

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE TERMOCONFORMADO  
PARA MATERIALES AGLOMERADOS

(Autor)

BRAYAN YESSID CONDE PABÓN

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS



UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
PAMPLONA, Junio 15 de 2016

DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UN PROTOTIPO DE TERMOCONFORMADO  
PARA MATERIALES AGLOMERADOS

BRAYAN YESSID CONDE PABÓN

COD: 1094271664

mecan1conde@gmail.com

CEL: 3102901995

Trabajo de grado presentado como requisito para optar al título de  
INGENIERO MECÁNICO

DIRECTOR: WILLIAM JAVIER MORA ESPINOSA.

ING. MECÁNICO

wjme11@gmail.com

PROGRAMA DE INGENIERÍA MECÁNICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERÍA MECÁNICA, MECATRÓNICA E INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERÍAS Y ARQUITECTURAS

Pamplona, Junio 15 de 2016

## Dedicatoria

*Este trabajo de grado, se lo dedico a Dios creador de todas las cosas, a las familias Conde Fernández y Pabón Mendoza en especial, a mis padres Wilman Jesús Conde Fernández, María Eugenia Pabón Mendoza, mi hermana Gissell Dayana Gévez Pabón y abuelos Olga Fernández, Olga Mendoza y Carlos Pabón; quienes con su amor han sido guía y apoyo, en cada decisión que he tomado en mi vida, siempre recordándome que vale la pena soñar y luchar por lo que se desea. A mi padrino Jaime Alberto Rodríguez Mendoza y Fanny Jaimes Contreras gran amiga, quienes con sus asesorías me ayudaron a comprender temas nuevos, mostrándome que no eran tan complicados como parecían en principio y a cada una de las personas que me ayudaron a formar la persona que soy hoy en día.*

## **AGRADECIMIENTOS**

En primer lugar deseo agradecerle a Dios, pues en su voluntad todo es posible, a mis padres que me apoyaron en este sueño de ser Ingeniero Mecánico, a mi director de proyecto el Ingeniero Mecánico William Javier Mora Espinosa, quien me brindo, su confianza para llevar a cabo la totalidad del trabajo de grado y el PhD Bladimir Ramón Valencia quien nos dio la idea inicial para llevar a cabo el proyecto. A cada uno de los docentes que aportaron su enseñanza en mi formación profesional y personal, gracias a ellos, fue posible la realización tanto del diseño como la construcción del prototipo de moldeo por termo-conformado para materiales aglomerados aglomerados presente en este trabajo de grado y finalmente a vicerrectoría de investigaciones quienes me apoyaron económicamente.

## TABLA DE CONTENIDO

1. INTRODUCCIÓN .....	10
2. ReSUMEN DE PROPUESTA.....	12
3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE COMPACTADOR DE MATERIAL AGLOMERADO .....	13
3.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA .....	13
3.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA.....	14
4. OBJETIVOS .....	15
4.1 Objetivo general.....	15
4.2 Objetivos específicos .....	15
5. ESTADO actual .....	16
5.1 Residuos Biodegradables .....	16
5.2 VARIABLES DE LA FABRICACIÓN DE AGLOMARADOS .....	21
6. METODOLOGÍA PROPUESTA.....	23
7. RECURSOS .....	26
7.1 Recursos humanos.....	26
7.2 Recursos financieros .....	26
8. RESULTADOS/PRODUCTOS ESPERADOS .....	26
9. METODOLOGIA EXPERIMENTAL: Diseño y construcción del equipo de termoconformado.....	27
9.1 Análisis de las variables a tener en cuenta para la fabricación de los materiales aglomerados (Objetivo1).....	27
9.2 Diseño y cálculos del prototipo. ....	29
9.3 Tableros DE aglomerados. ....	33
9.4 Diseño de la estructura: .....	34
9.4.1 Diseño de los elementos que componen la máquina: .....	35
9.4.2 Diseño de elementos encargados de transmitir calor y temperatura: ..	58
9.4.3 Diseño de pasador y orejas:.....	60
9.4.4 Diseño transferencia de calor:.....	62
9.5 Construcción del prototipo de máquina para hacer aglomerado (objetivo 2):	64
9.6 Implementación gato hidráulico: .....	73
9.7 Conexión de resistencias eléctricas generadoras de calor: .....	76

9.7.1	Montaje del molde:.....	79
9.8	Fabricación de aglomerado (Objetivo 3):.....	81
9.9	Redacción de manual de funcionamiento (Objetivo 4): .....	84
9.9.1	Tapa superior y bisagra:.....	84
9.9.2	Molde: .....	85
9.9.3	Gato hidráulico tipo botella con manómetro: .....	85
9.9.4	Resistencias eléctricas:.....	86
10.	Resultados obtenidos.....	88
11.	Conclusiones.....	88
12.	Recomendaciones. ....	89
13.	aexos .....	89

## LISTA DE TABLAS

Tabla 1 principales productores de aceite a nivel mundial .....	16
Tabla 2Cronograma de actividades .....	25
Tabla 3Costo de recursos .....	26
Tabla 4 datos de pasador .....	61
Tabla 5 Datos arrojados por el gato con respecto a carga aplicada .....	76

## LISTA DE FIGURAS

Figura 1 Obtención de pellets a partir de residuos de palma de aceite .....	20
Figura 2 metodología propuesta.....	23
Figura 3 Gato mecánico de tornillo.....	30
figura 4Gato mecánico de escalera	figura 5 gato hidráulico tipo
botella.....	31
Figura 6 Resistencia eléctrica generadora de calor .....	32
figura 7 Modelo inicial del prototipo de máquina.....	35
figura 8 Vista frontal de la estructura.....	36
figura 9 Vista isométrica de la estructura	figura 10 Vista lateral de la
estructura .....	36
figura 11 carga distribuida sobre perfiles en I.....	39
figura 12 Carga distribuida y reacciones sobre perfiles en I.....	40
figura 13diagrama cortante sobre perfil en I.....	41
figura 14 Diagrama momento flector perfil en I.....	42
figura 15 Tabla perfiles en I.....	43
figura 16 Dimensiones de perfil I.....	44
figura 17 código cálculos de la estructura en Matlab.....	46
figura 18 Área transversal apoyos laterales .....	47
figura 19 Ejemplo Resultados de operaciones con MATLAB.....	48
figura 20 Placa de apoyo base de molde y tapa de molde.....	50
figura 21 interfaz de Ansys 16,0 .....	54
figura 22 Geometría importada por Ansys.....	55
figura 23 Enmallado realizado en Model .....	55
figura 24 Vista isométrica de aplicación de las cargas en Ansys.....	56
figura 25 Vista lateral de aplicación de cargas en Ansys.....	56
figura 26 Esfuerzo máximo soportado por la estructura .....	57
figura 27 deformación máxima presentada en la estructura.....	57
figura 28 Elementos para termo-compresión .....	58
figura 29 Placa inferior con molde.....	59
figura 30 placa superior y tapa de molde. ....	59
figura 31 Acople de gato a placa de resistencias.....	59
figura 32 parte inferior de la estructura.....	60
figura 33 Dimensiones orejas de pasador.....	62
figura 34 Capas que componen la transferencia de calor.....	63
figura 35 Perfil de base y tapa de la máquina de termo-compresión .....	64
figura 36 Dimensiones de los perfiles comprados para base y tapa de la máquina .....	65
figura 37 Perfiles laterales.....	65
figura 38 Dimensiones de perfiles laterales .....	66
figura 39 placas de soporte para las resistencias eléctricas.....	66
figura 40 Placas de orejas de las bisagras. ....	67
figura 41 Durómetro INSTROM serie 2000 .....	68

figura 42 Prueba de dureza perfil base.....	68
figura 43 Prueba de dureza placa orejas y resistencias .....	69
figura 44 Prueba de dureza perfiles laterales .....	69
figura 45 Proceso de corte de los elementos .....	70
figura 46 Aplicación de soldadura .....	71
figura 47 Verificación unión de los elementos por soldadura .....	71
figura 48 Parte superior de la máquina .....	72
figura 49 Parte inferior de la máquina.....	72
figura 50 Gato de 30 toneladas.....	73
figura 51 Manómetro de 10.000 psi .....	74
figura 52 Conjunto de gato 50 Ton con manómetro de 10.000psi.....	75
figura 53 Ensayo de compresión sobre gato con manómetro en máquina universal .....	75
figura 54 Recorrido de la resistencia en las placas .....	76
figura 55 Mecanizado de placa en las resistencias.....	77
figura 56 Placa obtenida para las resistencias .....	77
figura 57 Conexión de los controladores de temperatura.....	78
figura 58 Contactores de la conexión eléctrica. ....	78
figura 59 Torneado del tubo de gato .....	79
figura 60 acople de molde a placa de resistencias.....	80
figura 61 Acople de conjunto en mesa de trabajo .....	80
figura 62 Colbon de madera y aserrín .....	81
figura 63 Mezcla de aserrín con colbon de madera.....	81
figura 64Ingreso de materia prima en el molde de la máquina .....	82
figura 65 Prensado de materia prima a 100°C .....	82
figura 66 Desmoldado de la muestra.....	83
figura 67 Material obtenido.....	83
figura 68 Tapa superior. ....	84
figura 69 Molde.....	85
figura 70 Gato hidráulico con manometro .....	86
figura 71 Placas con resistencia eléctrica.....	87
figura 72Contactores y controladores .....	87

## 1. INTRODUCCIÓN

Los problemas ambientales han tomado gran importancia en los últimos años debido a los daños que causa la industrialización y las nuevas tecnologías que se han empleado, las cuales afectan el medio ambiente, los seres humanos y demás seres vivos que lo habitan y a quienes les afecta la salud, debido a la falta de alimentos y agua potable, colocando en riesgo la vida. No es un problema ajeno a nuestro país donde entre los años 2005 y 2010 se han destruido cerca de 240.000 hectáreas de bosque por causa de la tala de árboles. Por lo que se han venido realizando investigaciones para la creación de nuevos productos que sean amigables con el medio ambiente a partir de los residuos agrícolas, obteniendo nuevos productos como ladrillos de construcción, bloques para mampostería liviana, tableros de partículas, entre otros.

Específicamente, para la fabricación de tableros de partículas se han estudiado residuos agrícolas como cascarilla de arroz, poli estireno expandido (icopor), botellas de polietileno, discos compactos, bolsas plásticas, guadua, bambú, cáscaras de vegetales o frutas como: coco, plátano, yuca, mazorca, piña, entre otros que permiten el desarrollo de materiales aglomerados. Cuyo proceso se hace mediante compresión de la mezcla, realizado por medio de una prensa generalmente hidráulica que aplica una presión lo suficientemente elevada para la compactación de los materiales, que en su mayoría son de pequeño tamaño (Rojas & Viejo, 2013).

Lo que permite el reciclaje de materiales utilizados en otros procesos y son puestos en un molde que se encarga de dar la forma final que tendrá el aglomerado. En la Universidad de Pamplona no se cuenta con un equipo que permita la fabricación de este tipo de materiales cuyas investigaciones han ido tomando gran fuerza en los últimos años; éste proyecto se realiza con el fin de diseñar y construir un equipo de termo conformado que facilite los ensayos y prácticas, dentro de las actividades programadas en la asignatura y semilleros de investigación de materiales de ingeniería, permitiendo realizar aglomerados de manera óptima al contar con una máquina para la fabricación de estos materiales,

a los que posteriormente se les realizará ensayos de tipo mecánico, enfocados a la investigación para ampliar el conocimiento en los materiales realizados por esta técnica de fabricación.

En este libro se da a conocer la manera como se realizó el diseño y construcción de un prototipo de termo-conformado para la fabricación de aglomerados, teniendo en cuenta el análisis a manera general se enfocó a dos factores principales: la presión y la temperatura ya que son los que influyen directamente en la fabricación de los aglomerados; En este caso particular se evaluó el buen funcionamiento de la máquina mediante la fabricación de un aglomerado con residuos agroindustrial de la palma de aceite y aglutinante biodegradable.

## 2. RESUMEN DE PROPUESTA

El diseño y construcción del compactador de aglomerado o máquina de termo-conformado, inicia por la necesidad de la Universidad de Pamplona y más aun de la facultad de ingenierías y arquitectura de realizar investigación en este tipo de materiales aglomerados, ya que en la actualidad no se cuenta con una máquina para realizar este tipo de materiales.

Este trabajo de grado tiene como objetivo el diseño y construcción de una máquina que permita la obtención de un aglomerado, aplicando conceptos de diseño mecánico mediante la realización de cálculos para obtener los parámetros iniciales de forma, rigidez y selección de materiales, que serán comprobados con ayuda de CAD y software de simulación, buscando construir una máquina eficiente sin generar elevados costos de fabricación, involucrando procesos de manufactura en el correcto montaje y puesta a punto de la máquina.

La máquina tendrá dos factores relevantes en el proceso de elaboración del aglomerado, uno es la presión aplicada por medio de una prensa hidráulica sobre un molde y el otro es la temperatura que será generada por medio de resistencias eléctricas, condiciones que se pueden variar dependiendo del tipo de aglomerado que se esté fabricando.

En la elaboración del aglomerado se usan residuos del proceso agroindustrial para la extracción de aceite de palma africana, con un aglutinante biodegradable, haciendo que el producto sea amigable con el medio ambiente en cada una de sus etapas.

### 3. DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE COMPACTADOR DE MATERIAL AGLOMERADO

#### 3.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

Actualmente a nivel mundial se ven los aglomerados como una solución al desperdicio de materia prima, ya que al agrupar esos residuos en tableros se obtiene mayor aprovechamiento de la totalidad de los materiales. El más conocido es el del MDF en el cual por medio de compactación de madera y resina aplicado una presión y temperatura se logra el aglomerado utilizado generalmente para muebles incluso en las casa prefabricadas es un material de gran uso. (Sánchez., 2005)

En Colombia la realización de tableros de materiales aglomerados se ve como una solución al déficit de vivienda para comunidades en alto riesgo, pues éstas viviendas que en un principio se vieron como refugios temporales se han ido convirtiendo en una solución al “*desarrollar viviendas livianas, modulares, transportables, ambientales y sostenibles*”. (Sánchez., 2005) Además del desarrollo de soluciones a problemas de sociedades como es el caso de del colegio público Técnico Sucre, del municipio de Colón en el Putumayo. Donde menores de 14 años, identificaron un problema ambiental que afectaba a su comunidad y lo resolvieron a través de una idea innovadora, que no sólo tiene un impacto social sino productivo y sostenible al realizar tableros aglomerados con la cascarilla del frijol que resultaba en pos cosecha y los llevó a ganar un concurso internacional. (El Espectador, 2014)

En la Universidad de Pamplona no se contaba con una máquina para realizar la compactación de aglomerados en prácticas o actividades académicas, ya sea en las asignaturas de materiales, semilleros de investigación o proyectos de postgrado. Debido a esto en varias oportunidades no se podía ampliar la

enseñanza en el campo práctico sobre estos materiales. Con el diseño y construcción del equipo de termo-conformado para aglomerados, se está creando una herramienta para continuar aumentando la calidad y la eficiencia que brindan los programas de ingeniería, logrando que los ingenieros en formación estén en la capacidad de encontrar solución de problemas prácticos con ingenio y habilidad, apoyados siempre con el equipo de profesionales del programa, y prestando servicios a toda la comunidad educativa.

### **3.2 JUSTIFICACIÓN DEL PROBLEMA**

El proyecto plasmado en este libro, se realizó por causa de la necesidad de investigación en el área de materiales de ingeniería, para las carreras ofertadas en la Universidad de Pamplona en la modalidad presencial de ingenierías y arquitectura. El programa de ingeniería mecánica, busca el desarrollo de las habilidades de los estudiantes, pero no cuenta con todos los equipos para fortalecer los estudios de investigación. Este proyecto presenta un beneficio mutuo tanto para la universidad, (amplía los servicios ofrecidos por parte del programa) como para el estudiante, ya que se realiza una contribución al dar solución a problemas institucionales aplicando los conocimientos adquiridos a lo largo del programa, en materias como diseño, mecánica de fluidos, sistemas avanzados de manufactura, materiales de ingeniería y procesos de manufactura para optar al título de ingeniero mecánico.

## **4. OBJETIVOS**

### **4.1 OBJETIVO GENERAL**

Diseñar y construir un prototipo de termo conformado para materiales aglomerados, a partir de residuos agroindustriales en los laboratorios de ingeniería mecánica de la Universidad de Pamplona. Donde los tableros al finalizar el proceso tendrán un área de 20 x 20 cm y un espesor de 1 cm.

### **4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- ✓ Diseñar el equipo a partir de las variables para fabricación de materiales aglomerados.
- ✓ Construir el prototipo de máquina para hacer aglomerados.
- ✓ Ajustar el equipo mediante la fabricación de un aglomerado.
- ✓ Realizar manual de funcionamiento de la máquina

## 5. ESTADO ACTUAL

### 5.1 RESIDUOS BIODEGRADABLES

La siembra de palma de aceite a nivel mundial está en 45.477.000 t/ha (toneladas métricas por hectárea). Como se muestra en la **tabla 1**, está siendo liderado por Indonesia, la cual produce 22.100.000 t/ha con un rendimiento de 3,95, seguido de Malasia con 16.562.000 t/ha y un rendimiento de 4,39. Colombia se encontraba de quinta en el año 2009 con una producción de 941.000 t/ha rendimiento de 3,40 siendo también el mayor productor de palma de aceite africana en América Latina. (Inverpal, 2014).

Tabla 1 principales productores de aceite a nivel mundial

Principales productores mundiales de aceite		
País	Producción (t)	Rendimiento (t/ha)/2009
Indonesia	22.100.000	3,95
Malasia	16.562.000	4,39
Otros	3.019.000	1,84
Tailandia	1.430.000	2,40
Colombia	941.000	3,40
Nigeria	930.000	2,08
<b>Ecuador</b>	<b>495.000</b>	<b>2,04</b>
<b>TOTAL</b>	<b>45.477.000</b>	

Fuente: Oil World Anual 2012

Fuente: (Inverpal, 2014)

Colombia en 2015 tiene una participación de 1,4% en la producción del volumen mundial, siendo el cuarto productor de aceite de palma. En este sector participan desde grandes empresarios hasta pequeños productores que cultivan 500.000

hectáreas, para producir más de un millón de toneladas de aceite crudo, donde contribuye en el PIB (Producto interno bruto) agropecuario con el 6% y tiene cerca de 110.000 empleados directos y una cifra similar de indirectos. Pero no todo es bueno para este sector que lleva más de 6 décadas en Colombia, pues de un tiempo para acá ha tenido que afrontar distintos problemas como la aparición de plagas causantes de la pérdida de grandes cultivos y aún con la ayuda del ICA (Instituto Colombiano Agropecuario) no se ha logrado controlar la expansión de esta plaga. Ahora bien el problema más grande que ha tenido este sector es la caída del precio del dólar. Donde el efecto directo fue la caída de sus precios ya que pasaron de US\$860 la tonelada métrica en 2014 a US\$640 en el año 2015 manteniéndose fijos sus altos costes de producción (Dinero, 2015).

El producir energía debería ser enfocado en su eficiencia, donde se hiciera más con lo producido actualmente o se supliera los gastos actuales produciendo una cantidad menor. Sin embargo no ha sido de esta forma y a medida que se incrementa la producción también lo hace el derroche de energía (ISO, 2011).

En la producción del aceite de palma africana se hace inevitable la producción de desechos ya sea parte de hojas y frutos secos. Aunque parte de esos desechos son convertidos en alimento para animales o abono de plantas, también hay casos en los que la única forma de deshacerse de ellos es quemándolos causando daños al medio ambiente. Incluso en la producción resultan residuos de ceniza de palma (Ranjbar, Mehrali, Alengaram, Metselaar, & Jumaat, Durability and Mechanical Properties of Self-compacting Concrete Incorporating Palm, 2015).

En países como Malasia e Indonesia al ser grandes productores del aceite de palma, también producen grandes cantidades de ceniza de palma de aceite POFA (Palm Oil Fuel Ash), en el año 2007 produjo cerca de 3 millones de toneladas de POFA mientras que en Tailandia se producen anualmente 100.000 Toneladas. Una cifra que es probable que vaya aumentando por el creciente en los cultivos de

palma de aceite. (Ranjbar, Mehrali, Alengaram, Metselaar, & Jumaat, Durability and Mechanical Properties of Self-compacting Concrete Incorporating Palm, 2015)

Al realizar estudios desde análisis de la micro estructura se ha buscado forma de dar uso a las grandes cantidades de POFA producidas durante la obtención del aceite de palma, para utilizar los residuos comparándolos con materiales que se utilizan en productos actualmente y que podrían ser reemplazados. Es el caso de los compuestos agregados en el cemento tipo PORTLAND, donde se hace el análisis agregando cantidades de POFA para rendir más en la producción de este tipo de cemento. Se estudió en la obtención de concretos auto-compactantes utilizados para montar placas estructurales, sin embargo al hacer el análisis de datos se pudo observar que no era más adecuada comparada con los materiales utilizados actualmente, pues aunque al principio tenían comportamientos similares en bajas temperaturas al aumentar en el caso del material con agregado de POFA en temperatura de 800°C o superiores aparecía pérdidas de propiedades mecánicas y su densidad mientras que con sus compuestos normales lograba temperatura superior (1000°C) y una estabilidad mejor del material, por esto el agregado de POFA no son aptas para este tipo de materiales pues se vuelven vulnerables al incrementar la temperatura. (Ranjbar, Mehrali, Alengaram, Metselaar, & Jumaat, Compressive strength and microstructural analysis of fly ash/palm oil fuel ash based geopolymer mortar under elevated temperatures, 2014) A pesar de que el comportamiento de la adición de POFA no fuera el más óptimo en concreto auto-compactante, al seguir realizando análisis agregando cantidades de 10, 15 y 20%, se obtuvo que al tratarse de un material de reciclaje sus características eran buenas, como componentes de un tipo de cemento no de tanta calidad como el utilizado para placas auto-compactantes pero que se podía utilizar eficientemente en aplicaciones como en el caso de concreto compactado para tareas menores cumpliendo con sus funciones en calidad, dentro de los parámetros establecidos y los resultados esperados en el comportamiento de este

tipo de material. (Ranjbar, Mehrali, Alengaram, Metselaar, & Jumaat, Durability and Mechanical Properties of Self-compacting Concrete Incorporating Palm, 2015)

Es fundamental el estudio de otros residuos obtenidos durante el procesamiento de plantas que hayan sido utilizadas para obtener otros productos como aceites, alimentos ya sea para consumo humano o animal. Puesto que en la mayoría de los casos esto causa un problema en el medio ambiente, al no encontrar soluciones prácticas se llega a desechar estos residuos, en lugares no convenientes causando enfermedades o incluso a la quema de estos residuos afectando directamente al medio ambiente (El Espectador, 2014)

Actualmente se busca la utilización del 100% de la materia utilizada de procesos agroindustriales que se enfoca en material de residuos agropecuarios, donde los materiales lignocelulosicos *“los cuales pueden provenir de fibras madereras, fibras procedentes de plantas anuales (kenaf, lino, yute), residuos agrícolas (maíz, arroz, caña) y hierbas silvestres (bambú). Por lo anterior el interés por los materiales lignocelulósicos, de origen forestal, agrícola o urbano, ha crecido de la mano con el nacimiento de diversas aplicaciones, entre las cuales se encuentra la elaboración de tableros aglomerados, pellets para combustible, bio-etanol, celulosa, entre otros”*. Los materiales mencionados anteriormente están constituidos por celulosa, lignina y hemicelulosa, los cuales, gracias a sus características como su origen renovable, beneficio que son biodegradables y múltiples posibilidades de reciclaje, son una fuente de materiales de interés industrial. La celulosa, es el componente más abundante de los materiales lignocelulósicos y su base estructural. La lignina, cumple la función de ser el elemento aglomerante de las fibras y protege contra la humedad. La hemicelulosa, es el elemento intermediario entre la celulosa y la lignina, y brinda resistencia. Además, que contienen componentes llamados extraíbles, que son compuestos orgánicos e inorgánicos de bajo peso molecular y en algunos casos contribuyen con la durabilidad de las fibras. Es gracias a la termo compresión que se elimina

una resina sintética que a pesar de que se trate de materiales bio-degradables esta causaría un daño al medio ambiente. Es el beneficio más grande que tiene los materiales mencionados anteriormente y es que su composición permite que al hacer un proceso mediante presión y cambios de temperatura sus componentes actúen tanto de resina como de fibras aglomeradas. (Herrera, rojo, Parra, & López, 2010). Incluso se emplea en la fabricación de pellets (pequeñas porciones de material aglomerado o comprimido) en forma cilíndrica como se muestra en la figura 1, el cual entra a estudiarse como material de combustión para la obtención de energía. Donde el contenido después de realizar la extracción del aceite de cáscara de almendra de palma es la encargada de retardar el efecto de la explosión de vapor siendo un material que mejora sus propiedades mecánicas, aumentando su resistencia a la explosión, mejorando tiempo que tarda en quemarse, esperando que puedan ser quemados para recuperar energía similar a la biomasa leñosa. Para que los residuos de la palma de aceite y de sus frutos ayuden a la activación de la lignina mejorando la unión de las fibras. (Lam, y otros, 2015)

Figura 1 Obtención de pellets a partir de residuos de palma de aceite



Fuente: (Lam, y otros, 2015)

## 5.2 VARIABLES DE LA FABRICACIÓN DE AGLOMARADOS

En la fabricación de este tipo de materiales una de las partes fundamentales es el colocar carga sobre ellos, es allí donde entra a jugar un papel importante la prensa que se define como una máquina-herramienta capaz de ejercer presión sobre una superficie, aprisionarla completamente e inmovilizarla para facilitar la realización, en ella, de un proceso industrial específico; estas herramientas, en general, se remonta a la aparición de la primera prensa balancín, que fue desarrollada en el año 1500, por el artista e inventor, Leonardo D'Vinci. Luego, en 1770, el inglés Joseph Bramah –basado en las teorías que Pascal enunció en su 'Tratado del equilibrio de los líquidos' realizó la primera patente prensa hidráulica. Hacia 1812 los hermanos Perier con autorización de Bramah construyeron una prensa que aplicaba 70 kilogramos de presión por centímetro cuadrado, iniciando así su evolución pasando de ser simples herramientas manuales a complejas y poderosas máquinas con diseños específicos según el uso del trabajo que se requiere, ya sea la fabricación de tableros enlistonados hasta incluso lograr curvar madera, prensar sillas con brazos, sillas, cunas para bebe, marcos y las diferentes prensas para enchapar tableros planos. Lo que hace que con el pasar de los años se hayan efectuado prensas para distintos usos ya que aunque parezcan similares vienen con propiedades características para realizar distintos trabajos (Rojas P. A., 2011). Entre los aspectos que deben evaluar están el tipo de producto o aglutinante se usará, así como el desmoldante, siendo este uno de los más importantes para lograr el acabado final que se pretende. Estos aspectos, sumados a otros como los tiempos requeridos de prensado, e incluso las condiciones atmosféricas y el componente químico en las operaciones de enchapado, determinan la clase de prensa a utilizar (Rojas P. A., 2011). A pesar de que se ha empezado a analizar componentes los componentes internos de las bombas, para entender eficiencia de las prensas hidráulicas y con esto poder aumentar la conversión de energía mecánica a hidráulica con el pasar de los años, no se ha mejorado la eficiencia en este tipo de máquinas (Zhao, y otros, 2014).

Otro de los factores que tiene influencia sobre la fabricación de los aglomerados es el calor que se suministra al sistema con el fin de incrementar la temperatura, es ahí donde uno de los más utilizados es la resistencia eléctrica, que funciona debido al llamado efecto joule en el cual el material del cual está hecha se opone al paso de la corriente convirtiendo la energía eléctrica en energía calórica (Rueda & Caro, 2008). Actualmente cuando no se cuenta con una máquina específica para la fabricación de materiales aglomerados se realiza la fabricación con la materia prima que en el caso particular de una investigación realizada en la UIS (Universidad Industrial de Santander) es residuo de yuca mezclada con colbon MH- 339 por medio de prensado y transfiriendo calor, se han realizado estos materiales con prensas donde se llega presiones de  $10\text{Kg/cm}^2$  durante periodos de 5 minutos para posteriormente llevar a una estufa, que finalmente agrega calor hasta llegar a una temperatura de  $60^\circ$  y se deja durante 24 horas con el fin de eliminar humedad (Rojas & Viejo, 2013).

## 6. METODOLOGÍA PROPUESTA

En este proyecto de diseño y construcción de la máquina de moldeo por compresión de materiales aglomerados, se estipularán pasos necesarios que faciliten cumplir cada uno de los objetivos específicos y por ende el cumplimiento del objetivo general. Estos pasos se muestran en la figura 2.

Figura 2 metodología propuesta



Fuente: Autor del proyecto

Búsqueda de antecedentes:

La búsqueda de documentación se realizará en áreas relacionadas con materiales aglomerados de residuos agroindustriales, que permitan obtener información más relevante y las variables del proceso. Para la fabricación de materiales aglomerados, luego de la revisión bibliográfica de las máquinas utilizadas se determinan las condiciones de diseño para la presión y temperatura.

De manera que se fabrica el material de manera óptima conociendo las variables a tener en cuenta.

Diseño y construcción:

Teniendo en cuenta la búsqueda de antecedentes, se realiza el análisis de la estructura del equipo que soportará la carga de presión aplicada al material aglomerado (material y geometría), haciendo un estudio de la distribución de elementos que aportarán el incremento de la temperatura en la fabricación del material. Se realizan cálculos de manera manual y se validan por medio de software de simulación, para llegar de manera rápida y confiable a los resultados esperados. El análisis mediante elementos finitos facilita la aproximación al comportamiento real de la estructura con la aplicación de cargas, material y cambios de temperatura.

Después de tener cálculos validados, se realiza la compra de materiales como lo son: perfiles para la estructura que soporten la carga de trabajo, dispositivo hidráulico con su respectivo indicador de presión con límite de 30 toneladas, resistencias eléctricas que transmitirán calor al molde del aglomerado con su respectivo controlador de temperatura. Mediante diversos procesos de manufactura como: maquinado, soldado, taladrado, pulido y pintura, se realizará el montaje de la estructura metálica, el molde, la tapa del molde y los respectivos dispositivos que le aplicarán la fuerza y calor necesario para en la fabricación del material aglomerado.

Puesta a punto de la máquina:

Realizado el montaje de todos los elementos que componen la máquina se harán pruebas con las variables conocidas, para verificar el correcto funcionamiento de la máquina en la aplicación de presión y temperatura utilizada para la fabricación de un aglomerado.

Redacción de manual:

Se elabora una lista de instrucciones de operación, fáciles de entender, las cuales describirán los pasos para utilizar los elementos que componen la máquina, logrando con esto que las personas que requieran fabricar un aglomerado, puedan hacer uso adecuado del equipo y lograr un producto óptimo.

Fabricación de aglomerado:

Se efectúa el moldeado del aglomerado a base de residuos de palma de aceite africano, en el cual se estipulará la temperatura y presión para la correcta fabricación de probetas con dicho material dejando todo esto documentado y anexándolo al manual de funcionamiento de la máquina.

**Solución de imprevistos:**

Tiempo implementado en dar solución a problemas que se presenten en cualquiera de las etapas del proceso.

Tabla 2Cronograma de actividades

ACTIVIDAD	Semanas															
	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13	14	15	16
1	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■	■
2		■	■	■	■											
3						■	■	■	■	■						
4										■	■					
5											■	■	■	■		
6														■	■	■

## 7. RECURSOS

### 7.1 RECURSOS HUMANOS

Como personal se tiene al director del trabajo de grado ingeniero William Javier Mora Espinoza y al estudiante Brayan Yessid Conde Pabón.

### 7.2 RECURSOS FINANCIEROS

Para la fabricación del prototipo de termo-conformado, se realizó un balance de costos de la máquina que se puede apreciar en la tabla 3.

Tabla 3 Costo de recursos

DESCRIPCION	COSTOS
Salario del director	\$ 850.000
Salario del estudiante	\$ 1'400.000
Transporte	\$ 100.000
Bibliografía e internet	\$ 150.000
Papelería e impresión	\$ 100.000
Materiales e Insumos	\$ 900.000
SUBTOTAL	\$ 3'500.000
Imprevistos	\$ 350.000
TOTAL	\$ 3'850.000

Este proyecto tiene un valor de **\$ 3.850.000** el cual es calculado para la ciudad de Pamplona donde se realizará el proyecto y tendrá una duración de 16 semanas.

## 8. RESULTADOS/PRODUCTOS ESPERADOS

- ✓ Construcción de máquina moldeadora de material aglomerado de residuos agroindustriales mediante ajuste de presión y temperatura
- ✓ Calibración y puesta a punto del equipo moldeador.
- ✓ Manual para correcto funcionamiento de moldeadora de residuos agroindustriales, con descripción de manera correcta de usar el equipo para obtener material aglomerado en el laboratorio

- ✓ Fabricación de material aglomerado a base de residuos agroindustriales de palma de aceite africana.

## **9. METODOLOGIA EXPERIMENTAL: DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DEL EQUIPO DE TERMO-CONFORMADO.**

### **9.1 ANÁLISIS DE LAS VARIABLES A TENER EN CUENTA PARA LA FABRICACIÓN DE LOS MATERIALES AGLOMERADOS (OBJETIVO1).**

Para la fabricación de materiales aglomerados hay dos factores de vital importancia en su correcta obtención los cuales son: la presión que es definida para los fluidos como el esfuerzo normal que actúa sobre un área, donde la fuerza viene dada en unidades dependiendo del sistema en que se esté trabajando, como lo es en el caso del sistema internacional donde las unidades están dadas en newtons (N) mientras que en el sistema inglés vienen dadas como libras fuerza (Lb) (Cengel & Cimbala, 2006). Las unidades de área se toman en metros cuadrados  $m^2$  con sus múltiplos o submúltiplos y pies o pulgadas cuadradas  $ft^2$  o  $in^2$ .

Para los aglomerados la presión se aplicará con ayuda de una máquina, definidas como “estructuras diseñados para transmitir o modificar fuerzas y siempre contienen partes móviles” (Beer, Jhonston, Mazrek, & Eisenberg, 2010), estas permiten transmitir fuerza sobre el aglomerado dentro del área delimitada por un molde, entre largo y ancho de la muestra, mientras la tercera dimensión o alto, es la que se variará mediante la aplicación de la fuerza. El proceso de fabricación del aglomerado inicia con un espesor en el cual el material está dispuesto sobre el molde en forma aleatoria y sin carga, al terminar el proceso de aglomeración su espesor será de menor tamaño por causa de la fuerza que se aplica sobre él, obligando las partículas a entrelazarse, obteniendo un tablero rígido.

Otra variable a tener en cuenta es la adición de calor en el molde con el objetivo de elevar la temperatura dentro de este y ayudar a eliminar humedad del material logrando que se unan las fibras con el aglutinante de manera óptima, sacando

mejor provecho de las propiedades mecánicas aportada por los elementos que conformará el material aglomerado (Rojas & Viejo, 2013). Los problemas presentados en la transferencia de calor se pueden clasificar en dos tipos: de capacidad nominal, la cual determina la razón de la transferencia de calor para un sistema existente a una diferencia específica de temperatura, y la otra clasificación es de dimensionamiento con la determinación del tamaño de un sistema con el fin de transferir calor a una razón determinada para una diferencia específica de temperatura; la transferencia se da dependiendo del medio donde se encuentre el sistema si es entre dos sólidos será por conducción; si es por medio de un fluido se dará por convección y si no hay un medio o por lo general desde que el cuerpo tenga temperatura mayor a 0°K (grados Kelvin) la transferencia de calor es por radiación. (Cengel Y. A., 2007). La mayor pérdida de calor se puede presentar por convección y la eficiencia del molde depende del material que permita una conducción eficiente de calor desde la resistencia eléctrica que funciona debido al llamado efecto joule, en el cual el material del cual está hecha se opone al paso de la corriente convirtiendo la energía eléctrica en energía calórica (Rueda & Caro, 2008).

En estudios realizados para la fabricación de aglomerados basados en residuos agroindustriales con raquis, que se enfocaban hacia el cambio en propiedades mecánicas por causa de contenido de humedad en la materia prima. Se obtuvieron parámetros de funcionamiento para la máquina, donde se han analizado factores como lo son la presión, temperatura y tiempo de fabricación. En las investigaciones encontradas se realizan en moldes de dimensiones de 121mm x129mm x 15mm. Haciendo los materiales aglomerados con distintas presiones cuyos valores fueron de 14 MPa (Mega pascales) y 21 Mpa debido a que si se supone presiones más elevadas el tablero se deforma por causa de la lignina, que es el tercer componente fundamental de la madera, las plantas que contienen gran cantidad de lignina se denominan leñosas, por lo cual este componente representa entre el 15 y el 35% del peso de la madera, provocando que al someterse a

presiones elevadas la lignina fluya hacia el centro de los tableros volviéndose concentrador de esfuerzos, llegando incluso a partir los tableros en dos partes. Por otra parte la temperatura oscila entre los 160°C y los 200°C teniendo en cuenta que dependiendo de la temperatura también variará el tiempo durante el cual se suministra calor, con el objetivo de tener un proceso de fabricación óptimo. El tiempo cambia dependiendo del porcentaje de humedad de la materia prima, ya que en las pruebas realizadas se toma como límite los 7 minutos para el suministro de calor. Donde un ejemplo es a una humedad de 10% el módulo de ruptura alcanzado fue mayor que el alcanzado con un tiempo de fabricación de 3 y 5 minutos, mientras que si se realiza con un porcentaje de humedad del 25%, las mejores condiciones del módulo de ruptura se encuentran a los 5 minutos (Almeida, 2012). En el ejemplo anterior se encuentran condiciones extremas para la fabricación de aglomerados, ya que en otros materiales como los hechos a partir de la cáscara de plátano en lo cual las condiciones de fabricación son similares en cuanto al tiempo de suministro de calor y temperatura mientras que en cuanto a la presión ya es menor al ser comparada con la que se utiliza en los tableros de raquis pues en la cáscara del plátano el proceso de termo compresión se realiza con presión de 4.1 Mpa y la temperatura de 200°C por cerca de 7 minutos (Álvarez, Capanema, Rojas, & Gañán, Desarrollo de tableros aglomerados auto-enlazados a partir de fibra de la vena central de la hoja de plátano, 2009). Por lo anterior se puede afirmar que las condiciones para funcionamiento de la máquina se tomarán de investigaciones realizadas con anterioridad en cuanto a raquis y serán evaluadas en capítulos posteriores de este libro.

## **9.2 DISEÑO Y CÁLCULOS DEL PROTOTIPO.**

En la fabricación de materiales aglomerados se tendrá en cuenta dispositivos encargados de aplicar fuerza y adicionar calor en el molde. Para ejercer fuerza sobre el molde se cuenta con distintas opciones, que van tanto de la parte mecánica, que es aprovechar elementos con características sólidas que permiten transmitir y modificar fuerzas (Beer, Jhonston, Mazrek, & Eisenberg, 2010) y por

medio de fluidos, como su nombre lo indica consiste en contener y aprovechar las características de fluidos tanto en estado líquido como en estado gaseoso (Cengel & Cimbala, 2006).

Para el caso de suministrar la fuerza al molde por medio de un montaje mecánico, se puede realizar por medio de elevadores de carga los cuales funcionan basándose en tornillos de potencia, que son dispositivos utilizados en maquinaria para cambiar el movimiento angular a movimiento lineal. Entre sus aplicaciones son incluidas tornillos de tornos y los tornillos para prensas de banco, prensas de sujeción, gatos mecánicos de tornillo que se muestra en la **figura 3**, ya que gracias a su tipo de rosca permiten exactitud al no permitir su desplazamiento a menos que se realice aplicando el movimiento angular mencionado anteriormente (Budynas & Nisbet, 2008).

**Figura 3** Gato mecánico de tornillo



Fuente: Manual de Haul Master

La rosca de potencia también, se puede observar en los gatos mecánicos de escalera mostrada en la **figura 4**. Si hay necesidad de transmitir grandes fuerzas en espacios reducidos se debe aprovechar las características de los fluidos, hay dispositivos como los cilindros hidráulicos los cuales no son más que cilindros huecos, que pueden contener fluidos tanto en estado líquido como gaseoso y cuentan con una bomba que es un dispositivo encargado de elevar la presión. En

la lista de estos dispositivos, el más utilizado es el gato hidráulico tipo botella que se muestra en la **figura 5**.

**figura 4**Gato mecánico de escalera



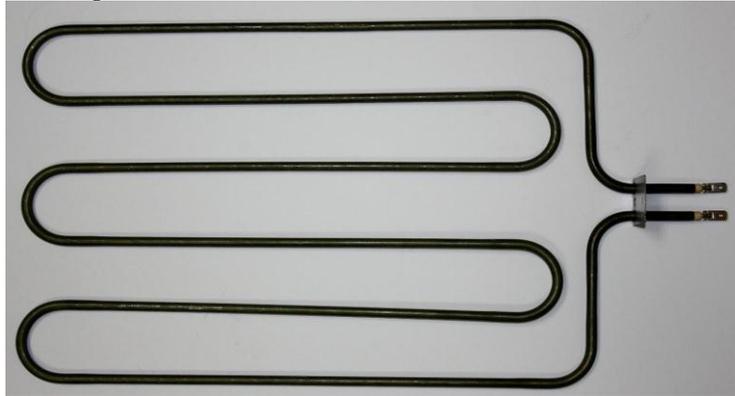
**figura 5** gato hidráulico tipo botella.



Fuente: Autor del proyecto

Un factor que tiene influencia en la elaboración, es la temperatura a la cual se fabricará el material aglomerado, siendo en este caso por medio de transferencia de calor hasta el molde en el que se encuentra el material. Una forma de transmitir energía es por medio de calor, ya sea por medio de extracción de energía de los combustibles derivados del petróleo, como lo son el gasóleo, que requiere un almacenamiento cerca del lugar donde será utilizado y el gas natural que no requiere ser almacenado sino que su suministro llega de manera directa por medio de tubería, teniendo como desventaja que el primero es muy contaminante y el segundo requiere estar cerca de un suministro. Otra alternativa es por medio de resistencias eléctricas **figura 6** las cuales llegan a temperaturas elevadas, aunque se incrementan costos en el consumo de energía eléctrica, que son relativamente bajos al compararlos con otros dispositivos utilizados para elevar la temperatura de grandes espacios.

**Figura 6 Resistencia eléctrica generadora de calor**



Fuente: Manual Mainre SL

La distribución de la carga alrededor del molde debe ser soportada por una estructura sobre la cual estará montado todo el sistema, para lo cual se debe seleccionar la forma, dimensiones, material y el proceso de manufactura adecuado, llevando a la correcta operación de todo el equipo y la obtención de un aglomerado de condiciones idóneas. El gato hidráulico ejercerá la fuerza sobre el aglomerado y estará montado sobre una estructura metálica, con una sola fuerza en dirección conocida la cual hará una reacción en cada apoyo y elemento de la estructura someténdola a diversos esfuerzos que influirán en el diseño. (Beer, Jhonston, Mazrek, & Eisenberg, 2010) Dando a conocer partes fundamentales como lo son la geometría de los elementos, tipo de material del cual está fabricado y procesos de manufactura convencionales para realizar las uniones de dicha estructura (Beer, Johnston, Wolf, & Mazureck, 2006) y tomando en cuenta que debe haber transferencia de calor desde las resistencias eléctricas hacia el interior del molde que es donde se encuentra el aglomerado, al cual se le va a elevar la temperatura (Cengel Y. A., 2007).

Para la construcción de la máquina de termo conformado la fuerza se aplicara por medio de una prensa con sistema hidráulico (gato tipo botella) (Rivola, Rojo, Merino, & Arena, 2006).

### **9.3 TABLEROS DE AGLOMERADOS.**

Los tableros aglomerados son materiales compuestos elaborados a partir de madera o algún otro tipo de fibras y adhesivos sintéticos, cuyas características pueden ser manipuladas según las necesidades (Álvarez, Capanema, Rojas, & Gañán, 2009). Aunque no solo se hace por medio de adhesivos sintéticos si no que en algunos casos se busca también que en la termo compresión las fibras se unan por medio de sus propiedades haciéndolas auto adhesivas (Herrera, Rojo, Parra, & López, 2011). Además, que se realizan estudios en relación de las variables de fabricación como lo son: temperatura, presión, tiempo de prensado, espesor, tamaño de partícula y porcentaje de humedad en relación a las propiedades mecánicas. Siendo esta parte importante en la construcción de la máquina, donde los materiales aglomerados obtenidos serán para posteriores investigaciones, por tanto se debe conocer adecuadamente los factores de la fabricación como la presión y temperatura, por lo cual la máquina debe también contar con dispositivos que permitan conocer los valores de la fuerza y temperaturas aplicadas (Herrera, Rojo, Parra, & López, 2011). En caso de las resistencias eléctricas, se conectan a un controlador, el cual después de realizar el análisis de la transferencia de calor, se conocerá la potencia que debe entregar la resistencia, con el fin de garantizar que la temperatura dentro del molde sea la que se requiere en la fabricación del aglomerado. Para conocer la fuerza aplicada por el gato hidráulico, hay distintas formas como lo son básculas mecánicas, electrónicas (por medio de celdas de carga), manómetros que se enfoca hacia el fluido dentro del gato etc...

Realizado el análisis de los parámetros como lo son dimensiones y material los elementos que componen el prototipo de máquina para termo conformado para materiales aglomerados, en esta parte del libro se presenta el diseño de dichos elementos. Para esto se aplicará conocimientos adquiridos durante los semestres de estudio con el objetivo de que cada parte que tendrá influencia en la máquina, tenga el fundamento teórico del porqué se seleccionó de esta forma, teniendo en cuenta diversas propuestas para dar solución a los problemas o requerimientos

que tenga la fabricación de aglomerado. Pasando por el estudio de la estructura, sus respectivos elementos, sus uniones, los apoyos de la máquina ya sea mecánica o hidráulica y las resistencias que agregarán calor sobre el molde del aglomerado con sus respectivos sensores e indicadores de las magnitudes.

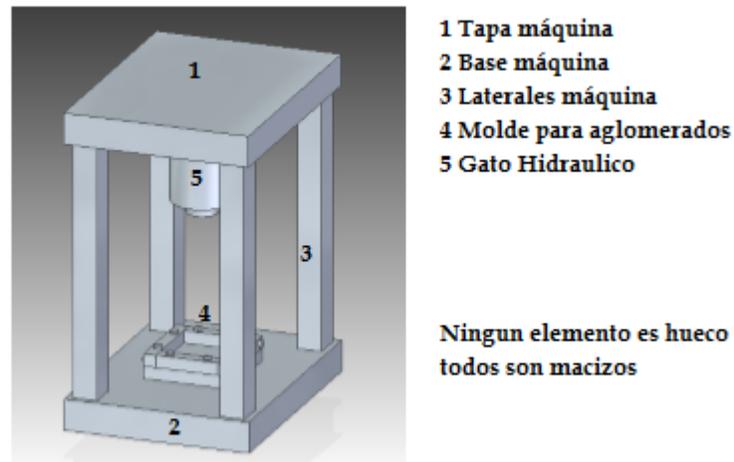
#### **9.4 DISEÑO DE LA ESTRUCTURA:**

En las condiciones iniciales del problema tenemos la estructura, que estará en tres dimensiones para evaluar los fenómenos con mayor exactitud. Recordando que una estructura es un conjunto de elementos resistentes, capaz de mantener sus formas y cualidades a lo largo del tiempo, bajo la acción de las cargas y agentes exteriores a que ha de estar sometido. Enfocando lo anterior al punto de vista físico e ingenieril al ser analizadas desde las fuerzas externas aplicadas sobre una estructura entra a jugar un papel importante la tercera ley de Newton que dice: toda acción causa una reacción, logrando con esto que aunque la estructura como tal no tenga movimiento si tenga unas reacciones entre los elementos que la componen. Las estructuras están catalogadas en tres clases fundamentales las cuales son: Armaduras (que se componen de diversos elementos, que a su vez están restringidos con lo cual no se permite el movimiento estos al estar conectados por medio de nodos que son el nombre que recibe el punto donde se interconectan), armazones (Cuentan con las mismas restricciones que la armadura, su diferencia está en que estos cuentan con por lo menos un elemento que está sometido a diversas fuerzas) y las máquinas (que están diseñadas para transmitir o modificar fuerzas, por lo cual cuenta con elementos móviles) (Beer, Johnston, Mazrek, & Eisenberg, 2010).

Para el diseño de la máquina partimos de los parámetros como dimensiones y material, donde se hace una idea inicial de la estructura, buscando una simetría entre los elementos, con el fin de que todos soporten fuerzas similares y con esto reducir la cantidad de ecuaciones que serán objeto de estudio, como se muestra en la **figura 7** que fue realizadas con ayuda del software SOLID EDGE ST-6. En la que se puede observar un molde en la parte inferior de la mesa de trabajo y en la parte superior un boceto de gato hidráulico, que es la parte de la máquina encargada de agregar fuerza sobre el molde, el modelo está basado en prensas hidráulicas. Logrando aplicar presiones mayores que sus antecesoras las prensas mecánicas, que logran incrementar fuerzas pero no de manera tan fácil como las hidráulicas, debido a que requieren mayor cantidad de elementos y se ven limitadas por el espacio de trabajo. Además de que en la industria de los aglomerados los sistemas hidráulicos son quienes tienen mayor acogida (Rojas P. A., 2011). Haciendo que el modelo para el equipo de termo conformado tenga geometría similar a las prensas hidráulicas, pero enfocada a hacer placas de

residuos agroindustriales de palma africana, para una posterior investigación de sus propiedades mecánicas.

figura 7 Modelo inicial del prototipo de máquina



Fuente: Autor del proyecto

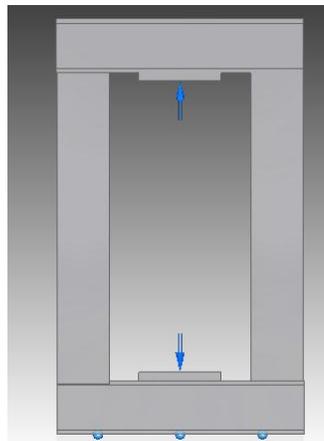
Para realizar el estudio de la totalidad de la estructura, se enfoca en que los elementos no sean macizos como los mostrados en la **figura 7** por causa de los costos que estos puedan generar, ya que la economía proyectada del producto se relaciona con los competidores, costo de mano de obra y la tecnología que se pueda llegar a utilizar y la obsolescencia técnica. Hay necesidad de comparar las ideas de diseño y encontrar la mejor solución enfocándose en las ventajas y desventajas asociadas con cada una de las partes que tendrán relación con la totalidad de la máquina (Garcia, 1984). A continuación se mostrará los pasos que se tomaron para llegar a la construcción de la máquina, por lo cual se realizó un boceto para iniciar cálculos que permitan garantizar el correcto funcionamiento de la totalidad de la máquina:

#### 9.4.1 Diseño de los elementos que componen la máquina:

En la **figura 8, 9 y 10** se muestra el cambio tanto de la placa inferior y superior mostradas en la **figura 7**, por elementos que a diferencia de dichas placas ya no

tendrán solo esfuerzo normal, sino que tendrán elementos sometidos a flexión y se muestra el boceto del que parte la idea de la estructura de la máquina con el fin de realizar cálculos de dichos elementos y las flechas azules indican el lugar donde serán aplicadas las cargas dentro de la estructura.

figura 8 Vista frontal de la estructura



Fuente: Autor del proyecto.

figura 9 Vista isométrica de la estructura

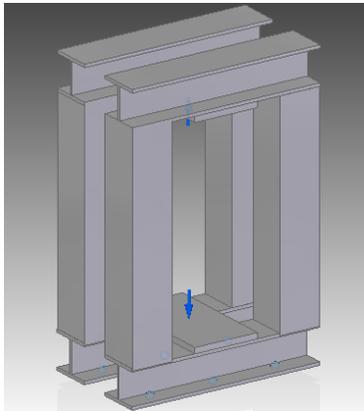
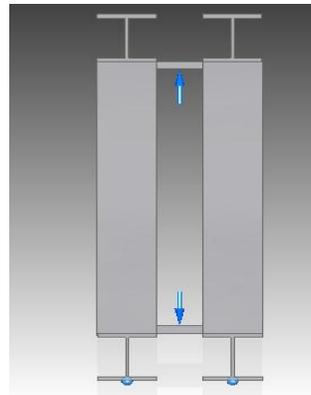


figura 10 Vista lateral de la estructura



Autor del proyecto

En la figura mostradas anteriormente (**8, 9 y 10**) se puede observar que en los elementos tanto inferiores como superiores con geometría en I o también

conocidos como perfiles en doble T, esto debido a que son elementos que por su composición geométrica y momento de inercia brindan rigidez a la máquina al tener ventaja de soportar el esfuerzo que como se mencionó anteriormente no solo es normal perpendicular al área transversal, estando también presente el esfuerzo a flexión, que como su nombre lo menciona va relacionado con el momento flector que se genera por causa de la carga aplicada sobre el elemento en forma de I. En cuanto a los laterales son elementos que son sometidos a cargas de tensión donde solo se analizará la carga normal ejercida sobre estos elementos que en cuanto a su geometría se eligieron los tubos cuadrados huecos y sus cálculos se mostrará a continuación: (Beer, Johnston, Wolf, & Mazureck, 2006).

Como se mencionó en el inicio del libro la idea de la máquina es que a tope se puedan aplicar 30 toneladas sobre el molde que contiene el aglomerado aunque en la mayoría de los casos estos se fabrican en presiones causadas por fuerzas menores a las 30 toneladas (Álvarez, Capanema, Rojas, & Gañán, Desarrollo de tableros aglomerados auto-enlazados a partir de fibra de la vena central de la hoja de plátano, 2009). Por lo cual los elementos serán diseñados asumiendo el tope de 30 toneladas, para garantizar el correcto funcionamiento en fuerzas menores con su respectivo factor de seguridad, que se selecciona dependiendo de la incertidumbre que se pueda tener en cuanto a material, procesos de fabricación, de manufactura, etc... por lo cual se parte de la carga aplicada de 30 toneladas que es unidad de masa por lo cual basado en la segunda ley de Newton que relaciona la fuerza como la multiplicación de la masa por la aceleración donde la aceleración toma el mismo valor de la gravedad que es de  $9.81 \frac{m}{s^2}$  quedando la fuerza aplicada por las 30 toneladas como (Beer, Johnston, Mazrek, & Eisenberg, 2010):

Al pasar las toneladas a kilogramos se obtiene que:  $30 \text{ Ton} = 30.000 \text{ Kg}$

$$F = m * a \text{ (Ecuación 1)}$$

Al reemplazar la aceleración por gravedad en ecuación 1 se obtiene que:

$$F = m * g$$

Obteniendo la fuerza al reemplazar los datos de masa y gravedad  $F = 30.000 \text{ Kg} * 9.81 \frac{m}{s^2}$

$$\text{Quedando } F = 294.300 \frac{\text{Kg*m}}{s^2}$$

Recordando que en el sistema internacional  $1 \text{ N} = 1 \frac{\text{Kg*m}}{s^2}$  por lo que finalmente queda:

$$F = 294.300N$$

Siendo está la fuerza aplicada sobre la totalidad de la estructura.

Recordando que en un principio el requisito propuesto para el diseño, fue que tanto el elemento que suministran la carga (gato hidráulico) como el que la recibe que es el molde de aglomerados estarán centrados con el objetivo de que los elementos que componen la estructura tengan reacciones similares, es por esta razón que para el caso de los perfiles en I que son dos para la parte superior y dos para la parte inferior como se observó en la **figura 10**, provocara que los elementos ubicados en la parte superior soporten la carga aplicada por el gato que es de 294.300 newton, mientras los elementos de la parte inferior soportaran la carga ocasionada como reacción de la fuerza aplicada en la parte superior, es decir una carga similar de 294.300 newton. Se ocasionara entonces que los dos perfiles en I, soporten una fuerza igual a la mitad de la carga total aplicada por lo cual obtenemos que:

$$\text{Fuerza de perfil I} = F_{total}/2 \text{ (Ecuación 2)}$$

Dónde: Fuerza de perfil I es la fuerza que debe soportar cada perfil en I.

$F_{total}$  es la fuerza de 294.300 newton aplicada a la estructura.

Al reemplazar en la ecuación dos se obtiene que:

$$\text{Fuerza de perfil I} = (294.300N)/2$$

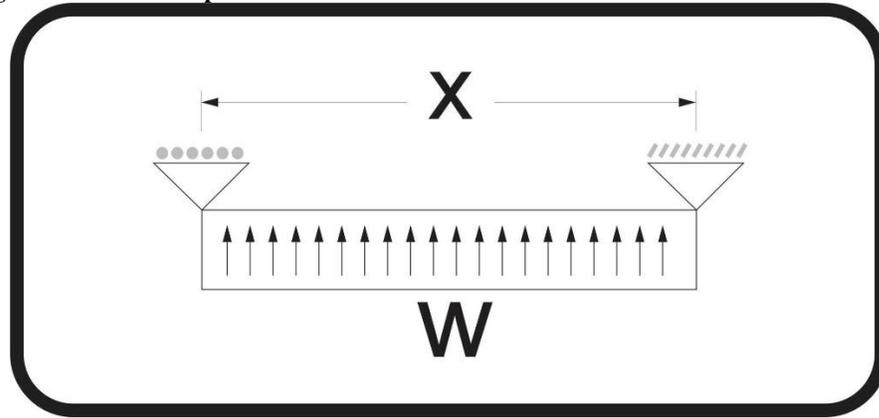
Obteniendo que la fuerza aplicada sobre cada perfil será de:

$$\text{Fuerza de perfil I} = 147.150N$$

El objetivo de la máquina es poder realizar tablas de material aglomerado, cuyas dimensiones al final del proceso sean de 20cm de alto X 20cm de largo, pero pensando que en el futuro se requiera crear los tableros aglomerados de mayores dimensiones a las que se presentaran en este trabajo, se diseñara la mesa de trabajo con medidas de 35cm X 35cm, para apoyar base del molde y base para tapa del molde. Permitiendo con esto el ampliar las dimensiones para futuros moldes. Con lo mencionado anteriormente se puede entender que la carga se entregara a los perfiles no como una carga puntual, haciendo que por medio de la placa de 35cm X 35cm sea transmitida a los perfiles como una carga distribuida a lo largo de la longitud de dichos perfiles, entonces la carga distribuida w sea igual

fuerza sobre el perfil I sobre una longitud como se muestra en la **figura 11** quedando finalmente:

figura 11 carga distribuida sobre perfiles en I



Fuente: autor del proyecto

La magnitud del valor  $W$ , que es la carga distribuida observada en la **figura 11** se muestra en la ecuación 3.

$$w = \text{Fuerza de perfil I} / \text{longitud de viga} \text{ (Ecuación 3)}$$

Al reemplazar los valores se obtiene que:

$$w = \frac{147150N}{0,35m}$$

Quedando la carga distribuida como:

$$w = 420.428,6 \text{ N/m}$$

Cabe resaltar que en el análisis inicial se realizara asumiendo parte apoyo fijo y apoyo con patín con el objetivo de simplificar ecuaciones y tener idea inicial de los fenómenos que ocurren en los perfiles que componen la estructura.

Calculando las reacciones en cada uno de los apoyos laterales que se encargan de dar la altura a la mesa de trabajo y al estar separados a la misma distancia del punto de aplicación de la fuerza soportaran cargas similares, por lo cual los elementos laterales se repartirán la carga aplicada por el gato, que es igual a 294.300 N, dividida en 4 que son los elementos laterales quedando:

$$\text{Fuerza elementos laterales} = F_{\text{total}}/4 \text{ (Ecuación 4)}$$

Al reemplazar en la ecuación cuatro se obtiene que:

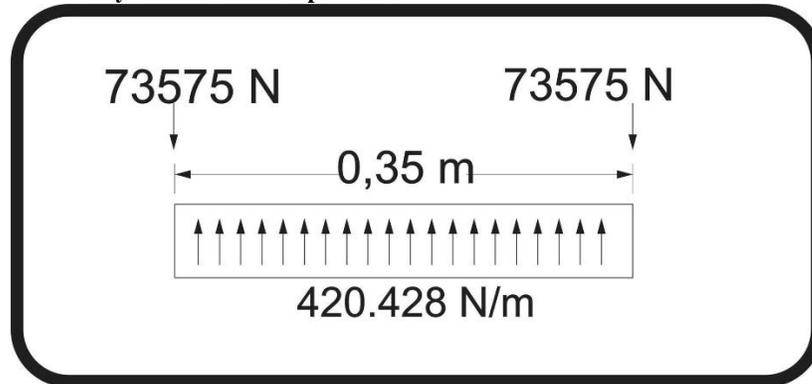
$$\text{Fuerza de perfil I} = 294.300\text{N}/4$$

Obteniendo que la fuerza aplicada sobre cada perfil será de:

$$\text{Fuerza de cada elemento lateral} = 73.575\text{N}$$

Quedando el diagrama de carga y reacciones sobre el perfil en I como:

figura 12 Carga distribuida y reacciones sobre perfiles en I



Fuente: Autor del proyecto

Recordando que para obtener los diagramas de cortante y momentos flectores se realiza por medio de la magnitud resultante de la carga que es igual al área bajo la curva de carga y la línea de acción de la resultante en el caso mostrado en la **figura 12** es similar calcular el área de un rectángulo cuya base es de 0,35 y su altura es 73.575.

$$\text{Arectangulo} = b * h \text{ (Ecuación 5)}$$

Al reemplazar los datos en la ecuación 5

$$\text{Arectangulo} = 0,35 * 73.575$$

$$\text{Arectangulo} = 147.149,8$$

Realizando operaciones se obtiene que dentro del esquema de la **figura 12**

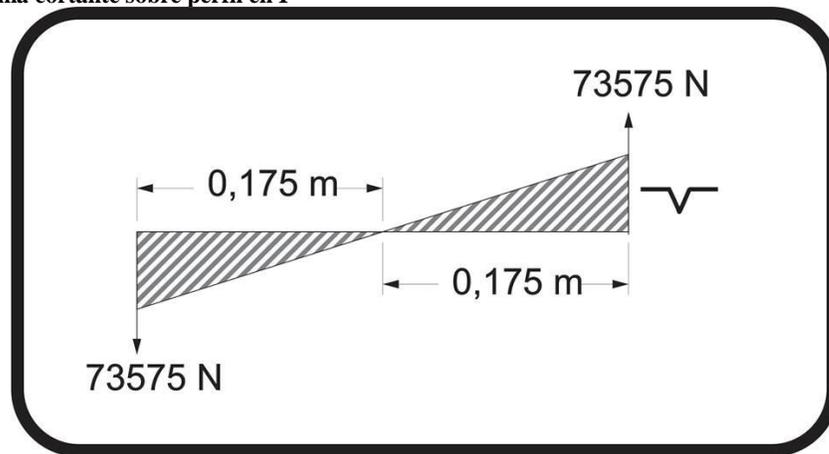
$$\sum Fy = 0 \text{ (Ecuación 6)}$$

$$\sum Fy = -\text{Reacción 1} + \text{Arectangulo} - \text{Reacción 2} = 0$$

$$\text{Dónde: Reacción 1} = \text{Reacción 2} = 73.575$$

Mostrando en la **Figura 13** el diagrama de cortante causado por las cargas sobre el perfil.

figura 13 diagrama cortante sobre perfil en I



Fuente: autor del proyecto

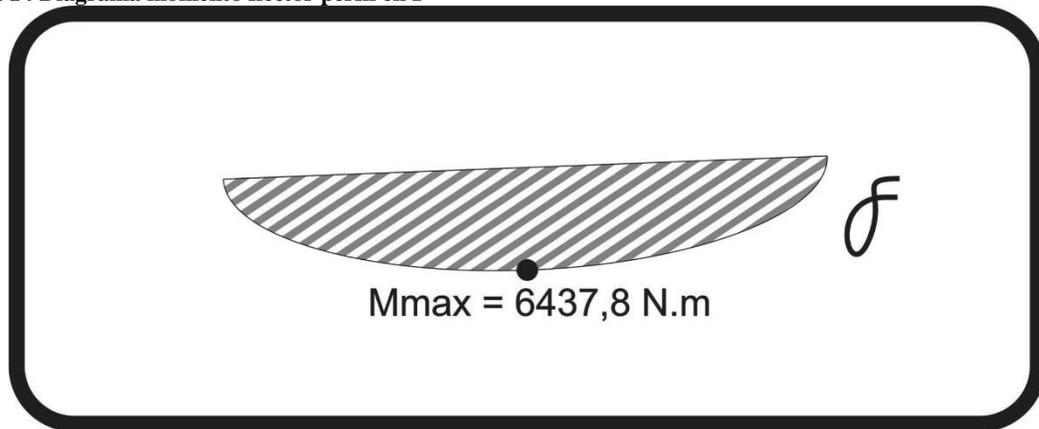
De igual forma se calcula el área bajo la curva de la **figura13** las cuales son triángulos base por la altura, dividido en dos al tratarse de la mitad de un rectángulo. Con esto se consigue el esquema de flector al saber los puntos donde interseca y saber que será basado en una ecuación de segundo grado se entiende que debe dar una curva en la cual se conocerá el punto máximo que es en el que se interseca la línea central del eje como se muestra en la **figura14**.

$$A_{\text{triangulo}} = \frac{b \cdot h}{2} \text{ (Ecuación 6)}$$

Reemplazando datos de figura 13 se obtiene que:  $A_{\text{triangulo}} = \frac{0,175 \cdot 73.575}{2}$

Quedando finalmente:  $A_{\text{triangulo}} = 6.437,9 \text{ N} \cdot \text{m}$

figura 14 Diagrama momento flector perfil en I



Fuente: Autor del proyecto

Al concluir el análisis de las cargas sobre el perfil en I, cabe recordar que estos perfiles estarán sometidos a esfuerzo de flexión, por lo cual el análisis se enfocara en este tipo de esfuerzo causado por dos momentos que actúan en el mismo plano longitudinal. Se dice que estos elementos están sujetos a flexión pura para el caso de los perfiles en I. En la mecánica de materiales dicho esfuerzo se define matemáticamente como la relación entre distintos factores como lo son el momento flector, el segundo momento de área también conocido como momento de inercia geométrico, y la distancia hasta el eje central el cual está sometido a tensión en uno de sus lados y a compresión en el lado opuesto (Beer, Johnston, Wolf, & Mazureck, 2006). Con lo mencionado anteriormente se muestra la ecuación 7 que define el concepto de esfuerzo a flexión pura con cada una de sus variables.

$$Esf_{flex} = \frac{M_{flector}}{W_x} \text{ (Ecuación 7)}$$

Dónde:  $M_{flector}$  se halla a partir de la figura 13 o de la solución de la ecuación 6 y  $W_x$  es dependiente del momento de inercia y la distancia de un extremo hacia el punto central de la geometría por lo que queda dividida en 2 la altura total del perfil definiendo  $W_x$  como:

$$W_x = \frac{I_x}{h/2} \text{ (Ecuación 8)}$$

En las ecuaciones 7 y 8 hay variables cuyos datos que se tienen con ayuda de tablas pre establecidas en las cuales se conocen datos como las dimensiones comerciales de los elementos. Por esta razón se buscó en la tabla mostrada en la

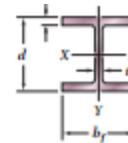
**figura15**, que permite identificar valores de perfiles W que es la referencia de los perfiles I. Se buscar referencia de un perfil que cuente con una base de 10 cm y una altura de 10 cm.

Para completar datos faltantes se tomará como guía la **figura 16**, que con ayuda de la tabla de la **figura 15**, se conocerán las dimensiones y los datos, para dar solución a la ecuación 8 y con esto se determinará el esfuerzo de flexión en la ecuación 7 sobre el perfil en I.

figura 15 Tabla perfiles en I

**Apéndice C. Propiedades de perfiles laminados de acero**  
(Unidades SI)  
Continuación de la página 751

**Perfiles W**  
(Perfiles de aleta ancha)

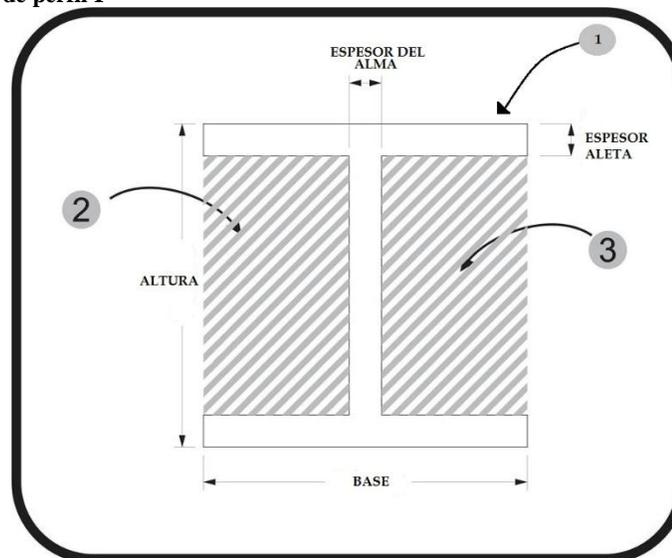


Designación†	Área A, mm <sup>2</sup>	Altura d, mm	Aleta		Espesor del alma t <sub>w</sub> , mm	Eje X-X			Eje Y-Y		
			Ancho b <sub>f</sub> , mm	Espesor t <sub>f</sub> , mm		I <sub>x</sub> 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup>	S <sub>x</sub> 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>	r <sub>x</sub> mm	I <sub>y</sub> 10 <sup>4</sup> mm <sup>4</sup>	S <sub>y</sub> 10 <sup>3</sup> mm <sup>3</sup>	r <sub>y</sub> mm
W310 × 143	18 200	323	309	22.9	14.0	348	2 150	138	113	731	78.8
	107 13 600	311	306	17.0	10.9	248	1 590	135	81.2	531	77.3
	74 9 480	310	205	16.3	9.4	165	1 060	132	23.4	228	49.7
W310 × 107	60 7 590	303	203	13.1	7.5	129	851	130	18.3	180	49.1
	52 6 670	318	167	13.2	7.6	119	748	134	10.3	123	39.3
	44.5 5 690	313	166	11.2	6.6	99.2	634	132	8.55	103	38.8
W310 × 74	38.7 4 940	310	165	9.7	5.8	85.1	549	131	7.27	88.1	38.4
	32.7 4 180	313	102	10.8	6.6	65.0	415	125	1.92	37.6	21.4
	23.8 3 040	305	101	6.7	5.6	42.7	280	119	1.16	23.0	19.5
W250 × 167	21 300	289	265	31.8	19.2	300	2 080	119	98.8	746	68.1
	101 12 900	264	257	19.6	11.9	164	1 240	113	55.5	432	65.6
	80 10 200	256	255	15.6	9.4	126	984	111	43.1	338	65.0
W250 × 101	67 8 580	257	204	15.7	8.9	104	809	110	22.2	218	51.0
	58 7 420	252	203	13.5	8.0	87.3	693	108	18.8	185	50.3
	49.1 6 250	247	202	11.0	7.4	70.6	572	106	15.1	150	49.2
W250 × 80	44.8 5 720	266	148	13.0	7.6	71.1	535	111	7.03	95.0	35.1
	32.7 4 180	258	146	9.1	6.1	48.9	379	108	4.73	64.8	33.7
	28.4 3 630	260	102	10.0	6.4	40.0	308	105	1.78	34.9	22.1
W200 × 86	22.3 2 850	254	102	6.9	5.8	28.9	228	101	1.23	24.1	20.8
	71 9 100	216	206	17.4	10.2	76.6	709	91.7	25.4	247	52.8
	59 7 560	210	205	14.2	9.1	61.1	582	89.9	20.4	199	51.9
W200 × 59	52 6 660	206	204	12.6	7.9	52.7	512	89.0	17.8	175	51.7
	46.1 5 860	203	203	11.0	7.2	45.5	448	87.9	15.3	151	51.1
	41.7 5 310	205	166	11.8	7.2	40.9	399	87.8	9.01	109	41.2
W200 × 41.7	35.9 4 580	201	165	10.2	6.2	34.4	342	86.7	7.64	92.6	40.8
	31.3 4 000	210	134	10.2	6.4	31.4	299	88.6	4.1	61.2	32.0
	26.6 3 390	207	133	8.4	5.8	25.8	249	87.2	3.3	49.6	31.2
W150 × 29.8	22.5 2 860	206	102	8.0	6.2	20.0	194	83.6	1.42	27.8	22.3
	19.3 2 480	203	102	6.5	5.8	16.6	164	81.8	1.15	22.5	21.5
	37.1 4 730	162	154	11.6	8.1	22.2	274	68.5	7.07	91.8	38.7
W150 × 24.0	29.8 3 790	157	153	9.3	6.6	17.2	219	67.4	5.56	72.7	38.3
	24.0 3 060	160	102	10.3	6.6	13.4	168	66.2	1.83	35.9	24.5
	18.0 2 290	153	102	7.1	5.8	9.17	120	63.3	1.26	24.7	23.5
W130 × 28.1	13.5 1 730	150	100	5.5	4.3	6.87	91.6	63.0	0.918	18.4	23.0
	28.1 3 580	131	128	10.9	6.9	10.9	166	55.2	3.81	59.5	32.6
	23.8 3 010	127	127	9.1	6.1	8.80	139	54.1	3.11	49.0	32.1
W100 × 19.3	2 480	106	103	8.8	7.1	4.77	90.0	43.9	1.61	31.3	25.5

Fuente: (Beer, Johnston, Wolf, & Mazureck, 2006)

Para conocer los datos que componen el valor de  $W_x$  en la ecuación 8, es necesario el momento de inercia  $I_x$ , que para los elementos en la **figura 16** se tratan de puros rectángulos que como lo expresan Beer, Johnston, Wolf, y Mazureck en la mecánica de materiales el momento de inercia en  $I_x$  se define como la multiplicación de la base por la altura elevada al cubo.

figura 16 Dimensiones de perfil I



Fuente: Autor del proyecto

$$I_x \text{ rectangulo} = b * h^3 \text{ (Ecuación 9)}$$

Para calcular el momento de inercia total de la figura, se logra sumando o restando los momentos de inercia que componen cada una de las sub partes de la geometría del perfil, por lo que se calculó el momento de inercia de la totalidad del elemento denominado en la **figura 16** como geometría 1 y se le restaran los rectángulos conocidos como 2 y 3 teniendo que:

$$I_x \text{ total} = I_{\text{geometria1}} - I_{\text{geometria2}} - I_{\text{geometria3}} \text{ (Ecuación 10)}$$

Al observar la geometría por simetría se determina que la geometría 2 es igual a la geometría 3 quedando:

$$I_{\text{geometria2}} = I_{\text{geometria3}} \text{ (Ecuación 11)}$$

Reemplazando los valores de la ecuación 11 en la ecuación 10 se obtiene que:

$$I_x \text{ total} = I_{\text{geometria 1}} - 2 * I_{\text{geometria 2}} \text{ (Ecuación 12)}$$

La base de la geometría 1 es la base total del perfil, al igual que la altura también es la altura de dicho perfil. Mientras que en cuanto a la geometría 2 la base es la mitad de la base del perfil menos la mitad del alma del mismo y la altura de la geometría 2, es la altura del perfil menos dos veces la altura de la aleta del perfil, esto a causa de que hay una aleta en la parte inferior y otra en la parte superior. Finalmente se puede reemplazar cada una de las inercias llegando a que:

$$I_{\text{geometria 1}} = (\text{base geometria 1} * (\text{altura geometria 1})^3) / 12$$

$$I_{\text{geometria 2}} = (\text{base geometria 2} * (\text{altura geometria 2})^3) / 12$$

Donde:

$$\text{Base geometría 1} = \text{base de perfil} \text{ (Ecuación 13)}$$

$$\text{Altura geometría 1} = \text{altura de perfil} \text{ (Ecuación 14)}$$

$$\text{Base geometría 2} = (\text{base perfil} / 2) - (\text{alma de perfil} / 2) \text{ (Ecuación 15)}$$

$$\text{Altura de la geometría 2} = \text{altura del perfil} - 2 * \text{espesor de aleta} \text{ (Ecuación 16)}$$

Para facilitar las operaciones matemáticas se realizó un código mostrado en la **figura 17** programado en MATLAB R2013b, reemplazando las ecuaciones 13, 14, 15, 16, 17 y 18. Lo que permite hacer las operaciones de manera fácil, integrando también cálculos sobre los apoyos laterales que solo deben resistir esfuerzo normal, debido a la carga aplicada perpendicularmente al área transversal que se muestra en la **figura 18**, por los que el cálculo de estos elementos se resume solo a la aplicación de la ecuación de esfuerzo normal, la carga se somete a dichos apoyos laterales a tensión.

figura 17 código cálculos de la estructura en Matlab

```
1 - clear all; close all; clc
2 - %Condiciones iniciales de materiales y perfiles
3 - esfmat=250e+6; %Esfuerzo a tension del material
4 - %Condiciones de la carga
5 - W=100000*9.81;
6 - W1=W/2;
7 - L1=0.1;
8 - L2=0.3;
9 - L3=(L2*2)-0.1;
10 - L4=L2/2;
11 - %Placa rectangular
12 - b1=0.3;
13 - h1=0.02;
14 - A1=b1*h1;
15 - I1=(b1*(h1^3))/12; %Inercia de placa rectangular
16 - Mmax1=(W*(L1^2))/8;
17 - Wx1=(I1)/(h1/2);
18 - fprintf('Calculos viga rectangular');
19 - esflex1=Mmax1/Wx1
20 - Fs1=esfmat/esflex1
```

Fuente: Autor del proyecto

Continuación Fig.17

```

21 %Perfil rectangular
22 - F1=(W*L2)/4;
23 - b2=0.1024;
24 - t1=0.0064;
25 - A2=b2^2;
26 - A3=(b2-(2*t1))^2;
27 - A4=A2-A3;
28 - fprintf('Calculos columna rectangular');
29 - esfnorm=F1/A4
30 - Fs2=esfmat/esfnorm
31 %Perfil en I
32 - h3=0.131;
33 - b3=0.128;
34 - t3=0.0109;%Espesor superior
35 - t4=0.0069;%Espesor de alma
36 - I2=(b3*(h3^3))/12;
37 - I3=(((b3/2)-(t4/2))*(h3-(2*t3))^3)/12;
38 - I4=I2-2*I3;%Inercia del perfil en I
39 - Mmax2=(W1*(L4^2))+((W1*(L4^2))/2);
40 %Mmax2=((W*L4^2)/8)+((W1*L4^2)/16);
41 %Mmax2=((W*L3^2)/4)+((W*L3^2)/8);
42 - Wx2=(I4)/(h3/2);
43 - fprintf('Calculos viga en I ');
44 - esflex2=Mmax2/Wx2
45 - Fs3=esfmat/esflex2

```

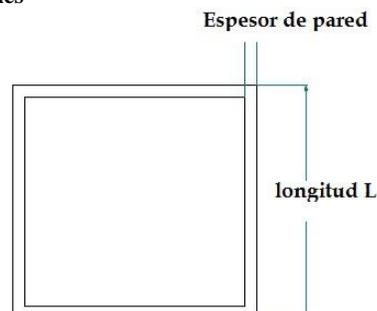
Fuente: Autor del proyecto

Buscando en manuales de venta de tubos cuadrados huecos, se obtuvo que la dimensión es de lado de 0.1024 y un espesor de pared de 0.0064 con lo que muestra que el área es:

$$Acuadradoexterno = lado * lado \text{ (Ecuación 17)}$$

$$Areahueco = (Lado * -2 * espesor de pared)^2 \text{ (Ecuación 18)}$$

figura 18 Área transversal apoyos laterales



Fuente: Autor del proyecto

Al realizar las operaciones con ayuda del programa Matlab, se encontraran los esfuerzos que deben soportar cada elemento y la geometría como lo muestra la **figura 19**, para que de esta forma se garantice la posterior selección y compra de material. Además de mostrar un factor de seguridad comparando con el acero estructural A-36 que es uno de los de mayor uso comercial.

figura 19 Ejemplo Resultados de operaciones con MATLAB

```
Command Window
Calculos viga rectangular
esflex1 =

    6.1313e+07

Fs1 =

    4.0775

Calculos columna rectangular
esfnorm =

    2.9938e+07

Fs2 =

    8.3507

Calculos viga en I
esflex2 =

    1.0004e+08

Fs3 =

    2.4990
fx
```

Fuente: Autor del proyecto

Tomando los datos que brinda la **figura 15**, se pudo obtener los valores tanto de la geometría 1 como de la geometría 2 tomando como se mencionó anteriormente un perfil que cumple con las dimensiones pensadas en un principio el cual es el W130X28,1 cuyas dimensiones son: Para el perfil una base de 0,128m, una altura de 0,131 con espesor de alma de 0,0069 m y espesor de aleta igual a 0,0109m reemplazando estos datos en el código de Matlab para después verificar dichos datos de forma manual, con el objetivo de garantizar el correcto funcionamiento del resultado arrojado por el programa.

### Cálculos de perfil en I:

Al reemplazar relacionando las ecuaciones 9 y 12 se obtiene el momento de inercia para el perfil en I que fue elegido se tiene:

$$I_{\text{geometría1}} = \frac{0,128 * 0,131^3}{12} = 2,4 * 10^{-5} m^4$$

$$I_{\text{geometría2}} = \frac{\frac{0,128m}{2} - \frac{0,0069m}{2} * (0,131m - (2 * 0,0109m))^3}{12} = 6,57 * 10^{-6} m^4$$

$$I_{\text{total}} = 2,4 * 10^{-5} m^4 - 2 * 6,57 * 10^{-6} m^4 = 1,086 * 10^{-5} m^4$$

Reemplazando en la ecuación 8 se tiene que:

$$W_x = \frac{I_x}{\frac{h}{2}} \quad \text{Dónde: } I_x = I_{\text{total}} \text{ y } h = \text{Altura del perfil al reemplazar queda:}$$

$$W_x = \frac{1,086 * 10^{-6} m^4}{0,131m/2} = 1,65 * 10^{-4} m^3$$

Finalmente se reemplaza el valor de  $W_x$  junto con el momento máximo de la **figura 14**. En la ecuación 7 con el fin de hallar el esfuerzo de flexión en el perfil I.

$$E_{\text{flex}} = \frac{6.437,8}{1,65 * 10^{-4}} = 39,02 \text{ Mpa}$$

Calculando el factor de seguridad con respecto al acero A-36 que se tomó como referencia y del cual su resistencia es de 250 Mpa se obtiene que:

$$F_s = \frac{\text{Esfuerzo material}}{\text{Esfuerzo calculado}} \text{ (Ecuación 21)}$$

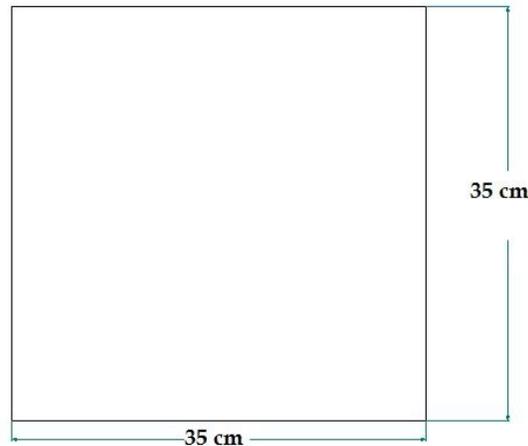
Al reemplazar los valores en la ecuación 21 se tiene:

$$F_s = \frac{250 \text{ Mpa}}{39.02 \text{ Mpa}} = 6,41$$

No se realizaran cálculos con perfil de menor área debido a que si se compara con el elemento que sigue con menores dimensiones no varía demasiado se dejaron análisis numérico para después de consultar las dimensiones de los tipos de perfiles encontrado entre la ciudad de Cúcuta y Pamplona Norte de Santander, que son finalmente los que se emplearan en la construcción de la máquina.

Dejando claro que el programa realiza de forma simultanea los cálculos correspondientes a los apoyos laterales y la placa rectangular de 35 x 35 mostrada en la **figura 20**.

**figura 20** Placa de apoyo base de molde y tapa de molde



Fuente: Autor del proyecto

Comprobando los datos obtenidos por medio de cálculos hechos con Matlab se realizaron de manera manual así:

Para la placa esta soportara toda la carga sobre su área transversal, se procede entonces a calcular el esfuerzo normal sobre ella:

$$esfnormal = \frac{Fuerza\ aplicada}{Area\ transversal} \text{ (Ecuación 19)}$$

Al reemplazar en la ecuación 19 se tiene que el esfuerzo normal queda con un valor de:

$$Esfnorm = \frac{294.300}{0,35m * 0,35m} = \frac{294.300N}{0,123\ m^2} = 2,4Mpa$$

El esfuerzo da una cantidad muy pequeña (2,4Mpa) comparado con la resistencia del material (250 Mpa), debido a que la geometría no se seleccionó en función de la carga, para llevarlo enfocado la placa de la **figura 20**, que será parte de la mesa de trabajo y requiere de un área lo suficientemente amplia, para el caso de que con el tiempo se desee realizar aglomerados de mayores dimensiones. Pero en cuanto al esfuerzo que se debe soportar en flexión este soporte se le da dimensiones de 30 cm en caso de que 5 cm sean ocupados en otras funciones de la máquina como las guías y se evalúa el esfuerzo de flexión del mismo elemento.

Entregando de la ecuación número 7 de esfuerzo de flexión se tiene que:

$$Esflex = \frac{Mmax}{Wx}$$

Donde Mmax está relacionado con la carga distribuida quedando: área de triángulo que pasa por la mitad del diagrama cortante, el cual me indica el momento flector que es similar al que se observa en la **figura 13** variando datos como lo son la longitud sobre la cual esta aplicada la carga distribuida, que ya no será de 0,35m sino que es reducida a 0,30m que es un rango en el cual se apoya el molde, variando el momento de inercia Ix donde la base es de 0,3m y el ancho de 0,02m lo que lleva a la siguiente solución:

$$Ix = \frac{0,3m * (0,02m)^3}{12} = 2 * 10^{-7} m^4$$

$$h = 0,02m$$

Por lo cual al reemplazar en la ecuación 8 que relaciona Wx con momento de inercia y la altura del elemento de estudio expresándose como:

$$Wx = \frac{Ix}{h/2} = \frac{2 * 10^{-7}}{0,02/2} = 2 * 10^{-5}$$

Para el momento máximo (Mmax) se realiza el análisis desde graficas donde las reacciones son similares 30 toneladas divididas en 2 por simetría obteniendo 15 toneladas por  $9,81 m/s^2$

Siendo las reacciones de 147,150 N dividiéndola en 0,3m me da la magnitud de la carga al estar distribuida sobre el elemento obteniendo:

$$Wplaca = \frac{294.300N}{0,3m} = 981.000N/m$$

Teniendo que el 490.500 es la altura del rectángulo que representa la carga distribuida y el 0,3 la base de dicho rectángulo, resultando el área del rectángulo:

$$Arectangulo = base * altura = 0,3 * 981.000 = 294.300$$

El 147.150 representa la altura de triángulo en el diagrama de cortante, cuya base es la mitad de la base del rectángulo por causa de que el punto del centro, es el punto de intersección entre el eje y el diagrama de cortante similar al mostrado en la **figura 13** entonces se tiene:

$$Atriangulo = \frac{Alt. de rectangulo * Alt. de triangulo * Base de triangulo}{2} \text{ (Ecuación 20)}$$

Dónde: Altura de rectángulo= 294.300/2=147.150; Altura de triángulo=Altura de rectángulo y base de triángulo=base de rectángulo/2

Reemplazando los datos en la ecuación 20 queda la expresión como:

$$A_{\text{triangulo}} = \frac{0,30^2 * 147.150}{8} = 3.310$$

Por lo cual

Al no tener más cargas sobre la placa el área del triángulo de la ecuación anterior indica el valor del momento máximo (Mmax) Reemplazando los datos obtenidos en la ecuación 7 para hallar el esfuerzo de flexión queda:

$$E_{\text{flex}} = \frac{M_{\text{max}}}{W_x} = \frac{3.310N}{5 * 10^{-5} m^2} = 66,22Mpa$$

Calculando el factor de seguridad con respecto al acero A-36 que se tomó como referencia y del cual su resistencia es de 250 Mpa se obtiene que:

$$F_s = \frac{E_{\text{fuerzo material}}}{E_{\text{fuerzo calculado}}} \text{(Ecuación 21)}$$

Al reemplazar los valores en la ecuación 21 se tiene:

$$F_s = \frac{250Mpa}{66.22Mpa} = 3,77$$

Por lo que para la placa rectangular se tiene un factor de 3,77; que indica las dimensiones dadas a la placa cumplen con las necesidades requeridas.

A continuación se realizaran los cálculos del elemento que conformara apoyos laterales que se calcularan con tubos huecos cuadrados como se mencionó anteriormente y sus dimensiones serán tomadas de catálogos de empresas encargadas de venderlos. Retomando la **figura 18** las dimensiones del tubo cuadrado mencionado anteriormente serán solo dos que conforman el área transversal y es independiente de la longitud que tenga por lo que los datos a conocer solo serán dos la longitud de lado y el espesor de pared. Siendo la longitud del lado 0,1024 m y el espesor de pared 0,0064.

$$A_{\text{cuad1}} = \text{lado} * \text{lado} = \text{lado}^2 \text{ (Ecuación 22)}$$

$$A_{\text{cuad2}} = (\text{lado} - 2 * \text{espesor pared})^2 \text{ (Ecuación 23)}$$

$$A_{\text{transversal}} = A_{\text{cuad1}} - A_{\text{cuad2}} \text{ (Ecuación 24)}$$

Reemplazando valores en las ecuaciones 22 y 23 se tiene:

$$Acuad1 = 0,1024 * 0,1024 = (0,1024m)^2 = 0,0105m^2$$

$$Acuad2 = (0,1024m - 2 * 0,0064m)^2 = 8,03 * 10^{-3}m^2$$

Finalmente se reemplaza en la ecuación 24 por lo cual:

$$Atransversal = 0,0105m^2 - 8,03 * 10^{-3} = 2,47 * 10^{-3}$$

La fuerza aplicada sobre los laterales será la carga total aplicada en el lateral dividido en cuatro ya que todos soportaran la misma carga es decir:

$$Faplicadalaterales = \frac{294.300N}{4} = 73.575N$$

Poniendo los datos en la ecuación 19 se obtiene el esfuerzo normal soportado por cada lateral

$$Esfnorm = \frac{73.575N}{2,47 * 10^{-3}} = 29,79Mpa$$

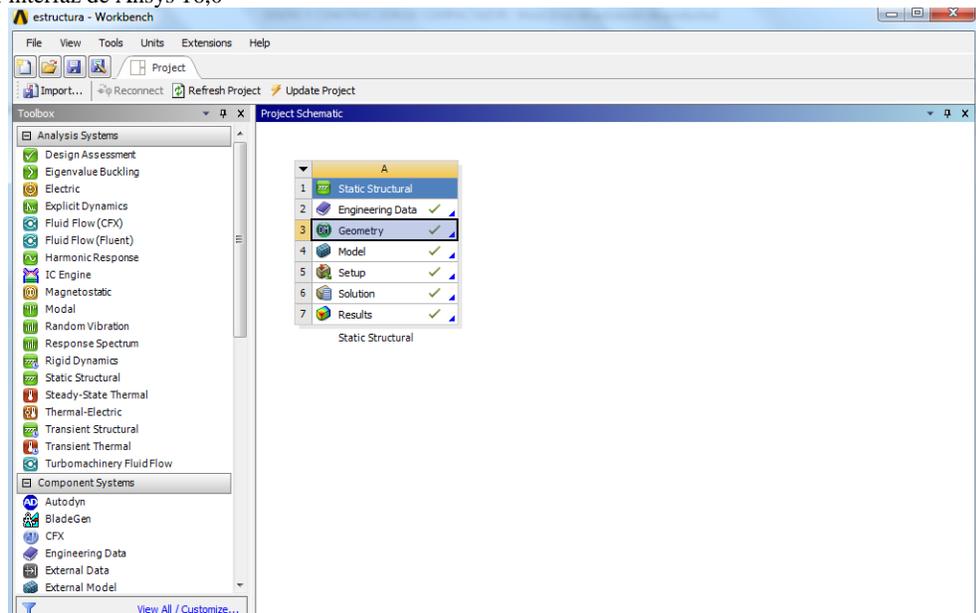
Hallando el factor de seguridad con relación al acero A-36 se tiene que:

$$Fs = \frac{250Mpa}{29,79Mpa} = 8,39$$

De igual forma ya con los datos obtenidos de las medidas aproximadas que deben tener los elementos, recordando además que se ha comparado con acero A-36, que al ser acero estructural es de los que mayor comercio tiene en ciudades cercanas a la ciudad de Pamplona Norte de Santander que es donde se realizara la máquina.

Como proceso de verificación de datos se realiza el montaje de la estructura de la máquina en SOLIDEDGE ST-6 siendo guardado en formato (.iges) para que de esta forma pueda ser exportado a la versión 16,0 de Ansys que me permitirá hacer un análisis por el método de elementos finitos. En la **figura 21** se puede observar la interfaz del programa donde se realizó el análisis de estructura mostrada en la **figura 9**.

figura 21 interfaz de Ansys 16,0



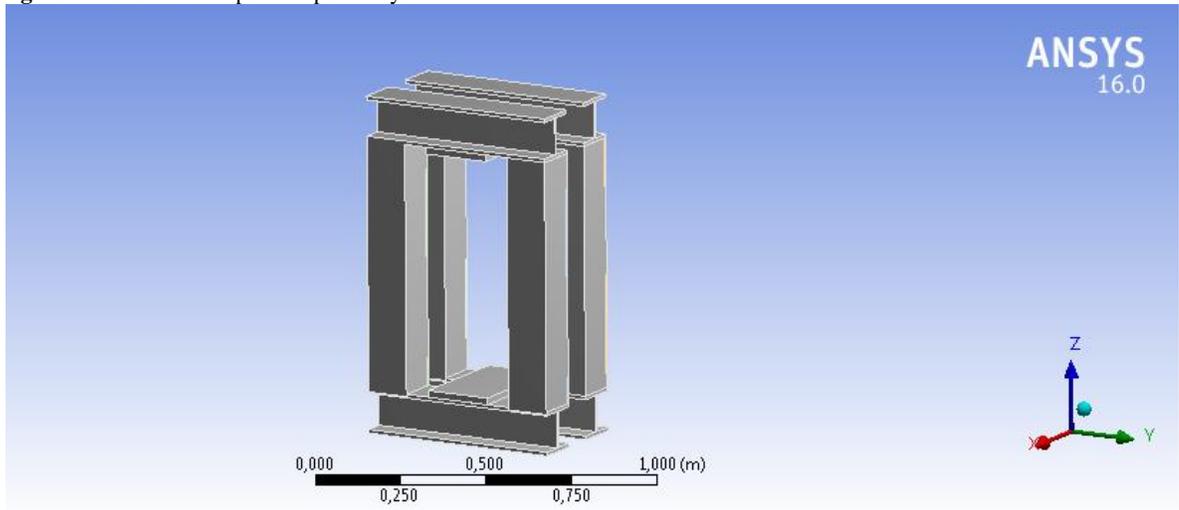
Fuente: Autor del proyecto

Donde muestra la cantidad de análisis que se pueden realizar con ayuda de este programa, para el caso que objeto de estudio se realizara con ayuda del subprograma de Ansys denominado **static estructural**, en el cual se observara el comportamiento de la estructura cuando se aplica la carga de 30 toneladas y permitirá conocer valores de esfuerzo que soportarán los elementos que componentes de la estructura. Siguiendo la secuencia lógica para la solución de problemas en la **figura 21** se muestra una columna con título A que contiene casillas que abrirán partes del programa, que dan pautas en el que se solucionarían los problemas como lo son: **Engeneering data** que es la parte del programa encargada de condiciones iniciales del problema como lo es la selección de material, que por defecto viene acero estructural lo que causa que en esta parte no se deba hacer cambio, sistema de unidades en el que se realizarán los cálculos siendo el caso de estudio en newton y metros. El **Geometry** que se encarga de integrar al programa la geometría del elemento que será parte del estudio. El **Model** es la parte encargada de seleccionar el tipo de enmallado que se usará para dar solución al problema. **Setup** permitirá seleccionar el tipo de cargas que soportara la estructura y los datos que desean obtener como lo son esfuerzos deformación entre otros. **Solution** que se encarga de iteraciones y cálculos para dar solución al problema iterando y relacionando cada uno de los nodos que conforman el enmallado sobre la estructura. Finalmente está el **Results** muestra la solución al final de las iteraciones realizadas por el programa.

Por lo que a continuación se muestra lo que sucede con la estructura en cada uno de los procesos para dar solución por medio de Ansys en cuanto a engineering data

no realizaran cambios solo se verifico que las unidades estuviesen en el sistema internacional por lo que se procede a montar la geometría que será parte de estudio importándola desde solid edge st-6 como se mencionó anteriormente es guardada en formato (.iges) y se importa al programa con ayuda de **Geometry** teniendo como resultado de este proceso lo mostrado en la **figura 22** que está a continuación:

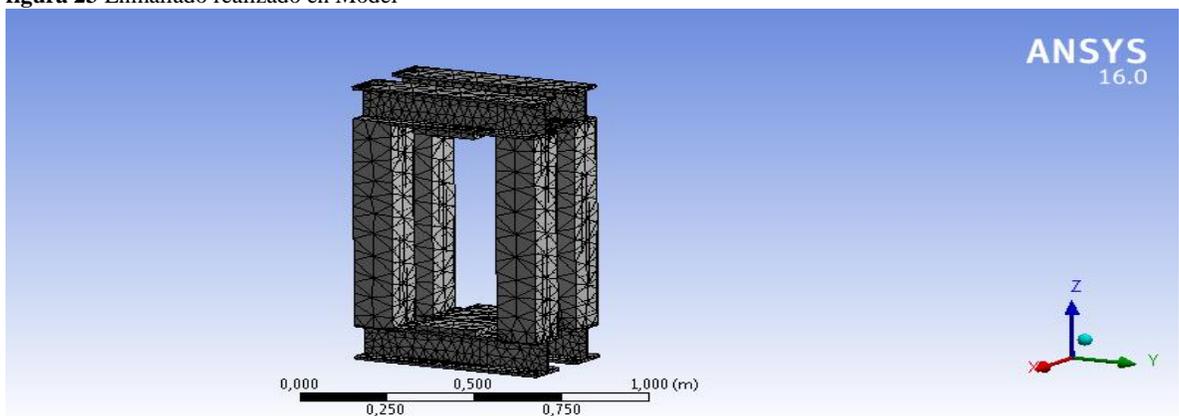
**figura 22** Geometría importada por Ansys



Fuente: Autor del proyecto

Paso seguido la geometría es llevada a **Model**, donde se realiza el enmallado de la geometría, apareciendo la cantidad de elementos que serán objeto de estudio como se muestra en la **figura 23**.

**figura 23** Enmallado realizado en Model

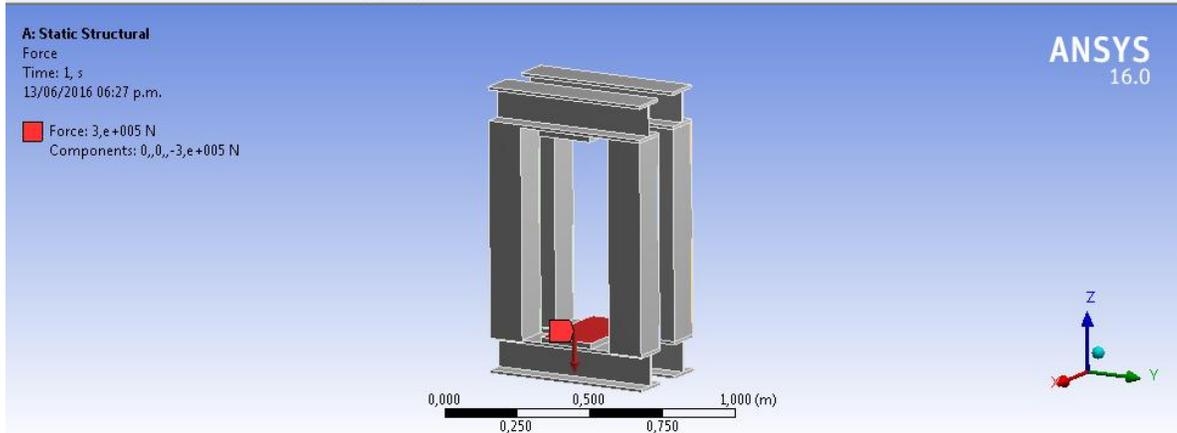


Fuente: Autor del proyecto

Al seleccionar en el **Setup** las cargas que intervendrán sobre la estructura, se utiliza la aplicación de la carga de 30 toneladas sobre la placa inferior y superior

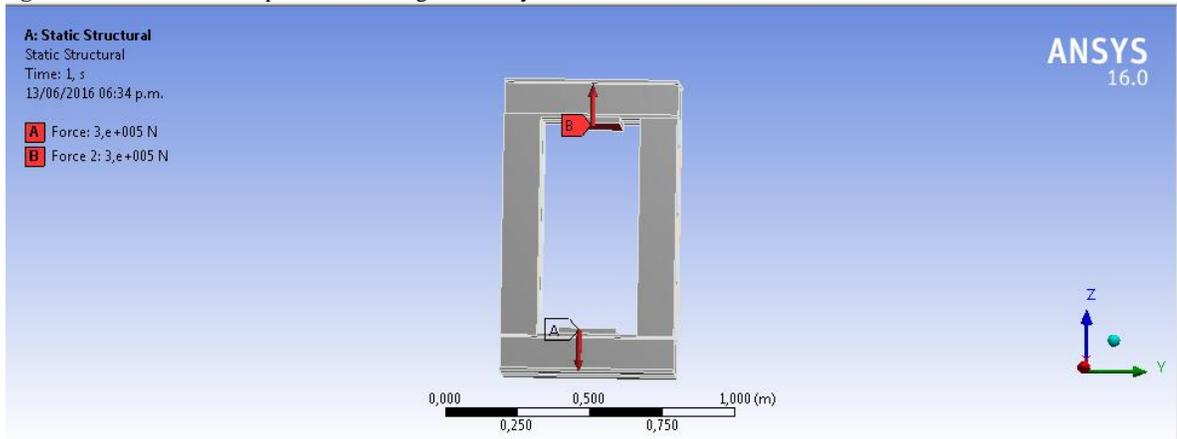
como se muestra en la **figura 24** y **figura 25**, se optó por no poner apoyos con el objeto de conocer el comportamiento de la estructura al no estar apoyado sobre el suelo, es decir conocer el comportamiento de la estructura ante las cargas puestas sobre ella.

**figura 24** Vista isométrica de aplicación de las cargas en Ansys



Fuente: Autor del proyecto

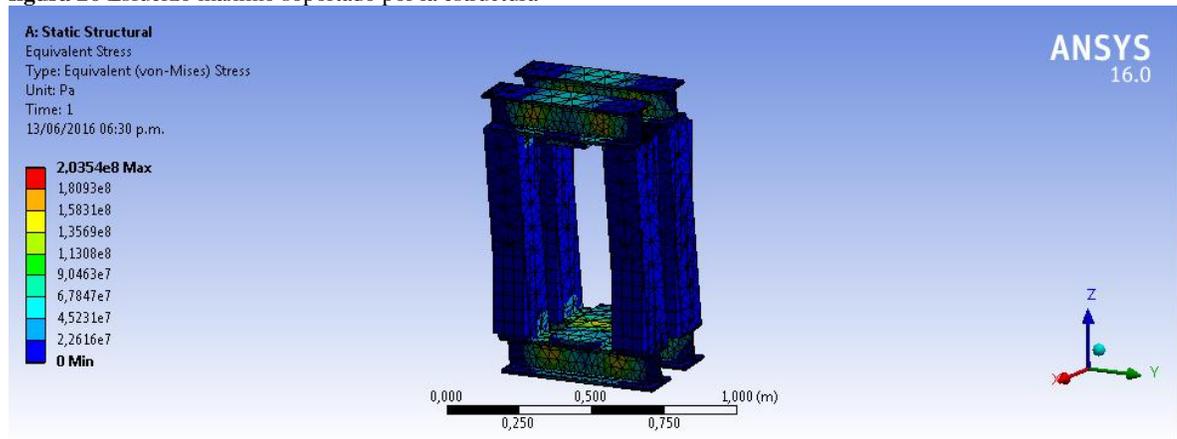
**figura 25** Vista lateral de aplicación de cargas en Ansys



Fuente: Autor del proyecto

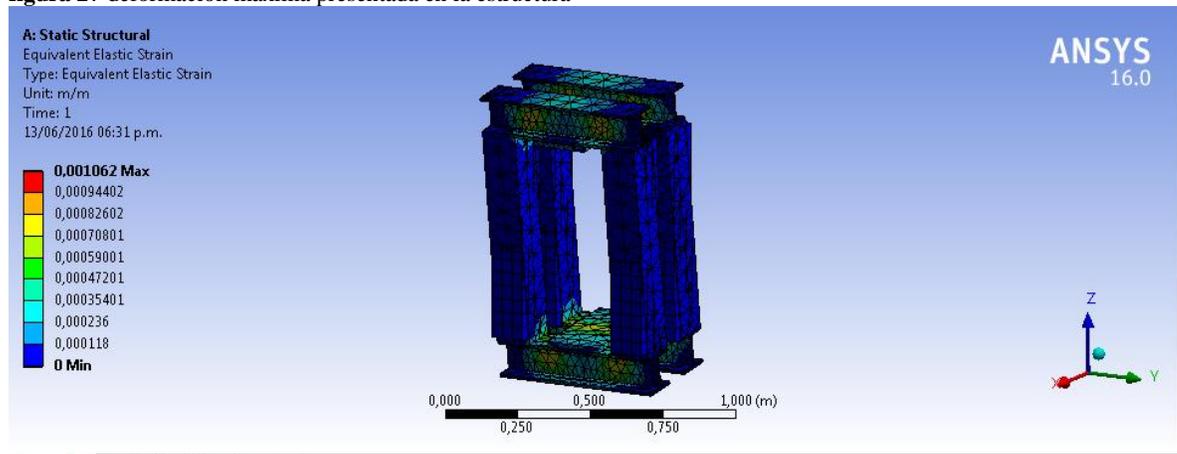
Por último se soluciona el problema teniendo como resultados el esfuerzo máximo encontrado en la estructura como se muestra en la **figura 26** donde el esfuerzo máximo presentado en la estructura el cual fue de 203,5 Mpa y la mayor deformación fue de 1,062 mm que es indicado en la **figura 27**.

figura 26 Esfuerzo máximo soportado por la estructura



Fuente: Autor del proyecto

figura 27 deformación máxima presentada en la estructura



Fuente: Autor del proyecto

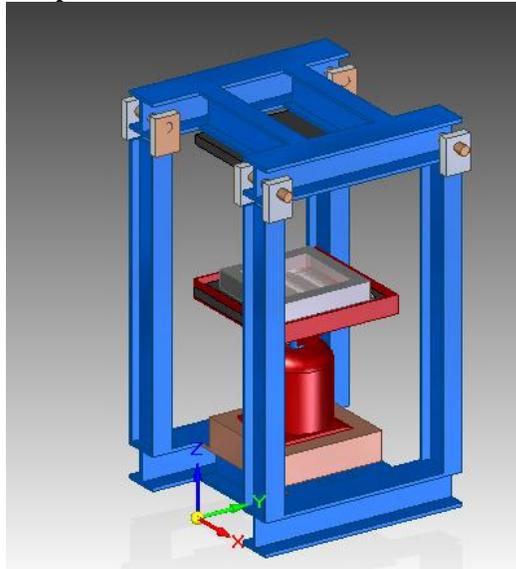
Recordando que el material del cual está hecha la estructura de los calculos es acero A-36 se calculará el factor de seguridad para saber el comportamiento de la totalidad de la estructura entonces:

$$F_{sestructura} = \frac{250Mpa}{204Mpa} = 1,23$$

Se puede decir entonces que al analizar la totalidad de los elementos de la estructura, hace que el factor de seguridad sea menor que el de los elementos que la componen pero al ser mayor de 1 cumple con los resultados esperados.

9.4.2 Diseño de elementos encargados de transmitir calor y temperatura:  
Al analizar los parámetros que se mencionan para la fabricación de material aglomerado se busca la forma en la que se dispondrán elementos que realizaran los trabajos dentro de la máquina con el objetivo de llevar a cabo el proceso de termo-compresión donde la disposición de los elementos es mostrada en la **figura 28**.

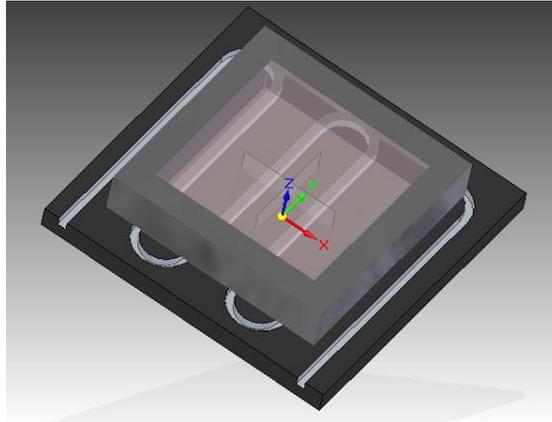
figura 28 Elementos para termo-compresión



Fuente: Autor del proyecto

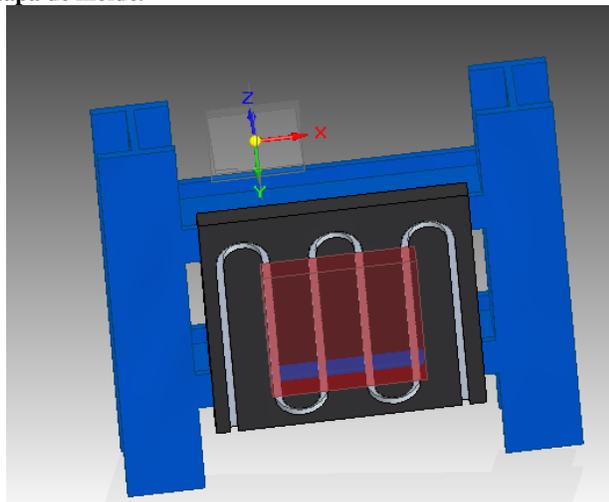
En la **figura 28** se puede observar el gato hidráulico en la parte inferior, no se trabajó con la ubicación inicial que tenía el gato que estaba en la parte superior de la máquina, pensando en que el peso del molde y el peso de la placa que sostiene el molde que contiene una resistencia encargada de generar calor, harán que el embolo del gato regrese a su posición inicial sin necesidad de resortes a diferencia de las prensas hidráulicas encontradas. Por consiguiente en la parte superior de la estructura, se ubicará otra placa con resistencias que a sostendrá la tapa del molde, ocasionando que en la parte superior de la máquina encaje el molde con la tapa del molde cada vez que el embolo del gato se eleve. Al poner la totalidad de las partes, se pueden observar su posición la placa inferior y el molde en la **figura 29** y la placa superior con la tapa del molde en **figura 30** y el acople del gato con la placa inferior se realizara por medio de un tubo que se adaptara al embolo y al cual como primera alternativa se pensó en un marco mostrado en la **figura 31**, el cual se encargara de que toda la placa suba de la misma manera transmitiendo la fuerza entregada por el gato.

figura 29 Placa inferior con molde



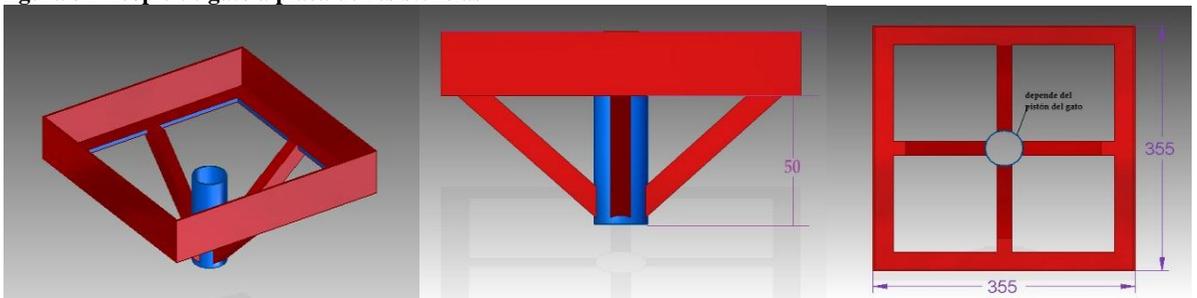
Fuente: Autor del proyecto

figura 30 placa superior y tapa de molde.



Fuente: Autor del proyecto

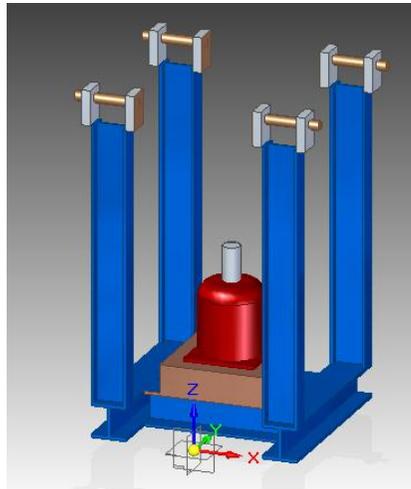
figura 31 Acople de gato a placa de resistencias



Fuente: Autor del proyecto

Los elementos que han sido tomados como referencia para dibujar partes de la máquina, no han sido calculados esto sucede porque están sometido a esfuerzo normales y su área transversal de gran tamaño lo que garantiza que su esfuerzo será pequeño. Observando un Manual de gatos hidráulicos se observó que la distancia recorrida por el gato oscila en los 15 y 20 cm, ocasionando que el espacio para ingresar el aglomerado a la máquina sea muy poco y es por esta razón que se optó por diseñar unas bisagras en la parte superior con el objetivo de que la parte superior se pueda elevar, para con esto permitir que el ingreso de material sea de manera fácil. La parte inferior se puede observar en la **figura 32** donde en la parte superior se observan unas orejas que son atravesadas por un pasador y cuyos cálculos también se mostraran a continuación:

figura 32 parte inferior de la estructura



Fuente: Autor del proyecto

#### 9.4.3 Diseño de pasador y orejas:

Se inicia el proceso determinando la fuerza que soportara cada una de las esquinas, es decir la carga que es 294,300N se dividirá en 4 lo que muestra que la carga soportada por cada esquina es de 73.575N. Asumiendo que toda la carga será aplicada sobre el pasador se obtiene que:

$$Esf_{cort} = \frac{P1}{A_{cortante}} \text{(Ecuación 25)}$$

Donde:

$$P1=2914.300N/4=73.575N$$

$$A_{cortante} = \frac{\pi * d^2}{4}$$

Sabiendo que d es el diámetro del pasador y al reemplazar en la ecuación 25 se obtienen datos que varían según el diámetro del pasador y son mostrados en la tabla de datos de pasador.

**Tabla 4 datos de pasador**

Diámetro de pasador	Esfuerzo cortante (Mpa)	F. seguridad con acero 1045
1,5cm	416,4	1,35
1,8cm	289,1	1,95
1,9cm	259,5	2,17
2cm	234,2	2,41
2,1cm	212,4	2,66
2,2cm	193,5	2,91
2,4cm	162,7	3,47
2,54cm	145,2	3,89

Fuente: Autor del proyecto

Para el diseño de las orejas se tomara la como referencia el diámetro de pasador con factor de seguridad más alto es decir el de diámetro equivalente a 1 pulgada, esto se hace debido a que las brocas generalmente vienen en sistema británico lo que facilitara hacer las perforaciones con broca de 1 pulgada entonces teniendo para las orejas placa de una pulgada de espesor se muestran sus medidas en la **figura 33** que está a continuación. Posteriormente se evalúa el esfuerzo soportado por el área crítica que es la suma de las áreas 1 y 2 mostradas en la **figura 33** por lo cual queda que: Área 1=Área 2 entonces:

$$A_{critica} = 2 * Area1 \text{ (Ecuación 26)}$$

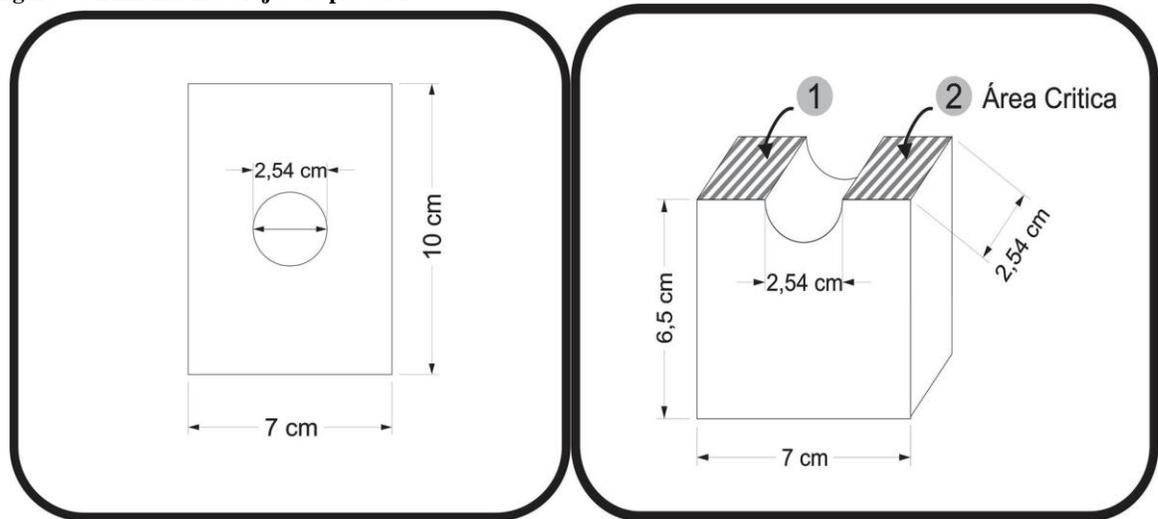
Al recordar que el área 1 es un rectángulo se halla el área quedando

$$Area1 = base * altura = 0,0223m * 0,0254m = 0,00056m^2$$

Reemplazando el valor de área 1 en la ecuación 26 se tiene que:

$$A_{critica} = 2 * 0,00056m^2 = 0,00112m^2$$

figura 33 Dimensiones orejas de pasador



Fuente: Autor de proyecto

Recordando la fórmula de esfuerzo normal y sabiendo que aunque la carga de 73.575N se divide en 2 Al ser 2 orejas las compone la bisagra se asumirá que el otro no existe y que toda la carga es aplicada sobre una sola oreja llevando a que:

$$Esf_{cort} = \frac{73.575N}{0,00112m^2} = 65,7Mpa$$

Calculando el factor de seguridad con respecto al acero estructural A-36 se tiene que:

$$Fs = \frac{250Mpa}{65,7Mpa} = 3,8$$

#### 9.4.4 Diseño transferencia de calor:

La transferencia de calor es de vital importancia en el proceso de termo-compresión por lo que se realizara un análisis de los factores importantes a tener en cuenta para elevar la temperatura del molde como se muestra en la **figura 34**. En la parte inferior, se buscara que la base del molde este lo más cerca posible de la resistencia lo que quiere decir que se pondrá una lámina que permita paso del calor prácticamente sin oponerse a causa de su poco espesor, mientras que en la parte superior si requiere un análisis más profundo porque el espesor de la placa que tiene contacto con la resistencia tiene un espesor mayor que la altura del molde.

figura 34 Capas que componen la transferencia de calor



Fuente: Autor del proyecto

Como se puede observar en la **figura 34** en una de las capas que van de la resistencia a el gato hay una capa que debe funcionar como aislante térmico, esto con el objetivo que el paso de calor hacia el aceite del gato sea mínimo. Más adelante se dará la explicación de porqué en este caso se mencionan capas de acero 1020 y no de acero estructural. Para aislante térmico se eligió la fibra de vidrio que en los últimos años ha tomado gran importancia al recubrir tubos haciendo que las pérdidas de temperatura sean menores (Torres, 2012)

El calor conducido a través de un material según lo expresa Cengel en la transferencia de calor como una diferencia de temperaturas tanto de un lado como del otro y relaciona el área perpendicular al flujo de calor. Tomando la resistencia eléctrica como la generadora de calor se obtiene que si se trata de una resistencia de 2000W entonces (Cengel Y. A., 2007):

$$Q_{cond} = -k * A \frac{dT}{dx} \text{ (Ecuación 27)}$$

Entonces:

$$2000W = -47 \frac{w}{m * K} * 0,04m^2 * \frac{773 - T_f}{0,032}$$

$$-T_f = \frac{2000W * 0,032m}{-47w / (m * K) * 0,04m^2} - 773 = 772,45K$$

Aún así queda comprobado que la transferencia de calor es muy buena, haciendo que aunque caiga la temperatura, no son grandes las pérdidas de igual forma las resistencias traerán sus controladores y termocuplas las cuales se pondrán de la forma que indiquen la temperatura del sitio que más sea conveniente y con esto lograr que la maquina trabaje bajo los parámetros que se requiere.

## 9.5 CONSTRUCCIÓN DEL PROTOTIPO DE MÁQUINA PARA HACER AGLOMERADO (OBJETIVO 2):

### Construcción de estructura:

Al realizar los cálculos de los elementos que compondrán la máquina en el capítulo anterior, se obtuvieron datos como lo fueron tipo de material, geometría entre otros. Con ayuda de esos datos en este capítulo del libro, se mostrara la construcción de la máquina iniciando por la compra de los elementos que componen la estructura los cuales se compraron en la ciudad de Cúcuta Norte de Santander y se muestran en las figuras a continuación:

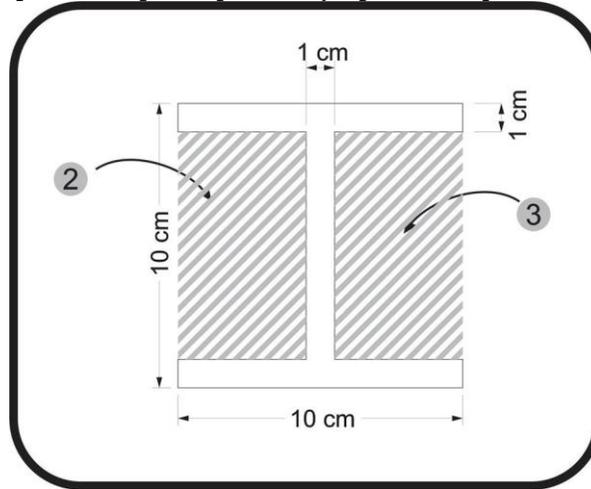
En la **figura 35** se observan los perfiles que se ubicaran en la parte inferior y en la parte superior, cuyas medidas no son las mismas con las que se realizaron los cálculos en el capítulo anterior si no que son las mostradas en la **figura 36**.

**figura 35** Perfil de base y tapa de la máquina de termo-compresión



Fuente: Autor del proyecto

figura 36 Dimensiones de los perfiles comprados para base y tapa de la máquina



Fuente: Autor del proyecto

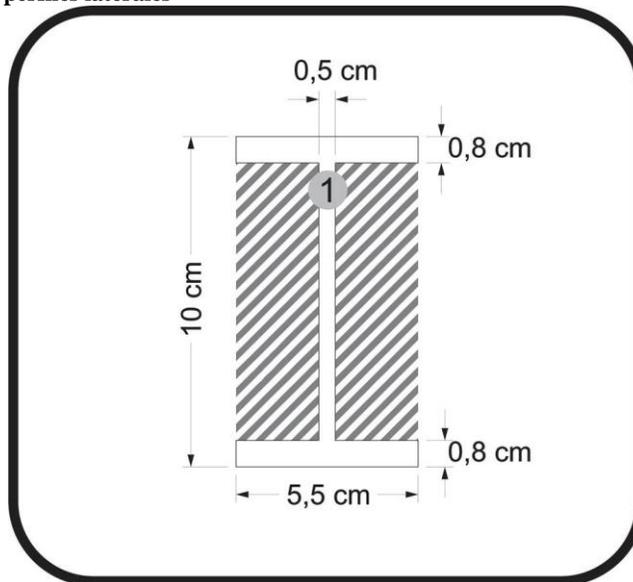
En la **figura 37** se observa los laterales de la máquina, los cuales fueron también comprados como perfiles en I en el mismo sitio donde se compraron los de la base y tapa. Todo debido a que tienen un área mayor que el tubo cuadrado hueco lo que permite facilidad a la hora de soldar las orejas de los pasadores a estos y sus dimensiones son mostradas también en la **figura 38**.

figura 37 Perfiles laterales



Fuente Autor del proyecto

figura 38 Dimensiones de perfiles laterales



Fuente: Autor del proyecto

Las placas rectangulares encargadas de contener la base y tapa del molde junto con las resistencias encargadas de transmitir calor se compraron con dimensiones de 35cm X 35 cm con un espesor de 1 pulgada cabe resaltar que también fueron compradas en el mismo lugar donde se compraron los perfiles SERVIRETALS.A y su imagen se muestra en la **figura 39**.

figura 39 placas de soporte para las resistencias eléctricas



Fuente: autor del proyecto

Las orejas para las bisagras **figura 40** se compraron con las dimensiones que se calcularon anteriormente y en el lugar donde se compraron los demás elementos también fueron cortadas en una placa similar a las utilizadas para las resistencias eléctricas.

**figura 40** Placas de orejas de las bisagras.



Fuente: Autor del proyecto.

Como se mencionó anteriormente, la compra de los materiales se hizo en la ciudad de Cúcuta en un lugar donde no se especifica qué tipo de acero está comprando por lo que fue necesario realizar pruebas de dureza en el laboratorio de materiales de la Universidad de Pamplona.

Las pruebas se realizaron con el Durómetro INSTRON serie 2000 como se muestra en la **figura 41**; Donde se utilizó un indentador con punta de bola y dureza en escala rockwell B (HRB) que al sacar el promedio de los datos que se tomaron alrededor de las piezas me arrojó los siguientes valores promedios: para los perfiles de la base 74,33HRB **figura 42**, para placas de las orejas y resistencias 69,97HRB **figura 43** y para los perfiles laterales dureza 76,72 **figura 44**.

**figura 41 Durómetro INSTROM serie 2000**



Fuente: Autor del proyecto

**figura 42 Prueba de dureza perfil base**



Fuente: Autor del proyecto

figura 43 Prueba de dureza placa orejas y resistencias



Fuente: Autor del proyecto

figura 44 Prueba de dureza perfiles laterales



Fuente: Autor del proyecto

Para unir las piezas del material primero se hizo un proceso de corte, con el fin de darle a las piezas la longitud que se requiere, las cuales fueron dadas en un principio como es el caso de los perfiles mostrados en la **figura 35** con un perfil en I del cual salieron los 4 partes con una longitud de 55cm. Mientras que los perfiles laterales si se debieron cortar como es mostrado en la **figura 45** para la longitud que permitiera el correcto funcionamiento del gato. Además los restantes de estos perfiles se utilizaron para mantener la distancia entre los perfiles en I que fue de 26 cm tanto en la base como en la tapa superior.

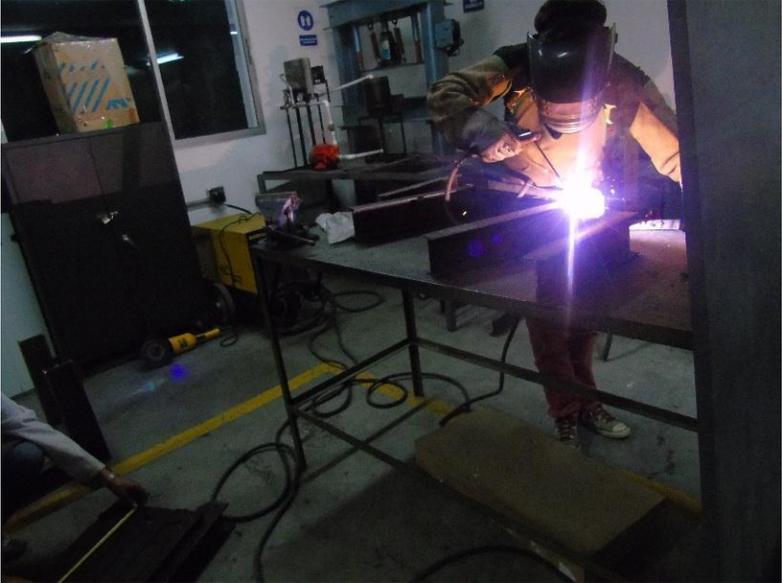
figura 45 Proceso de corte de los elementos



Fuente: Autor del proyecto

El montaje de la estructura se realizó por medio del proceso de soldadura, la cual tiene como especificación principal el tener una resistencia de fluencia igual o mayor que la del material de la cual están fabricado los perfiles. Según la tabla de propiedades mínimas de material de aporte 9-3 del libro de diseño en ingeniería mecánica de shigley donde las más usadas comercialmente en la ciudad de Pamplona son: 60XX tiene una resistencia de fluencia de 345Mpa y el 70XX que tiene una resistencia a la fluencia de 293Mpa **figura 46** por lo tanto se optó por la soldadura 6013, que es más fácil a la hora de hacer puntos de soldadura, teniendo como objetivo facilitar alinear los elementos para la posterior pasada del cordón con soldadura 7018. Cabe resaltar que el 1 en ambas soldaduras indica que la soldadura se puede aplicar sin importar la dirección y el siguiente numero entre más grande será menor la presentación porque no es importante el último dígito en el caso de la estructura, donde los elementos no tienen gran espesor y logran su correcta unión como lo muestra la **figura 47**. Donde se muestra la unión de los elementos y se verifica con la posterior pasada de la pulidora se ve que si se produjo la unión entre los elementos que conformarán la estructura. Para con esto finalmente mostrar la totalidad de los elementos de la parte inferior y superior de la estructura en las **figuras 48 y 49** respectivamente. En ambas partes se pondrán elementos de perfil lateral que como se mencionó anteriormente, serán los encargados de mantener constante la distancia en los perfiles de la base y tapa de la máquina.

**figura 46 Aplicación de soldadura**



Fuente: Autor del proyecto

**figura 47 Verificación unión de los elementos por soldadura**



Fuente: Autor del proyecto

**figura 48 Parte superior de la máquina**



Fuente: Autor del proyecto

**figura 49 Parte inferior de la máquina**



Fuente: Autor del proyecto

## 9.6 IMPLEMENTACIÓN GATO HIDRÁULICO:

Para la aplicación de la fuerza sobre el molde, se hará con un gato hidráulico el cual debe mantener la presión aplicada sobre el material y el calor suministrado por las resistencias durante un periodo de tiempo, en el caso del gato se buscara la forma de conocer la presión aplicada por este elemento. Como su funcionamiento es gracias a fuerza ejercida por un fluido, se realizara la adaptación de un manómetro. El gato debe ejercer una fuerza igual a las 30 toneladas que es la carga límite de funcionamiento.

Se realizó el análisis de un gato de 30 toneladas mostrado en la **figura 50**, el cual se descartó por varios factores, en primer lugar no se consigue con el manómetro incluido y su base esta construida con hierro fundido haciendo que este material no permita maquinado, haciendo inútil la instalación de la rosca para poner racor y con esto una conexión que admita la instalación del manómetro. Cabe resaltar que el diámetro del embolo es de 5,1cm por lo cual se debe conseguir un manómetro que soporte las presiones alcanzadas en el interior del gato.

$$A_{gato} = \pi * r^2 = \pi * 0,025^2 m = 0,0019 m^2 \text{ (Ecuación 28)}$$

$$Presión = \frac{Fuerza}{A_{gato}} \text{ (Ecuación 29)}$$

$$Presion = \frac{294.300N}{0,0019m^2} = 155Mpa = 22.408psi$$

figura 50 Gato de 30 toneladas



Fuente: Autor del proyecto

Al conseguir un manómetro comercial de 10.000psi mostrado en la **figura 51** se busca una solución comprando un gato de 50 toneladas, que debido a que su

embolo es de mayor diámetro (7,6cm) su presión será menor que en el gato con diámetro de 5 cm como se muestra a continuación:

$$A_{gato2} = \pi * 0,038^2 m = 0,0045 m^2$$
$$Presion2 = \frac{294.300 N}{0,0045} = 65,4 Mpa = 9.485 psi$$

figura 51 Manómetro de 10.000 psi



Fuente: Autor del proyecto

Finalmente se taladró por la parte lateral del gato de 50 toneladas, con el objetivo de llegar a la base del gato para que por medio de un roscado, se pudiera instalar el racor que va conectado al gato teniendo, como resultado el conjunto mostrado en la **figura 52**.

**figura 52** Conjunto de gato 50 Ton con manómetro de 10.000psi



Fuente: Autor del proyecto

Se verifico el funcionamiento total del manómetro con ayuda de la maquina universal Shimadzu UH 600KN, realizando ensayo de compresión como se muestra en la **figura 53**

**figura 53** Ensayo de compresión sobre gato con manómetro en máquina universal



Fuente : Autor del proyecto

Los datos obtenidos del ensayo hasta subir al tope de las 30 toneladas se muestra a continuación.

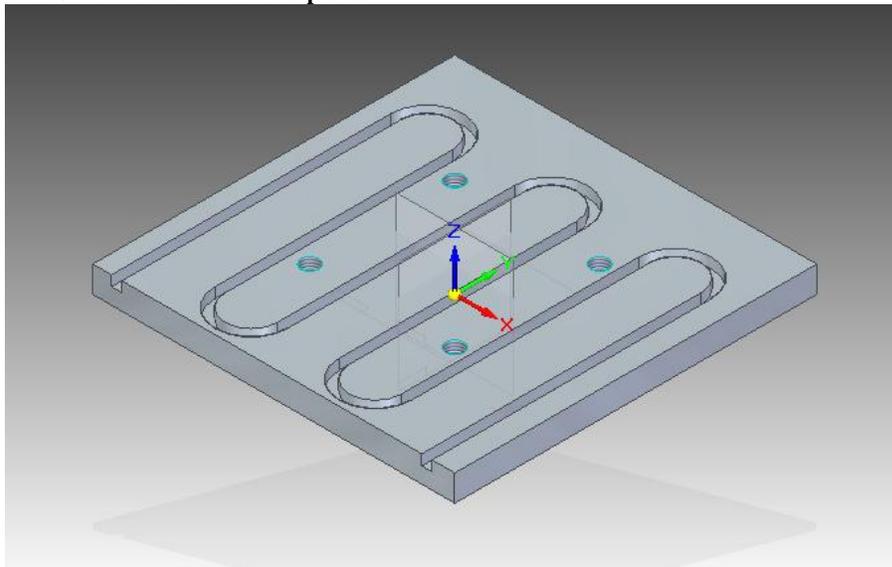
**Tabla 5 Datos arrojados por el gato con respecto a carga aplicada**

<b>Carga</b>	<b>Kg/cm<sup>2</sup></b>	<b>Psi</b>	<b>Mpa</b>
5 Ton	110	1600	11,03
10 Ton	220	3200	22,06
15 Ton	330	4800	33,09
20 Ton	440	6400	44,12
25 Ton	550	8000	55,15
30 Ton	660	9600	66,18

### **9.7 CONEXIÓN DE RESISTENCIAS ELÉCTRICAS GENERADORAS DE CALOR:**

Las resistencias van dispuestas en las placas de una pulgada el plano de recorrido fue realizado en SOLIDEDGE ST-6 que se muestra en la **figura 54** al igual que para ansys se exporto en formato (.iges), el cual fue abierto en el software MASTER-CAM para con este realizar el mecanizado observado en la **figura 55** y finalmente obtener la placa mostrada en la **figura 56**.

**figura 54** Recorrido de la resistencia en las placas



Fuente: Autor del proyecto

**figura 55 Mecanizado de placa en las resistencias**



Fuente: Autor del proyecto

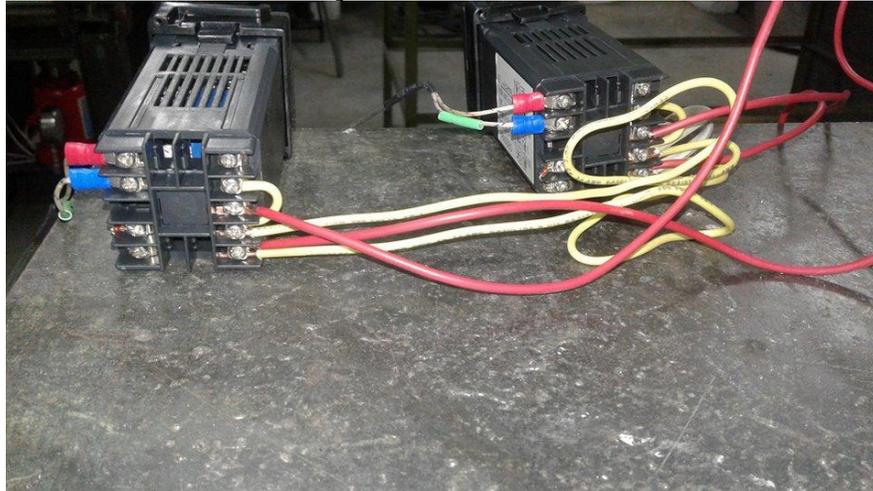
**figura 56 Placa obtenida para las resistencias**



Fuente: Autor del proyecto

Para conseguir la temperatura en las resistencias se deben estar controladas a unos contactores que son quienes reciben órdenes de los controladores de temperatura y se realiza su conexión como se muestra en la figuras a continuación:

**figura 57** Conexión de los controladores de temperatura



En la **figura 57** se muestra la conexión de los controladores de temperatura que son 2 uno para cada resistencia de la máquina. Donde tiene salidas hacia los contactores que son quienes finalmente accionan o paran el flujo de corriente a través de las resistencias y en las entradas 1 y 2 del controlador se ubica los terminales de la termocupla que es quien se encarga de medir la temperatura en los extremos del molde uno se ubicara en la parte lateral del molde mientras la otra estará en la tapa del molde. Mientras que la conexión de los contactores se muestran en la **figura 58** donde los cables rojos llegan desde el controlador y los cables siliconados blancos son quienes van hacia las resistencias en las placas.

**figura 58** Cotactores de la conexión eléctrica.



Fuente: Autor del proyecto

### 9.7.1 Montaje del molde:

Con el gato teniendo la función de elevar una de las placas, se decide adaptar un tubo el cual fue torneado como se muestra en la **figura 59**, para poder sostener una placa que contendrá la capa de fibra de vidrio que es el aislante térmico que utilizaremos entre esa placa y la placa de las resistencias. La placa de resistencias inferior a su vez contendrá una lámina que servirá de base del molde y las paredes del molde que se atornillan entre si y se acoplan a la placa de resistencia por medio de pines como se observa en la **figura 60** acoplado también en la placa de resistencia superior una placa de 3,2 cm que cumplirá con la función de ser la tapa del molde ya su vez se soldaran dos guías en extremos diagonales de la placa de resistencias para evitar giros y que si molde siempre suba en la misma posición y el montaje total esta en la **figura 61**.

**figura 59** Torneado del tubo de gato



Fuente Autor del proyecto

**figura 60** acople de molde a placa de resistencias



Fuente: Autor del proyecto

**figura 61** Acople de conjunto en mesa de trabajo



Fuente: Autor del proyecto

### 9.8 FABRICACIÓN DE AGLOMERADO (OBJETIVO 3):

Según artículos encontrados a principio del libro se mencionan condiciones iniciales para la fabricación de aglomerados donde la presión es de 4,1Mpa que equivale a 41 Kg/cm<sup>2</sup> y temperaturas de 160°C por lo cual la primera prueba se decidió realizar con presión cercana a los 100Kg/cm<sup>2</sup> que en el gato elegido equivale a 4,54 Toneladas y la temperatura se llevara a los 100°C.

Inicialmente abre la tapa superior. Para tener fácil acceso al molde y poder agregar las materias primas que se utilizaran en la fabricación del aglomerado. La prueba inicial se realizara con viruta de madera también conocida como aserrín que se mezclara con una cantidad equivalente al 6% de colbon de madera **figura 62:**

**figura 62** Colbon de madera y aserrín



La mezcla se muestra en la **figura 63:**

**figura 63** Mezcla de aserrín con colbon de madera



Fuente: Autor del proyecto

Paso seguido se deposita en el molde **figura 64**:

**figura 64** Ingreso de materia prima en el molde de la máquina



Fuente: Autor del proyecto

Se cierra la tapa asegurando los pasadores laterales y se conectan los contactores junto con los controladores para iniciar a imprimir calor hasta alcanzar una temperatura de 30°C y seguir elevándola de a 20° hasta alcanzar la temperatura de 100°C. A medida que se va elevando la temperatura se imprime presión sobre el molde manteniendo constante a presión de los 100Kg/cm<sup>2</sup>. Al alcanzar la temperatura de los 100°C se mantiene constante durante un tiempo de 5 a 7 minutos **figura 65**.

**figura 65** Prensado de materia prima a 100°C



Fuente: Autor del proyecto

Debido a que el equipo requiere un sistema de alimentación eléctrica con protecciones por encima de los 20ª, se fabricó el aglomerado con una temperatura de 50°C, dejando la muestra dentro del molde hasta que su temperatura fuera igual que la temperatura ambiente y se decidió desmoldar la muestra para ver qué tipo de material se había logrado tener como se muestra en las **figuras 66 y 67**.

**figura 66** Desmoldado de la muestra



Fuente: Autor del proyecto

**figura 67** Material obtenido



Fuente: Autor del proyecto

El color de la muestra fue causado por un aceite de lubricación, (aceite de motor) que se utilizó para desmoldante durante el proceso por lo cual la muestra tomo color negro.

### 9.9 REDACCIÓN DE MANUAL DE FUNCIONAMIENTO (OBJETIVO 4):

El prototipo de máquina de moldeo por termo- compresión para materiales aglomerados, está diseñada con el objeto de fabricar a un tope de 30 Toneladas y 200°C, se recomienda operarla bajo supervisión de dos personas teniendo precaución al mover cada uno de sus elementos. Debido a que su capacidad de llegar a presiones elevadas va de la mano con la geometría y espesor de sus componentes, Siendo de vital importancia evitar impactos sobre dichos elementos a continuación se muestran factores a tener en cuenta para el correcto funcionamiento de la máquina:

#### 9.9.1 Tapa superior y bisagra:

La tapa superior de la máquina cuenta con un sujetador dos pasadores que pueden extraer y permiten elevar uno de los lados con el objetivo de que el llenado de la materia prima se realice de forma uniforme dentro del molde antes de aplicar la carga sobre el molde es necesario verificar que los dos pasadores están en su lugar como se observa en la **figura 68**.

figura 68 Tapa superior.



Fuente: Autor del proyecto

### 9.9.2 Molde:

Este elemento mostrado en la **figura 69** cuenta con cuatro paredes unidas por medio de tornillos y arandelas, conectando además dichas paredes a la placa de las resistencias por medio de pines a presión, los cuales impiden el movimiento de las cuatro paredes y en la parte superior de la máquina se encuentra la tapa del molde que ayuda a la compresión, cuando el gato hidráulico sube la parte inferior del molde.

**figura 69** Molde



Fuente: autor del proyecto

### 9.9.3 Gato hidráulico tipo botella con manómetro:

Este dispositivo **figura70** es el encargado de ejercer presión (que será conocida en la caratula del manómetro) sobre el material que se encuentra dentro del molde para lo cual al inicio del proceso se debe verificar que la llave de paso este completamente cerrada, se recomienda evitar impactos sobre el mismo y cuando se esté trabajando ejercer palanca con todo su recorrido, para obtener un correcto bombeo de aceite hacia el tubo interno que es el encargado de empujar el cilindro

al finalizar las practicas debe abrir la llave  $\frac{1}{2}$  o  $\frac{3}{4}$  de giro para que el cilindro baje nuevamente.

figura 70 Gato hidráulico con manómetro



Fuente: Autor del proyecto

#### 9.9.4 Resistencias eléctricas:

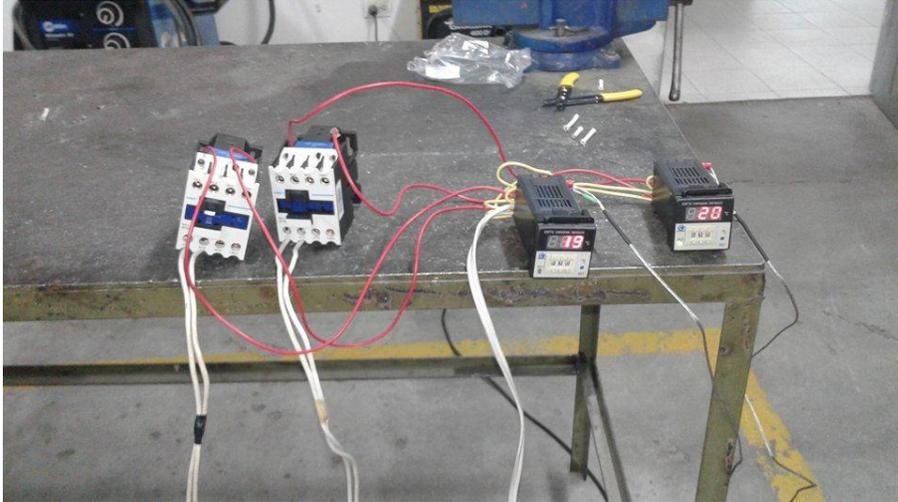
Estos dispositivos son los encargados de transmitir calor a las placas **figura 71** y por ende al molde, cuentan con conexiones a dos elementos más los cuales son el controlador de temperatura y el contactor **figura72**, que se encarga de proteger al controlador entregando la potencia a la resistencia solo cuando el controlador se lo ordena. Por otro lado es de vital importancia que se suba la temperatura en el controlador de 20 °C en 20°C con eso se evita fallos en el sistema que está diseñado para estar regulándose constantemente y de esta manera evitar errores generados por la inercia térmica. Cabe resaltar que todas las conexiones de estos dispositivos se deben hacer a 110V y conectores de más de 20 A.

figura 71 Placas con resistencia eléctrica



Fuente: Autor del proyecto

figura 72 Contactores y controladores



Fuente: Autor del proyecto

## **10.RESULTADOS OBTENIDOS**

Al realizar este proyecto se obtuvieron cálculos que permitieron llegar a un diseño óptimo de un prototipo de máquina de termo-compresión para materiales aglomerados. Que fomentará investigaciones en esta área, causando con esto el poder reutilizar materiales desechados por otros procesos y dándoles un nuevo ciclo de vida. A parte también se realizó un manual que permite explicar a todas las personas que deseen utilizar la máquina cuales son los elementos que la componen y de que manera operarla de forma correcta. Y por último se fabricó un material aglomerado del cual verifico la correcta operación de la máquina.

## **11.CONCLUSIONES**

- Con los conocimientos adquiridos durante pregrado, fue posible analizar desde distintos puntos de vista la manera correcta para Diseñar elementos sometidos a distintos tipos de esfuerzos y con esto garantizar un correcto funcionamiento del equipo. Esto fue fundamental para fabricar el prototipo de termo-conformado para materiales aglomerados.
- Al integrar los procesos de manufactura convencionales con los no convencionales permite contar con grandes herramientas que permiten solucionar inconvenientes a la hora de fabricar y construir distintos tipos de elementos.
- Con ayuda de la universidad se hace posible que los estudiantes puedan realizar prácticas donde aparte de afianzar sus conocimientos también se les permite colaborar retribuyendo estas oportunidades con la realización de equipos que beneficiaran a la gran mayoría de la comunidad universitaria.

- Es importante a la hora de realizar un diseño documentarse adecuadamente sobre los procesos y variables necesarias para el óptimo funcionamiento del equipo o prototipo que se desea fabricar, llevando al ingeniero a nuevos campos, que pueden ser desconocidos, pero permitiéndole afrontar retos de nuevos aprendizajes y trabajo multidisciplinario que fortalecen sus competencias.

## **12.RECOMENDACIONES.**

- Verificar con qué tipo de conexiones eléctricas funcionara el equipo y si es posible mejorar esas conexiones con protecciones adecuadas para el laboratorio donde será instalado.
- Crear mayor cantidad de moldes con el fin de variar un parámetro más respecto al espesor con que se realizara la fabricación
- Implementar un mecanismo que facilite el prensado sin requerir gran cantidad de esfuerzo físico.

## **13.AEXOS**

Los Anexos, como programas, dibujo de CAD, soluciones en CAE y fotografías de distintas partes del proceso se encontrarán dentro de la carpeta en el CD rotulado.

## REFERENCIAS:

### Bibliografía

- Almeida, M. E. (2012). *ELABORACIÓN DE TABLEROS AGLOMERADOS AUTO-ADHERIDOS A PARTIR DE FIBRA DE RAQUIS DE PALMA AFRICANA* . Quito: Escuela Politecnica Nacional .
- Álvarez, C., Capanema, E., Rojas, O., & Gañán, P. (2009). Desarrollo de tableros aglomerados auto-enlazados a partir de fibra de la vena central de la hoja de plátano. *Prospect*, 69-74.
- Álvarez, C., Capanema, E., Rojas, O., & Gañán, P. (2009). Desarrollo de tableros aglomerados auto-enlazados a partir de fibra de la vena central de la hoja de plátano. *Prospect*, 69-74.
- Beer, F., Johnston, R., Wolf, J. D., & Mazureck, D. (2006). *Mecánica de materiales*. Mexico DF: Mc Graw Hill.
- Beer, Jhonston, Mazrek, & Eisenberg. (2010). *Mecanica Vectorial para ingenieros estatica* . Mexico DF: Mc Graw Hill.
- Budynas, R. G., & Nisbet, K. (2008). *Diseño en Ingenieria mecánica de Shigley*. Mexico DF: Mc graw hill.
- Cengel, Y. A. (2007). *Tranferencia de calor y masa*. Mexico DF: Mc Graw Hill.
- Cengel, Y., & Cimbala, J. (2006). *Mecánica de fluidos*. Mexico DF: Mc Graw Hill.
- Dinero. (2015). Panorama desalentador para la palma africana. *Dinero*.
- El Espectador. (13 de 12 de 2014). Una educación para la innovación. *El espectador*.
- Garcia, G. (1984). *Ingenieria mecánica*. Ilionis: Instituto tencnologico de Ilionis.
- Herrera, j. F., rojo, Ú. M., Parra, S. B., & López, C. Á. (2010). Efecto de la temperatura de procesado sobre las propiedades mecánicas. *Prospect*, 75-80.
- Herrera, J. F., Rojo, Ú. M., Parra, S. B., & López, C. Á. (2011). Efecto de la temperatura de procesado sobre las propiedades mecánicas de tableros aglomerados sin resina sintética. *Prospect*, 75-80.
- Inverpal. (2014). *Inversiones aceite de palma*. Obtenido de <http://www.inverpal.com/datos-estadisticos-de-la-palma-africana/>
- ISO. (2011). Gana el desafío de energía con ISO 50001. *ISO focús*, 1-13.

- Lam, P. S., Lam, P. Y., Sokhansanj, S., Lim, C. J., Bi, X. T., Stephen, J. D., . . . Mabee, W. E. (2015). Steam explosion of oil palm residues for the production of durable. *Applied Energy*, 160-166.
- Ranjbar, N., Mehrali, M., Alengaram, U. J., Metselaar, H. S., & Jumaat, M. Z. (2014). Compressive strength and microstructural analysis of fly ash/palm oil fuel ash based geopolymer mortar under elevated temperatures. *Construction and Building Materials*, 114-121.
- Ranjbar, N., Mehrali, M., Alengaram, U. J., Metselaar, H. S., & Jumaat, M. Z. (2015). Durability and Mechanical Properties of Self-compacting Concrete Incorporating Palm. *Cleaner Production*, 1-28.
- Rivola, Rojo, Merino, G., & Arena. (2006). MATERIALES ALTERNATIVOS PARA LA FABRICACIÓN DE PLACAS DE AGLOMERADOS. *Universidad Tecnológica Nacional*.
- Rojas, L., & Viejo, F. (2013). OBTENCIÓN Y CARACTERIZACIÓN DE MATERIALES COMPACTADOS A PARTIR DE CÁSCARA DE YUCA PARA LA FABRICACIÓN DE TABLEROS DE YUCA. *Revista Colombiana de Materiales*, 158-163.
- Rojas, P. A. (2011). Prensas Hidráulicas para enchape. *Mueble y Madera*, 96-102.
- Rueda, J. A., & Caro, J. F. (2008). *MODELO FUNCIONAL DE INCUBADORA DE HUEVOS PARA LA INDUSTRIA AVICOLA*. Bucaramanga: Universidad Industrial de Santander.
- Sánchez., C. O. (2005). Tableros aglomerados: una Solución de Vivienda con carácter Social. *El mueble*.
- Torres, C. L. (2012). *Diseño e instalación de aislante termico en tuberias y equipos*. Sartenejas: Universidad Simón Bolívar.
- Zhao, K., Liu, Z., Yu, S., Li, X., Huang, H., & Li, B. (2014). Analytical energy dissipation in large and medium-sized hydraulic. *Cleaner Production*, 1-8.