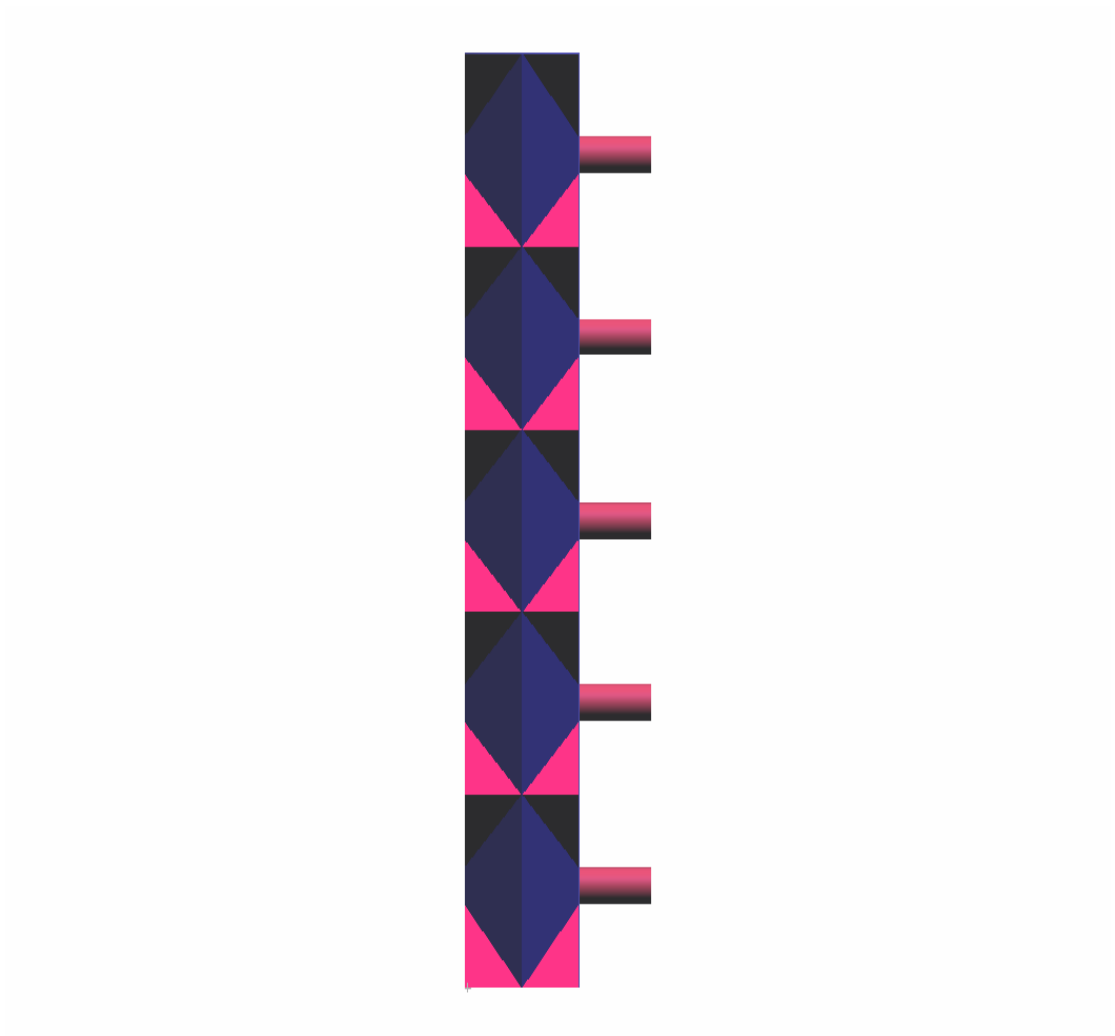


Figura 69. Vista lateral sistema 5 agujeros.

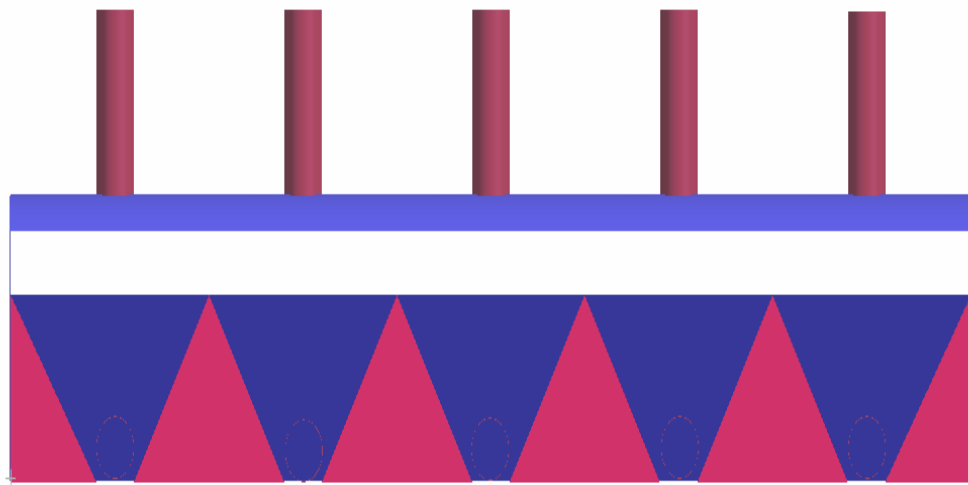
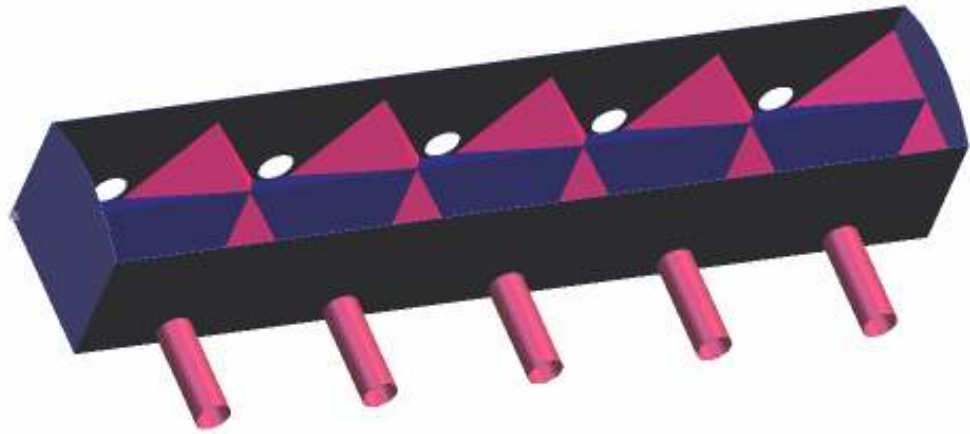


Figura 70. Sistema de 5 agujeros completo.



## 11.2. SISTEMA DE 10 AGUJEROS.

A continuación se mostrara como debe quedar el sistema en el momento que el inflable haya descargado la total del producto.

Figura 77. Vista Frontal del sistema 10 agujeros.

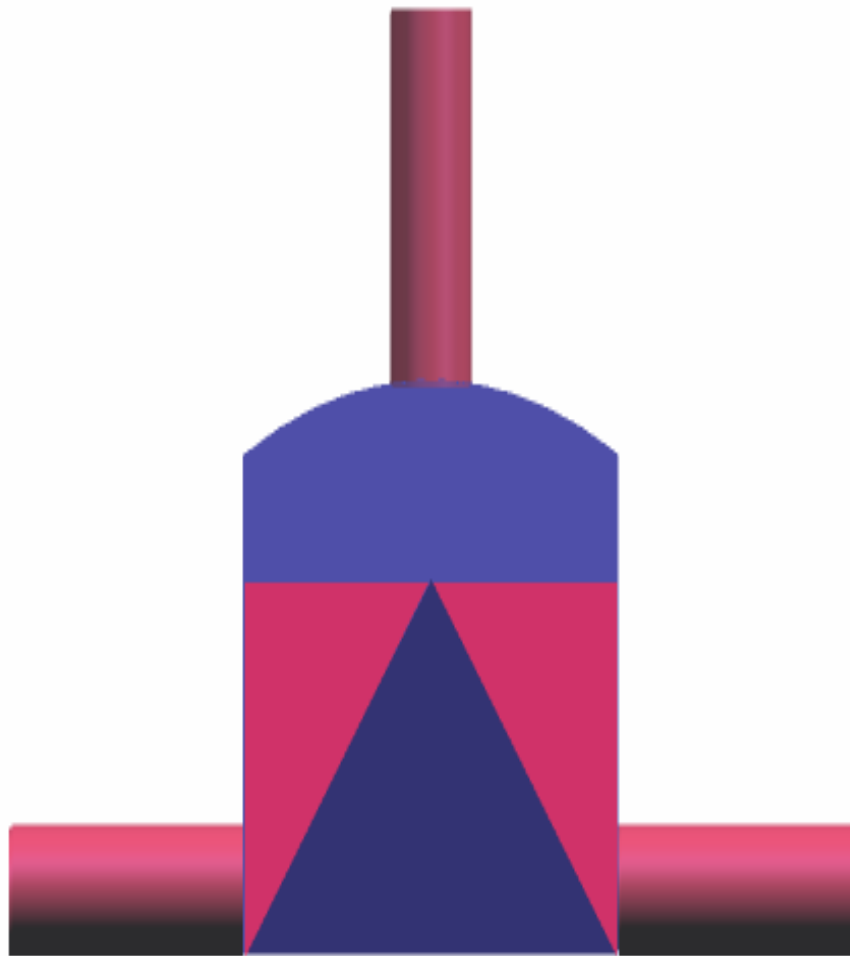


Figura 72. Vista lateral del sistema de 10 agujeros.

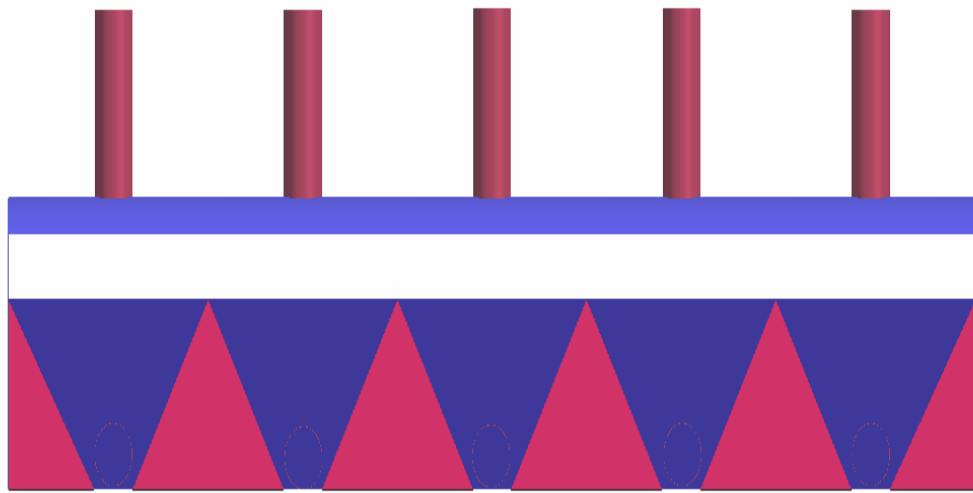


Figura 73. Vista superior del sistema de 10 agujeros.

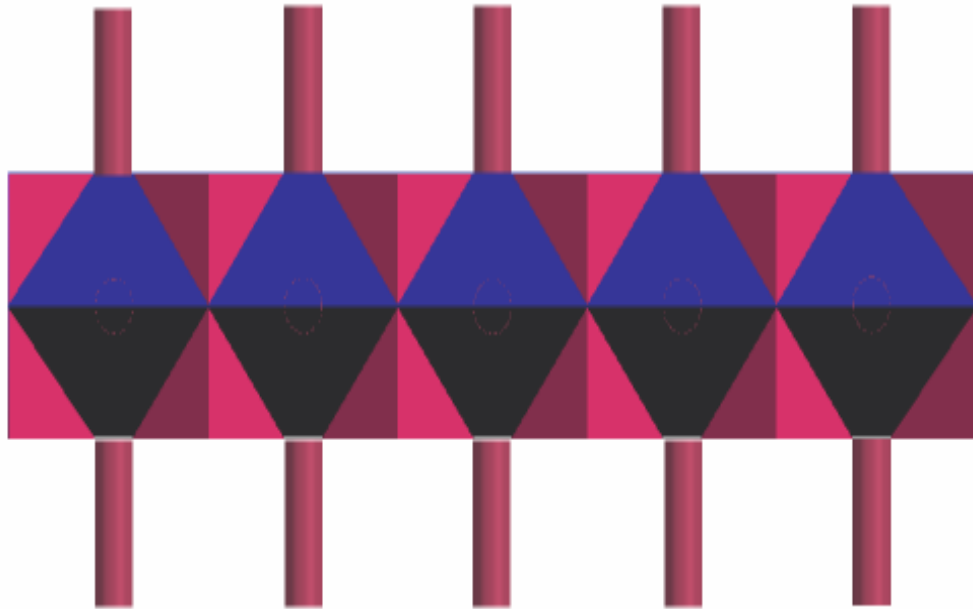
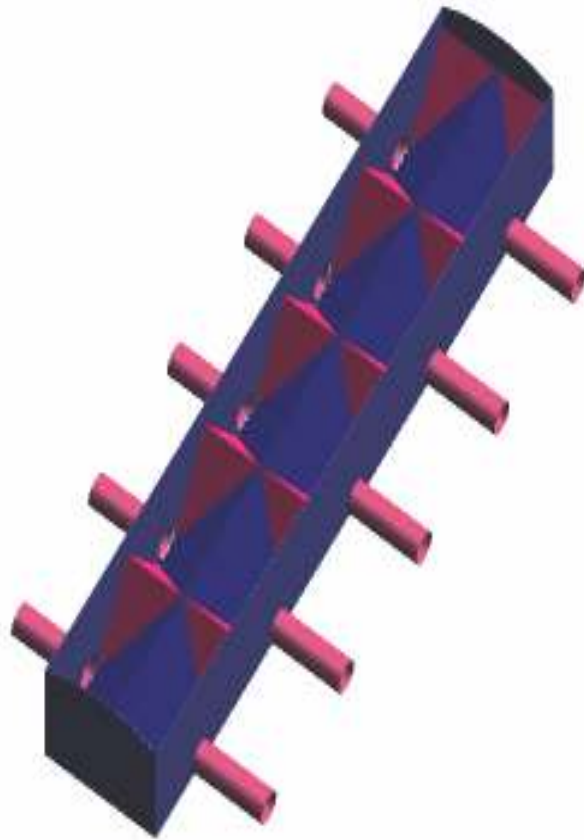


Figura 74. Sistema de 10 agujeros.





## **12. BENEFICIOS EN LA INDUSTRIA.**

En este capítulo se tratarán los beneficios que obtendrá la industria una vez sea implantado o implementado este proyecto.

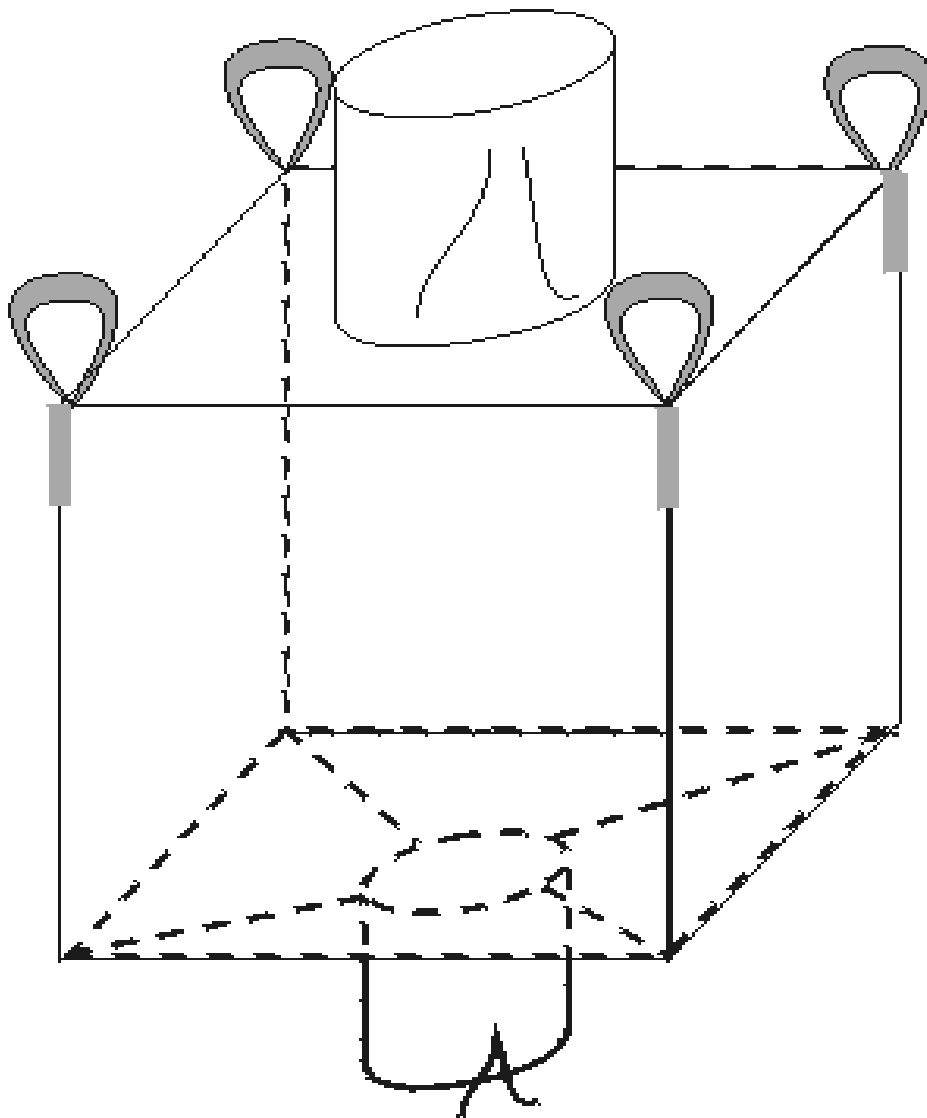
Puesto que uno de los aspectos más importantes que busca este proyecto es el de simplificar el proceso en el sistema de empaquetado.

Actualmente los súper sacos tienen un costo promedio de 20 dólares, los cuales tienen una vida útil de 4 viajes promedio. El costo de fabricación de este tipo de empaque está alrededor de los 3 millones de pesos, el cual debe tener una vida útil mínima de 20 viajes.

## 12.1. Procesos De Empaque Actual

Actualmente para transportar resinas de pvc se utiliza como material de empaque unos súper sacos (ver figura 74), los cuales tienen la capacidad de contener entre 625kg y 1300kg de resina, hoy en día para el mercado nacional se manejan los súper sacos de 860 kg.

Figura 75. Plano de súper saco.



Una vez llega el súper saco a la industria suministrado por su proveedor es llevado a que le introduzcan un linner plástico(es una película plástica), el cual tiene la función de aislar el producto del medio exterior, este proceso en la industria se lleva a cabo de manera manual.

El súper caso es llevado a la línea o zona de empaque ayudado por un montacargas, puesto que no se esta hablando de un súper saco sino de docenas de estos.

En la línea de empaque es tomado de a uno, se cuelga por sus 4 orejas y por su boca superior se inyecta aire, para que mantenga su forma, puesto que en el momento de comenzar a vaciarle producto, dicho producto ocupara el espacio del aire, ayudando este proceso a que el súper saco pueda contener la cantidad de producto por el cual fue diseñado sin perder su geometría y su estabilidad.

Una vez el súper saco se encuentra lleno y con su agujero superior cerrado (de manera manual), es tomado por un montacargas el cual lo lleva a la bodega de almacenamiento (ver figura 76), para esperar el momento en el cual será el despacho.

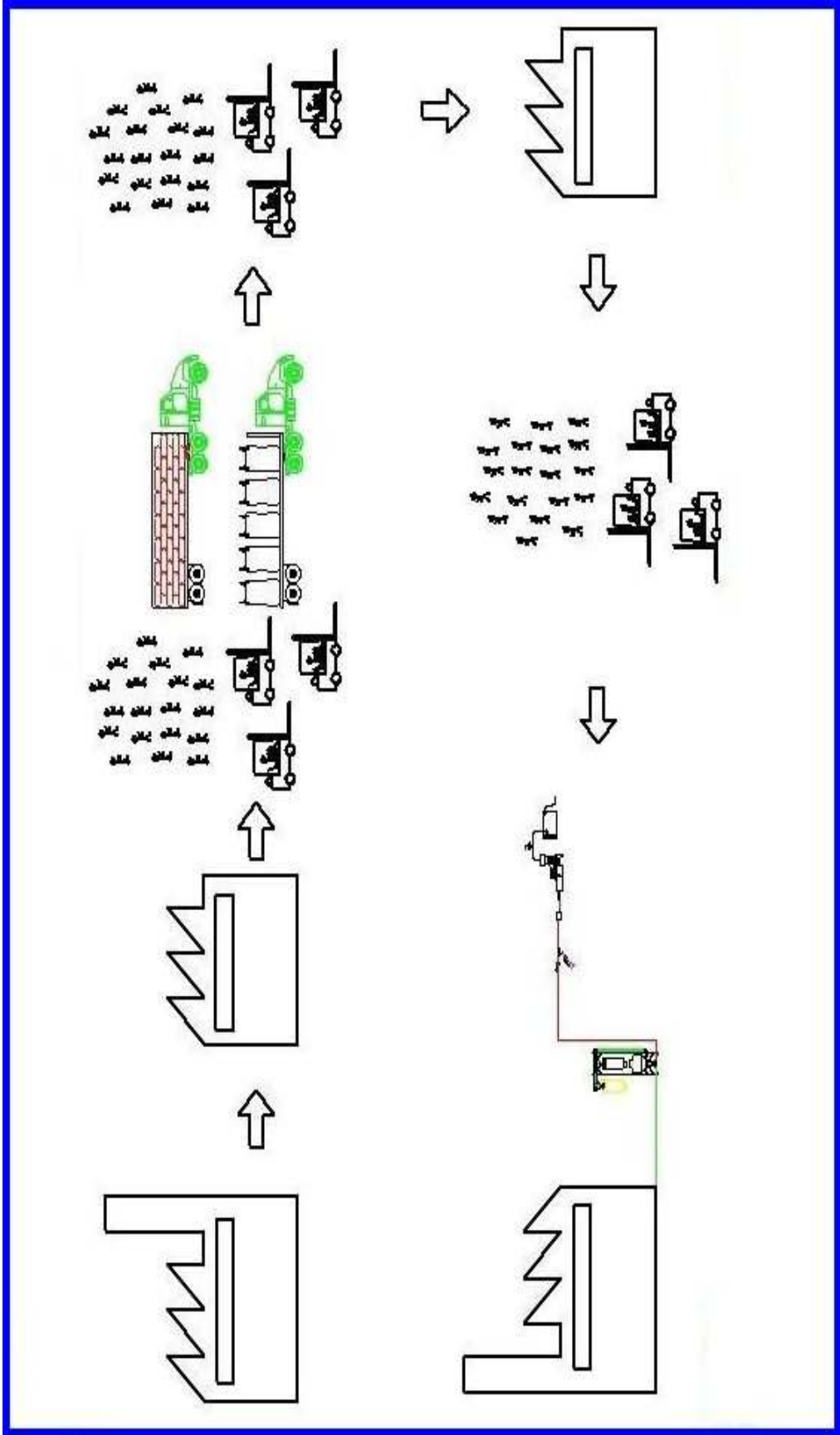
Figura 76. Súper saco almacenado.



En el momento que es generada la orden de despacho, los súper sacos son cargados por un montacargas y llevado a la tracto mula, la cual los va a transportar, dicha tracto mula se cargara con 40 súper sacos.

Cuando ingresa la tracto mula a su destino, los súper sacos son descargados de a uno, con la ayuda del montacargas, el cual los lleva a la línea de descarga, donde los cuelgan de sus 4 orejas y se les abre el agujero inferior, para permitir la descarga del producto hacia el sistema que lo llevaría a la tolva.

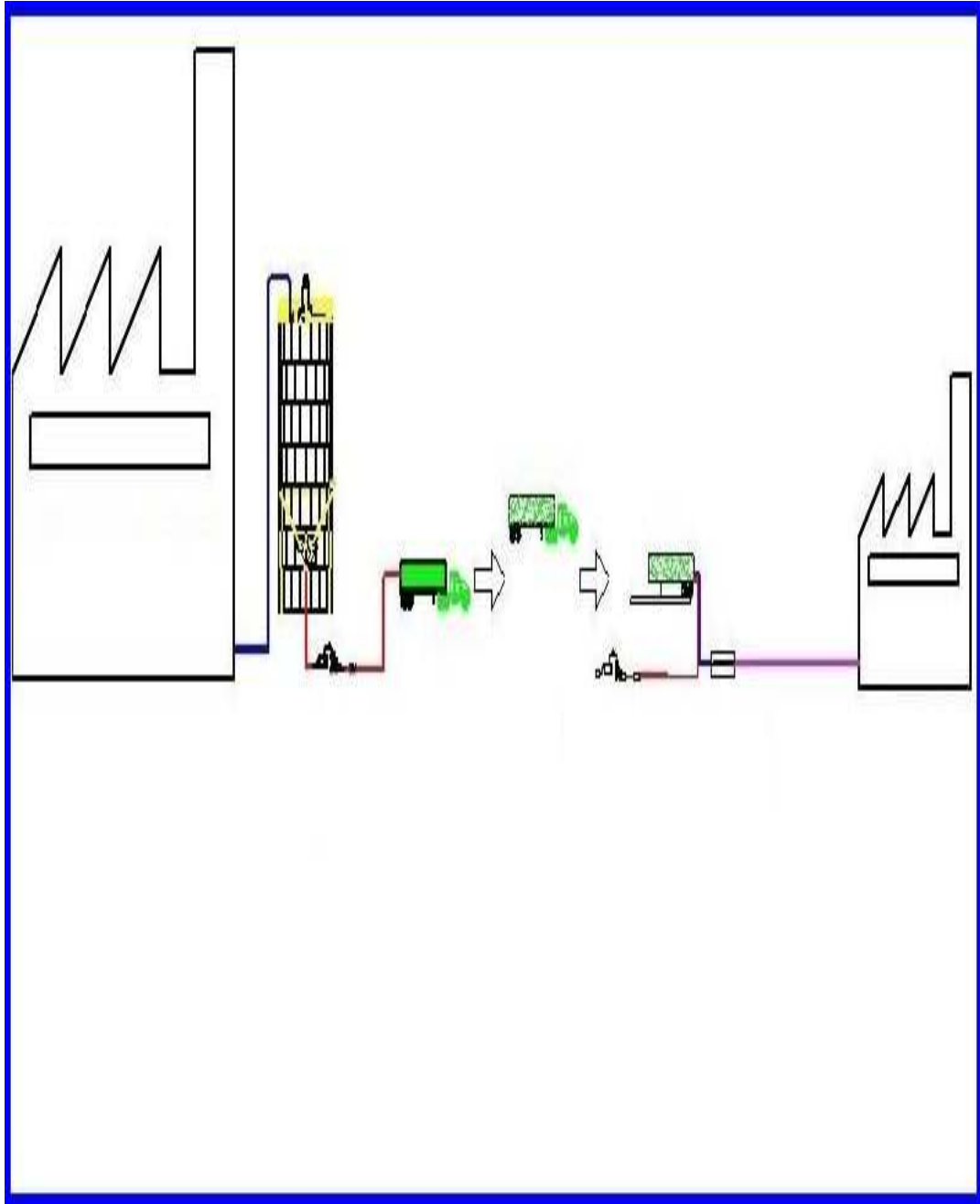
En la figura 77, se vera el diagrama de cómo es el proceso actual.



## 12.2. Proceso De Empaque Con Este Proyecto

Una vez implementado este proyecto en la industria, el proceso se resume (ver figura 78) de la siguiente manera:

Figura 78. Proceso con el proyecto implantado.



Una vez llega el silo flexible a la industria, es montado en la carrocería de la tracto mula tipo carbonera, la cual lo transportara, el silo flexible será amarrado manualmente. Para este proceso se necesitarán 3 personas, y se deben cerrar los agujeros de descarga.

Ya montado en la tracto mula es llevado donde se encuentra el producto al granel.

Dicha válvula debe descargar producto en cada uno de los 5 agujeros de carga, hasta que el silo flexible contenga las 35 toneladas para lo cual fue diseñado. Se deben cerrar los 5 agujeros de carga y en este momento la tracto mula se encuentra lista para realizar su viaje.

Cuando llega la tracto mula donde el cliente, se abren las compuertas laterales de la tracto mula y se conecta el sistema de descarga a los agujeros de descarga, hasta que sea descargada la totalidad del producto.

En el momento que el producto sea descargado en su totalidad, el silo es desmontado por 3 personas, las cuales lo doblarán de tal manera que pueda ocupar un volumen máximo de un metro cúbico.

## **CONCLUSIONES**

Con este proyecto se puede concluir que existe una alternativa viable económicamente para la Industria Colombiana de productos al granel, puesto que se ahorra mano de obra, bodegas para el almacenamiento del producto, maquinaria, tiempo de carga y descarga y ante todo el producto no es contaminado por otro producto.

Estos aspectos ayudan a volver muchos mas competitiva la Industria Colombiana, puesto que con este ahorro se pueden bajar los precios en el mercado, lo cual aumenta la competitividad de las Industrias.

Esta se convierte en la primera etapa de este proyecto, puesto que en el momento de implantarlo se debe optimizar el buen funcionamiento de este sistema de empaque de productos al granel.



## RECOMENDACIONES

Para llevar acabo la construcción de este proyecto se debe tener en cuenta, las medidas de las compuertas de las tracto mulas, puesto que este proyecto se realizo con las medidas que contiene la normatividad, pero existen carrocerías de tracto mulas que tienen medidas diferentes.

En el momento de montar el empaque en la carrocería se debe tener en cuenta que no existan objetos que puedan romper o rasgar la lona, puesto que ponen en peligro el buen desempeño del empaque.

Para que este proyecto sea utilizado en productos como maíz, sorgo, millo y otros productos granelados, se deben realizar los mismo cálculos, pero con las especificaciones técnicas de cada producto.

## BIBLIOGRAFIA

- Manual de Ingeniero Mecánico de Marks.
- Tablas – Para la Industria Metalúrgica. Segunda edición, de la editorial Reverte.
- Pagina Web de Petroquímica Colombiana ([www.petco.com.co](http://www.petco.com.co)).
- Lonas Industriales Plastextil. [www.plastextil.com.co](http://www.plastextil.com.co)

