

**DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA RÍGIDA  
PARA EL MONTAJE DE UN REACTOR BATCH AGITADO DE  
POLIMERIZACIÓN**

**WISNER JIMÉNEZ MAESTRE**

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,  
MECATRONICA E INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS**



**UNIVERSIDAD DE PAMPLONA**  
PAMPLONA, Junio 29 de 2016

# **DISEÑO Y CONSTRUCCIÓN DE UNA ESTRUCTURA RÍGIDA PARA EL MONTAJE DE UN REACTOR BATCH AGITADO DE POLIMERIZACIÓN**

**WISNER JIMÉNEZ MAESTRE**

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

**Director: WILLIAM JAVIER MORA ESPINOSA  
Ingeniero Mecánico Esp. Mantenimiento  
Wjme11@gmail.com**

**PROGRAMA DE INGENIERIA MECANICA  
DEPARTAMENTO DE INGENIERIA MECANICA,  
MECATRONICA E INDUSTRIAL  
FACULTAD DE INGENIERIAS Y ARQUITECTURAS  
UNIVERSIDAD DE PAMPLONA  
Pamplona, Junio 29 de 2016**

## DEDICATORIA

En primer lugar le dedico este triunfo a Dios ya que gracias a todas sus bendiciones he podido escalar un peldaño más en mi escalera de sueños, a Él todo le debo, para Él la gloria, la honra y la alabanza siempre.

A mis padres Rosiris Maestre Cárcamo y Pascual Jiménez Yance por darme la vida, brindarme amor, un buen hogar, por formarme como persona antes de ser profesional, por estar en las buenas y sobre todo en las malas y por el apoyo incondicional que siempre he encontrado y encontraré en ellos mientras Dios me lo permita.

A mis hermanos mayores Silvia Xilene Jiménez Maestre y Cristian Amilkar Jiménez Maestre que me aconsejan y siempre han estado presentes en cada etapa de mi vida.

A todos mis compañeros de estudio porque con su ayuda hicieron que el camino a la meta fuera más tolerable.

## **AGRADECIMIENTOS**

A la Universidad de Pamplona por permitirme realizar mis estudios con satisfacción, formarme como profesional y finalizar mi carrera universitaria con este proyecto de investigación.

A mi director de trabajo de grado William Javier Mora Espinosa por su ardua labor, tiempo y disponibilidad para llevar a cabo el cumplimiento de cada uno de los objetivos propuesto para el desarrollo de la investigación.

A los profesores Bladimir Ramón Valencia y Álvaro Eulalio Villamizar por las asesorías brindadas durante el propósito de la investigación.

Al semillero de investigación de Ansys por los conocimientos adquiridos para realizar la simulación de resistencia mecánica de la estructura.

Al personal del laboratorio de Soldadura y Máquinas Herramientas por la disponibilidad y el préstamo de los equipos e implementos requeridos para la construcción de la estructura.

## TABLA DE CONTENIDO

LISTA DE TABLAS .....	9
TABLA DE SIMBOLOS.....	10
<b>1. INTRODUCCION .....</b>	<b>11</b>
1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA.....	12
1.2 JUSTIFICACION .....	12
1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES.....	14
<b>1.3.1 Alcances.....</b>	<b>14</b>
<b>1.3.2 Limitaciones .....</b>	<b>14</b>
<b>2. ANTECEDENTES .....</b>	<b>15</b>
<b>3. OBJETIVOS .....</b>	<b>24</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL .....	24
3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	24
<b>4. ESTADO ACTUAL .....</b>	<b>25</b>
4.1 MATERIALES POLIMÉRICOS.....	25
4.2 MATERIALES TERMOPLÁSTICOS.....	25
<b>4.2.1 Termoestables.....</b>	<b>25</b>
<b>4.2.2 Clasificación.....</b>	<b>26</b>
4.3 REACTOR QUÍMICO .....	28
<b>4.3.1 Tipos de reactores químicos .....</b>	<b>28</b>
4.4 RESINA ALQUÍDICA TERMOESTABLE.....	30
4.5 TIPOS DE RESINAS ALQUÍDICAS.....	31
<b>5. CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA LA ESTRUCTURA DEL REACTOR.....</b>	<b>33</b>
5.1 DIBUJOS INICIALES.....	33
5.2 DIBUJO FINAL .....	34
<b>6. CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES .....</b>	<b>36</b>
6.1 CONDICIONES DEL MATERIAL .....	36
6.2 CÁLCULO DE ELEMENTOS A COMPRESIÓN .....	37
6.3 CÁLCULO DE ELEMENTOS A FLEXIÓN .....	42
6.4 CÁLCULO DE TORQUES Y FUERZA EN LAS ASPAS DEL AGITADOR .....	60
6.5 CÁLCULO DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD .....	61
6.6 CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN LOS EJES DE TRANSMISIÓN.....	62
<b>7. SIMULACION DE LA ESTRUCTURA .....</b>	<b>65</b>
<b>8. FABRICACIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL EQUIPO .....</b>	<b>71</b>
8.1 FABRICACIÓN .....	71
8.2 AJUSTES Y PUESTA A PUNTO .....	74
8.3 MANUAL BÁSICO DE OPERACIÓN .....	77
8.4 CONDICIONES DE OPERACIÓN .....	78
<b>9. RESULTADOS.....</b>	<b>79</b>
<b>10. CONCLUSIONES.....</b>	<b>80</b>
<b>11. RECOMENDACIONES.....</b>	<b>81</b>

**12. BIBLIOGRAFÍA .....82**

**13. ANEXOS .....85**

13.1 PIEZAS .....85

13.2 PLANOS.....85

13.3 RESUMEN EXTENDIDO.....85

13.4 ACTA DE SUSTENTACIÓN .....85

## LISTA DE FIGURAS

FIGURA 1. REACTOR DE TANQUE AGITADO .....	28
FIGURA 2. ESQUEMA DE UN REACTOR TUBULAR .....	29
FIGURA 3. REACTORES DE TANQUES HOMOGÉNEOS .....	29
FIGURA 4. REACTOR HETEROGÉNEO .....	30
FIGURA 5. VISTAS DE LA GEOMETRÍA INICIAL DE LA ESTRUCTURA PARA EL REACTOR A PARTIR DEL PROTOTIPO EXISTENTE.....	33
FIGURA 6. MODIFICACIÓN GEOMÉTRICA PARA DIVIDIR LAS CARGAS QUE SOPORTARÁ LA ESTRUCTURA DEL REACTOR .....	34
FIGURA 7. MÁQUINA AGITADORA .....	34
FIGURA 8. CONJUNTOS DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD Y REACTOR DE VIDRIO BOROSILICATO.....	35
FIGURA 9. MATERIAL UTILIZADO PARA LA CONSTRUCCIÓN DE LA ESTRUCTURA.....	36
FIGURA 10. ESTRUCTURA QUE SOPORTARÁ LA CARGA DEL REACTOR .....	37
FIGURA 11. ESTRUCTURA QUE SOPORTA LA CARGA DEL MOTOR Y EL REACTOR DE VELOCIDAD .....	40
FIGURA 12. VIGA CON CARGA DISTRIBUIDA Y APOYO EN LOS EXTREMOS.....	42
FIGURA 13. CORTE DE A HASTA B .....	43
FIGURA 14. CORTE DE B A C.....	44
FIGURA 15. CORTE DE C A D .....	45
FIGURA 16. VIGA CON CARGA DISTRIBUIDA Y REACCIONES EN LOS APOYOS .....	46
FIGURA 17. GRAFICA DEL CORTANTE DE LA VIGA .....	46
FIGURA 18. GRAFICA DEL MOMENTO DE LA VIGA .....	47
FIGURA 19. VIGA CON CARGA DISTRIBUIDA Y APOYO EN LOS EXTREMOS.....	48
FIGURA 20. CORTE DE A HASTA B .....	49
FIGURA 21. CORTE DE B A C.....	50
FIGURA 22. CORTE DE C A D .....	51
FIGURA 23. VIGA CON CARGA DISTRIBUIDA Y REACCIONES EN LOS APOYOS .....	52
FIGURA 24. GRAFICA DEL CORTANTE DE LA VIGA .....	52
FIGURA 25. GRAFICA DEL MOMENTO DE LA VIGA .....	53
FIGURA 26. VIGA CON CARGA DISTRIBUIDA Y APOYO EN LOS EXTREMOS.....	54
FIGURA 27. CORTE DE A HASTA B .....	55
FIGURA 28. CORTE DE B A C.....	56
FIGURA 29. CORTE DE C A D .....	57
FIGURA 30. VIGA CON CARGA DISTRIBUIDA Y REACCIONES EN LOS APOYOS .....	58
FIGURA 31. GRAFICA DEL CORTANTE DE LA VIGA .....	58
FIGURA 32. GRAFICA DEL MOMENTO DE LA VIGA .....	59
FIGURA 33. ENMALLADO DE LA ESTRUCTURA QUE SOPORTA LA CARGA DISTRIBUIDA DEL REACTOR .....	65
FIGURA 34. APOYO DE LA ESTRUCTURA DEL REACTOR .....	65
FIGURA 35. VIGAS QUE SOPORTAN LA CARGA DISTRIBUIDA DEL REACTOR .....	66
FIGURA 36. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN .....	66
FIGURA 37. ENMALLADO DE LA ESTRUCTURA QUE SOPORTA LA CARGA DISTRIBUIDA DEL MOTOR Y EL REDUCTOR DE VELOCIDAD.....	67
FIGURA 38. VIGA QUE SOPORTA LA CARGA DISTRIBUIDA DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD .....	67
FIGURA 39. SOPORTE FIJO DE LA ESTRUCTURA .....	68
FIGURA 40. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN .....	68
FIGURA 41. VIGAS QUE SOPORTAN LA CARGA DISTRIBUIDA DEL MOTOR Y EL REDUCTOR DE VELOCIDAD .....	69
FIGURA 42. RESULTADOS OBTENIDOS DE LA SIMULACIÓN .....	69
FIGURA 43. PROCESO DE CORTE .....	71
FIGURA 44. PROCESO DE SOLDADURA.....	71
FIGURA 45. PROCESO DE TALADRADO .....	72
FIGURA 46. PROCESO DE PULIDO DE LA CAJA DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD.....	72
FIGURA 47. CORTE DEL AISLANTE TÉRMICO .....	73
FIGURA 48. ALINEACIÓN DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD CON EL REACTOR .....	73

<b>FIGURA 49. CORTE Y AJUSTES DE LAS CUBIERTAS .....</b>	<b>74</b>
<b>FIGURA 50. INSTALACIÓN Y AJUSTES DEL MOTOR .....</b>	<b>74</b>
<b>FIGURA 51. INSTALACIÓN Y AJUSTE DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD .....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 52. INSTALACIÓN DEL VENTILADOR .....</b>	<b>75</b>
<b>FIGURA 53. INSTALACIÓN Y AJUSTE DEL REACTOR Y CONEXIÓN A LA RESISTENCIA .....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 54. INSTALACIÓN Y AJUSTE DEL SISTEMA DE CONTROL .....</b>	<b>76</b>
<b>FIGURA 55. CONFIGURACIONES ÓPTIMAS .....</b>	<b>77</b>
<b>FIGURA 56. PROTOTIPO INICIAL Y PROTOTIPO FINAL DE LA MÁQUINA AGITADORA .....</b>	<b>77</b>

## LISTA DE TABLAS

TABLA 1. SÍMBOLOS.....	10
TABLA 2. COMPARACIÓN ENTRE DATOS CALCULADOS Y DATOS SIMULADOS .....	70
TABLA 3. RESULTADOS OBTENIDOS .....	79

## TABLA DE SIMBOLOS

Símbolo	Término	Unidades en el S.I
A	Área	$m^2$
I	Momento de inercia	$m^4$
$L_e$	Longitud efectiva	m
$P_{cr}$	Carga crítica	N
E	Módulo de young	$\frac{N}{mm^2}$
$\sigma_{cr}$	Esfuerzo crítico	$\frac{N}{m^2}$
F.S	Factor de seguridad	Adimensional
W	Peso	Kg
M	Momento	KNm
F	Fuerza	N
P	Potencia	W
f	Frecuencia	Hz
T	Torque	Nm
d	Distancia	m
J	Momento de inercia	$m^4$
c	Radio	m
r	Radio	m
$\sigma_{Real}$	Esfuerzo Real	$\frac{N}{m^2}$
$\sigma_{Máx}$	Esfuerzo máximo	$\frac{N}{m^2}$

**Tabla 1. Símbolos**

**Fuente. Autor**

# 1. INTRODUCCION

Se entiende por resina cualquiera de las resinas naturales modificadas químicamente o sintéticos polimerizados físicamente similares, incluyendo los materiales termoplásticos tales como polivinil, poliestireno, y polietileno y materiales termorrígidos tales como poliésteres, epóxidos, y siliconas que son utilizados con los estabilizadores, pigmentos y otros componentes para formar los plásticos (Smith W. F., 2010).

Las resinas alquídicas son las más importantes resinas sintéticas pues su volumen total utilizado en recubrimientos de superficies supera ampliamente a las demás. Se usan en casi todos los tipos de recubrimientos de superficies, pinturas, esmaltes, lacas y barnices. Las principales materias primas para su producción son aceites refinados y/o ácidos grasos altamente insaturados como el aceite de soja y el aceite de linaza, la mayoría importados para la producción de resinas alquídicas en Colombia (Nosal, Nowicki, Warzańska, Nowakowska-Bogdan, & Zarębska, 2015).

Como otra alternativa para reducir los costos y el impacto ambiental se ha investigado la obtención de resinas alquídicas utilizando PET (poli etilentereftalato) reciclado, el cual se genera en una gran cantidad a nivel mundial. El uso del PET ha permitido producción de resinas alquídicas en emulsión, buscando la disminución de las emisiones de compuestos orgánicos volátiles, principalmente en países con alto desarrollo industrial en la comunidad Europea en general (Assanvo, Gogoi, Dolui, & Baruah, 2015).

En la actualidad, la Universidad de Pamplona no cuenta con un equipo especial que le permita la obtención de estos materiales, de ahí la importancia de diseñar y construir un equipo que facilite la obtención de estos materiales e incentive la investigación de los semilleros en dicha línea.

Además este proyecto destacará la importancia de la Ingeniería Mecánica en el campo de la Ingeniería Química aportando los conocimientos adquiridos durante la carrera en las áreas de diseño y materiales.

## **1.1 FORMULACIÓN DEL PROBLEMA**

Las resinas poliméricas que dan origen a los plásticos, provienen de productos derivados del petróleo o el gas natural, los cuales son también fuentes de energía. La extracción del petróleo y el gas es una industria muy contaminante de la naturaleza. Los plásticos son difíciles de reciclar, debido a los problemas que existen en separarlos por resinas. Una vez separados, algunos tipos de plástico están mejor adaptados al reciclaje que otros (Zhou, Feng, Peng, Qu, & Hao, 2014).

Es por eso que hace necesaria la investigación sobre nuevos tipos de resinas con mayor grado de biodegradabilidad para que sean amigables con el medio ambiente, con el fin, de minimizar el impacto ambiental, siendo un campo de investigación muy amplio pero con carencia de equipos dentro de los laboratorios de la universidad para desarrollarla.

## **1.2 JUSTIFICACION**

¿Por qué se planea hacer éste desarrollo?

Porque debido a la problemática ambiental mundial, se ve la necesidad de reemplazar los recursos no renovables convencionales por compuestos renovables, biodegradables, fácilmente disponibles y de bajo costo con el fin de producir productos ambientales ecológicos, ya que, la materia prima de la resina alquídica contiene entre (50-70 %) productos agrícolas, mientras que, la resina comercial en la actualidad contiene entre (50-70%) productos a base de petróleo. El costo de la resina alquídica es menor que el comercial, ya que utiliza más productos de base agro y menos energía. Por otra parte, las ventajas de las resinas alquídicas incluyen agro basada, energía eficiente, respetuoso del medio ambiente (Uzoh, Onukwuli, Odera, & Ofochebe, 2013).

Por tanto se obtiene una herramienta para los estudiantes de pregrado, docentes y estudiantes de postgrado al construir un equipo que puedan utilizar para ampliar su conocimiento en este campo.

¿A quién beneficia este desarrollo?

Con el equipo se beneficia no solo a los estudiantes del programa de ingeniería química, a los docentes que requieren prácticas en esta campo y las investigaciones que se adelanten en este campo a nivel de postgrados dentro de la Universidad de Pamplona. Además, los productos obtenidos, benefician al medio ambiente gracias a las ventajas que ofrecen estos materiales poliméricos de base biológica tales como su renovabilidad y biodegradabilidad (Assanvo, Gogoi, Dolui, & Baruah, 2015), además, en la actualidad,

existe la difícil tarea de reciclar las resinas poliméricas existentes y reducir la emisión de compuestos orgánicos volátiles (COV) en las resinas convencional es de 40%, mientras que en las resinas alquídicas es del 14% (Elrebii, Kamoun, & Boufi, 2015).

¿Por qué se hace este desarrollo y no otro?

Porque el desafío para la ciencia contemporánea es sustituir los productos a base de recursos no renovables por compuestos amigables con el medio ambiente, requiere un equipo que tenga las características de manejo de variables como velocidad de agitación, temperatura y tiempo de reacción, por lo que al desarrollar este trabajo se puede dar solución a una necesidad, aplicando los conocimientos adquiridos durante el proceso de formación en ingeniería Mecánica.

## **1.3 ALCANCES Y LIMITACIONES**

### **1.3.1 Alcances**

- La temperatura en el reactor agitador no superará los 250 °C.
- El motor del reactor debe tener instalado un sistema de refrigeración para que no se recaliente durante el proceso de obtención de la resina ya que debe trabajar a la máxima potencia y sin interrupciones durante 6 horas continuas para cada muestra.
- El proceso de obtención de la resina no será automatizado.
- La resina obtenida por el equipo, será caracterizada a flexión y tracción.
- El reactor funcionará bajo las condiciones mínimas requeridas (agitación y control de temperatura).

### **1.3.2 Limitaciones**

- El presente proyecto se limita al proceso de obtención de la resina, ya que este va a ser realizado por un estudiante del programa de Ingeniería Química como trabajo de grado.
- El tipo de resina obtenida determinará el tipo de probetas de ensayo, ya que pueden ser impregnada, moldeada o como recubrimiento.

## 2. ANTECEDENTES

Las resinas alquídicas son esencialmente la combinación de materias primas obtenidas de recursos renovables, como subproductos del procesamiento de grasas y aceites a través de la oleoquímica (Narváez P. D., 2004), estas materias primas pueden variar según las características finales que se desean obtener en el polímero y su aplicación.

Los polialcoholes que son una de las materias prima base para la obtención de resinas, se obtienen como subproducto de la reacción de transesterificación de aceites en la producción de biodiesel (Narváez P. M., 2015) como es el caso de la glicerina, esta puede ser usada directamente en la producción de resinas alquídicas (Cardona, 2010), es por esto que la degradabilidad puede aumentar haciendo que este tipo de productos tengan gran viabilidad e interés desde el punto de vista ecológico.

Existe una gran variedad de estudios realizados sobre la síntesis de resinas alquídicas basados en diferentes tipos de aceites y materias primas, esto basado en la búsqueda de producción con bajo costo y disponibilidad de materia. Cualquier tipo de aceite puede usarse en la síntesis de resinas alquídicas, las características finales de la misma varían según el aceite y su composición, por ello es de gran importancia hacer la caracterización y tratamiento previo del aceite a utilizar.

La selección del aceite se hace por la disponibilidad del mismo en la región y la problemática económica que presenta el aceite de palma, el cual es obtenido de la planta extractora Cooperativa Palmas Risaralda Ltda. (COOPAR), es un aceite que consiste principalmente en triglicéridos y pequeñas cantidades de componentes no glicéridos, los cuales incluyen ácidos grasos libres, trazas de metales, humedad e impurezas y componentes de menor importancia (Nanvae, 2013), los triglicéridos son en este caso los componentes de gran importancia para el proceso de producción de resinas.

Las consideraciones ambientales y energéticas hacen de los aceites triglicéridos jugar un papel clave durante el siglo XXI permitiendo sintetizar polímeros a partir de fuentes renovables. Polímeros basados en aceites de triglicéridos pueden prepararse mediante el uso de diversas estrategias; la elección de la estrategia es importante para tener éxito en la polimerización y en relación con la estructura del aceite y el monómero. La presencia de la cadena de ácido de aceite / grasa en la estructura del polímero mejora algunas propiedades físicas en términos de flexibilidad, adherencia, resistencias de agua y productos químicos. Debido a su origen y la naturaleza estructural, los aceites de triglicéridos pueden utilizarse ampliamente (Seniha Güner, 2006).

En bio-aplicaciones, su bio-compatibilidad y/o biodegradabilidad desempeñan un papel importante e incluso, solamente estos factores hacen de los aceites de triglicéridos, materias primas esenciales para ser utilizados en diversas aplicaciones.

Ya desde los años 1920 se hablaba de resinas alquídicas. A mediados de la década fue sintetizada por Kienle, quien combinó la tecnología ya conocida de la producción de resinas de poliéster basado en glicerol y anhídrido ftálico (los llamados Glyptals) con el conocimiento empírico de la producción de pinturas oleo resinosas ya existentes desde hace varios siglos. Kienle también clasificó la resina alquídica en tres grupos: de cadena larga, mediana y corta, una clasificación en la actualidad todavía en uso.

A gran escala la producción comercial de resinas alquídicas se inició en 1933 en General Electric y fue seguido por otras compañías después en 1935. Poco después comenzó la comercialización, las resinas alquídicas disfrutaron de un crecimiento explosivo, con la sustitución de los aceites como aglutinantes en las anticuadas pinturas oleo resinosas que ofrecen mucho mejor recubrimiento y propiedades a un precio muy atractivo (Hofland, 2012.).

En los últimos 5 años se han desarrollado diferentes investigaciones para la producción de resinas alquídicas con diferentes aceites vegetales.

En 2009, Antonio Díaz Barrios et al. (Venezuela), evaluaron la influencia del tipo y concentración de materia prima en el tiempo de reacción y propiedades finales de resinas alquídicas medias. Para ello, se realizó un estudio comparativo entre la formulación a partir de aceite de soja y aquellos en los que el aceite de soja fue sustituido por aceite de cártamo, y/o pentaeritritol fue sustituido parcialmente por glicerina. Las resinas obtenidas mostraron viscosidades, índices de acidez, porcentajes de sólidos y tiempos de reacción similares con las especificaciones de trabajo de la referencia de la soja. Todas las resinas obtenidas se utilizaron para formular barnices brillantes y determinar sus propiedades, lo que resulta en propiedades equivalentes en todos los casos (Díaz, 2009.).

En 2010, Sandra Cardona et al. (Colombia), llevaron a cabo el estudio de las principales variables de proceso en la obtención de monoglicéridos de ácidos grasos de aceite de ricino empleando glicerina refinada y cruda, En este estudio se reportó la producción de monoglicéridos de aceite de ricino por reacciones de glicerólisis usando glicerina refinada y cruda, subproducto del proceso de producción del biodiesel de palma. Además se emplearon catalizadores básicos como hidróxidos metálicos y óxido de plomo, y catalizadores ácidos como acetato de plomo. Los resultados señalan que los catalizadores basados en plomo proporcionaron mayores conversiones hacia los monoglicéridos que los

basados en sodio, potasio y calcio. Se encontró que una alta relación molar de aceite/glicerina fue una variable determinante que favorece altas concentraciones de monoglicéridos. Finalmente, se demostró que el uso de glicerina cruda para la producción de monoglicéridos es factible, aunque en este caso la concentración de monoglicéridos obtenidos se disminuye aproximadamente en un 20% debido, probablemente, al envenenamiento de los catalizadores (Cardona, 2010), esta es una parte muy importante en la primera reacción de síntesis.

En 2012, Shaker et al. (Egipto) obtuvieron cuatro resinas alquídicas modificadas por diversas cantidades de aceite de semilla de jojoba; se prepararon mediante un procedimiento de alcoholisis y poliesterificación; en la reacción se usó aceite de jojoba, glicerol, carbonato de calcio, ácido benzoico y anhídrido ftálico. Se evaluó el efecto del contenido de aceite en propiedades tales como el rendimiento de secado, espesor de película, solubilidad, viscosidad y el color de las resinas alquídicas. La resina alquídica con el mínimo contenido de aceite tuvo la mayor viscosidad y un color más claro, así como la propiedad de secado más rápido. Se encontró que los alquidos de jojoba son comparables con muestras comerciales. Sus películas tenían buena resistencia al agua, compuestos alcalinos, ácidos y disolventes, así como buen brillo, adherencia, impacto, dureza, flexión y flexibilidad (Shaker, 2012.).

También en el 2012, Monalisha Boruah et al. (India) llevaron a cabo la obtención de tres diferentes resinas alquídicas a partir de aceite de *Jatropha*, mediante la variación de la cantidad de anhídrido ftálico y maléico. Mediante proceso de alcoholisis con glicerol y óxido de plomo como catalizador a 230°C y poliesterificación con los diferentes ácidos polibásicos, el proceso de curado de la resina se llevó a cabo con metil cetona como indicador y octoato de cobalto sobre placas de vidrio a 80°C. La caracterización se dio a través de análisis de infrarrojo (FTIR) y ensayos fisicoquímicos estandarizados. Se encontró que la cantidad de anhídrido maléico utilizado juega un papel importante en el ajuste de las propiedades de estas resinas. Las estructuras de las resinas son confirmadas por FT-IR y espectros <sup>1</sup>H NMR. Las resinas poseen brillo, dureza, adherencia y resistencia química, que los hacen adecuados para el recubrimiento de una superficie, aglutinante para compuestos, entre otros. Además, la termoestabilidad de las resinas es bastante alta y la descomposición inicial de estas resinas no ocurre hasta en casi 330°C. Este estudio revela que el aceite de *Jatropha* se puede usar potencialmente como una materia prima para la industria de los recubrimientos (Boruah, 2012.).

Al año siguiente en 2013, Okon D. Ekpa and Ibanga O. Isaac. (Nigeria) llevaron a cabo la producción de resinas alquídicas basadas en aceite de semillas de melón, como respuesta a

la contaminación y degradabilidad de las resinas petroquímicas. Los polímeros obtenidos son biodegradables y más barato que los polímeros derivados del petróleo. El resultado GC-MS reveló que el aceite de semilla de melón contiene octadec-14,17-ácido dienoico (56,86%) como el ácido graso más abundante. Cuatro conjuntos de muestras de alquídico, fueron formulados mediante la variación del porcentaje de contenido de aceite de semilla de melón y se sintetizaron de acuerdo con el proceso de alcoholisis y poliesterificación. Se evaluó el efecto de la longitud del aceite y su concentración en las propiedades tales como; secado, dureza, brillo, color y resistencia química de las resinas alquídicas. Estas propiedades son comparables a las de las pinturas alquídicas de soja (Ekpa, 2013.).

En 2014, Montu Moni Bora et al. (India) estudiaron la posibilidad de utilizar aceites vegetales no comestibles, como una clase importante de bio-recursos para la producción de materiales poliméricos. El aceite de semilla de Karanja consta principalmente de triglicéridos y es una buena fuente de aceite vegetal no comestible para la síntesis de resina alquídica. Inicialmente los triglicéridos de aceite se transformaron a monoglicéridos por el proceso de glicerólisis. A continuación, el monoglicérido se hizo reaccionar con anhídrido ftálico y/o maléico para producir resinas alquídicas. Las resinas sintetizadas se caracterizaron por FT-IR y espectroscopia H NMR. La característica superficial de las resinas curadas se estudió por microscopía SEM. Se evaluaron las propiedades físico-químicas de las resinas, como el color, índice de acidez, el contenido de ácidos grasos libres y el valor de yodo (89). El rendimiento del revestimiento de las resinas curadas se ensayó mediante la medición de la resistencia química, estabilidad térmica, dureza de lápiz, brillo y adherencia. Se concluyó que el aceite de semilla de karanja posee las características de un aceite no secante, para los que la aplicación exitosa de sus resinas alquídicas como materiales de revestimiento requiere su mezcla con la resina epoxi y endurecedor epoxi para el curado. Las propiedades físicas de la resina epoxi mezclada y curada cumplen con el estándar requerido para la aplicación adecuada como material de revestimiento (Ataei, 2011.).

En el mismo año 2014, Montu Moni Bora et al. (India). Desarrollaron resinas alquídicas a partir de aceite de las semillas del árbol ornamental delfa amarilla (*Thevetia peruviana*) que contenían cerca de 62% de aceite con un valor de yodo de 71,4; las resinas alquídicas se sintetizaron mediante reacción en dos etapas alcoholisis y poliesterificación de este aceite con anhídrido ftálico y maléico. Las resinas alquídicas sintetizadas se caracterizaron por técnicas de espectroscopia FT-IR y <sup>1</sup>H RMN. Resinas se curaron mediante la mezcla con la resina epoxi. La característica superficial de las resinas curadas se estudió mediante análisis por SEM. Se evaluaron las propiedades físico-químicas de las resinas tales como índice de acidez, el contenido de ácidos grasos libres, índice de yodo, entre otras. El rendimiento del

revestimiento de las resinas curadas se ensayó mediante la medición de la resistencia química, estabilidad térmica, dureza de lápiz, brillo y adherencia; dando buenos resultados y obteniendo una fuente de materia prima en la producción de resinas para recubrimientos (Cardeño, 2013.).

En 2015, Edja F. Assanvo et al. (India) sintetizaron resinas alquídicas basadas en aceite *Ricinodendron heudelotii*. Este aceite es una buena fuente de ácidos grasos poliinsaturados, principalmente, una cadena  $\alpha$ -eostearico, con dobles enlaces de ácidos grasos conjugados. Tres conjuntos de resinas alquídicas largas de aceite fueron sintetizadas por un proceso en dos etapas, alcoholisis y poliesterificación a temperaturas relativamente bajas (190°C) con diferente proporción molar de anhídrido ftálico y maléico. Las resinas alquídicas sintetizadas se caracterizaron por FT-IR, 1H-RMN y 13C-RMN y cromatografía de permeación en gel (GPC). Las resinas alquídicas sintetizados se mezclan con la resina epoxi y peróxido de metil-etil-cetona-(MEKP) como iniciador, octoato de cobalto como acelerador y poliamina como endurecedor. Las mezclas se curaron a temperatura ambiente y también a 50°C. Las resinas curadas exhiben mejores características de rendimiento en términos de tiempo de secado, adhesión, dureza de lápiz, brillo y resistencia química; así como buena resistencia a la tracción, la mejora de alargamiento a la rotura y térmicamente estable hasta 400°C (Assanvo E. e., 2015.).

También en 2015, Hanna Nosal et al. (Polonia) llevaron a cabo el estudio de la síntesis y caracterización de resinas alquídicas basados aceite de *Camelina sativa* como una nueva materia prima renovable y poliglicerinas como polioles. La oligomerización de glicerol se llevó a cabo en presencia de LiOH 0,1% en peso a 245°C. El contenido total de diglicerol alcanzó su máximo después de 7 h. El producto de oligomerización sin un tratamiento adicional se sometió a la reacción de alcoholisis con aceite de camelina purificado. La resina alquídica se obtuvo después de policondensación de los productos de alcoholisis con anhídrido ftálico y maléico a 230 – 250°C. Se obtuvo un buen proceso para la síntesis de resinas alquídicas con algunas propiedades similares a productos equivalentes fabricados sobre la base de aceite semisecantes y pentaeritritol tales como flexibilidad y bajo tiempo de secado. Las películas de barniz formulados a partir de las resinas preparadas con pentaeritritol tenían niveles de dureza también ligeramente más altos que los obtenidos sobre la base de glicerol, diglicerol y poligliceroles. Todas las resinas sintetizadas a partir de aceite de linaza se caracterizaron por mejores propiedades de rendimiento. Este efecto fue esperado debido a un mayor grado de insaturación en el aceite de linaza que en el aceite de camelina (Nosal, Nowicki, WarzaÅ,a, Nowakowska-Bogdan, & ZarÄ™bska, 2015).

De los estudios realizados con aceites diferentes al aceite de palma, se observa que existe gran variedad de trabajos, con diferentes posibilidades de materias primas en cuanto a aceites vegetales; la característica más importante que se tiene en cuenta es el grado de insaturación o índice de yodo, esto determina si el aceite es secante o no secante, es decir, si la resina obtenida debe mezclarse con un epóxido para que pueda curar.

A continuación se muestran trabajos adelantados con aceite de palma como materia prima en la formulación de resinas alquídicas en los últimos cinco años.

En 2009, Issam and Cheun. (Malaysia). Realizaron un estudio sobre el efecto de utilizar aceite de palma en una nueva resina alquídica; utilizaron 55 % de aceite de palma con glicerol y anhídrido ftálico en la síntesis; la reacción de alcoholisis fue catalizada con óxido de calcio a 235°C. Se sintetizó una resina alquídica a base de aceite de palma (Alkyd-P) y se caracterizó con éxito. Al comparar los espectros FT-IR de una resina comercial alkyd-S y la resina alkyd-P, se confirmó las estructuras químicas con los grupos éster funcionales presentes. Los estudios establecieron que la excelente adherencia de Alkyd-P. Las dos resinas mostraron aproximadamente la misma solubilidad entre ocho tipos de disolventes. La dureza, resistencia al impacto y la viscosidad de la Alkyd-P fue menor comparada con alkyd-S, por lo que mostró su insuficiencia para producir una película dura, sin embargo, es adecuado para producir una película que requiere una alta capacidad de mojado como sellador (Islam, 2014.).

En 2011, Shahla Ataei et al. (Malasia) estudiaron el comportamiento cinético de la poliesterificación de las resinas alquídicas sintetizadas usando glicerol y anhídrido ftálico, modificadas con ácido oleico de aceite de palma a temperaturas entre 120 y 240 ° C. Tres resinas alquídicas que tienen contenidos de ácido oleico de 28, 40, y 65% se prepararon empleando el método del ácido graso. La extensión de la reacción de poliesterificación y el grado medio de polimerización se controlaron determinando el valor ácido de una alícuota de la mezcla de reacción a diversos intervalos de tiempo y midiendo el volumen de agua generado.

Los estudios cinéticos revelaron que las velocidades de reacción iniciales siguieron una cinética de segundo orden hasta cierto límite y, posteriormente, se observaron desviaciones. El avance de la reacción varió de 77.4 a 86.3% antes de decrecer para las tres muestras y exhibió un considerable grado de conversión. El peso molecular de las muestras alquídicas se determinó por GPC, el peso molecular promedio de las resinas alquídicas osciló 980 – 2070 (Ataei, 2011.).

En 2013, Alireza Azimi Nanvae et al. (Malasia). Este trabajo describe el uso de estearina de palma como sustituyente parcial de los aceites vegetales para polimerizar resinas alquídicas. Se empleó el proceso de fusión, ya que consume menos energía y produce menor contaminación química. Se formularon y sintetizaron a escala laboratorio, piloto e industrial cuatro tipos de resinas alquídicas basadas en la mezcla de aceites de linaza y castor. La etapa de alcoholisis se dio a través de reacción de mezcla de aceites con estearina y pentaeritritol, catalizados con hidróxido de litio a 240°C. el proceso de poliesterificación se dio con anhídrido ftálico y exceso de pentaeritritol, el seguimiento al avance y grado medio de polimerización se llevó a cabo mediante la medición del índice de acidez y la viscosidad de la mezcla de reacción a diversos intervalos de tiempo. El desempeño de las resinas sintetizadas para aplicaciones de recubrimiento se determinó utilizando la norma ASTM D 1640, 4366, 3559, 2794 y 1647. Los resultados indican que la resina alquídica sintetizada de la estearina de palma es una alternativa exitosa para sostener y proteger los recursos naturales, el medio ambiente y la energía (Nanvae, 2013).

En 2013, Fernando Cardéño et al. (Colombia) evaluaron la posibilidad de sustituir parcial o totalmente el aceite de Soja, por con tres tipos de aceites, higuerrilla, palma y fritura; después de su caracterización formularon las mezclas de aceites para reacción en la etapa de alcoholisis con glicerol, catalizados con NaOH; posteriormente efectúan la reacción de poliesterificación con una mezcla de anhídridos, polioles y un solvente. Todas las resinas obtenidas fueron evaluadas bajo normas estándar calculando contenido de no volátiles, viscosidad color e índice de acidez y se apoyó con técnicas de análisis instrumental como FTIR y TGA para corroborar los datos y verificar su hipótesis, concluyendo que es posible sustituir parcial o totalmente el aceite de soja por cada uno de los aceites incluso el de frituras (Cardéño, 2013.).

En el mismo año 2013, C.F. Uzoh et al. (Nigeria) llevaron a cabo el estudio de la utilización de aceite de palma en la síntesis de resinas alquídicas, el aceite de palma fue elegido para este estudio, dada su abundancia y renovabilidad. Se estudió la viabilidad de la síntesis de una resina alquídica de secado al aire a través de la polimerización de aceite de palma no secante. El aceite se analizó primero para determinar las propiedades fisicoquímicas y posteriormente fueron neutralizados y deshidratados. La síntesis de resina alquídica implica la reducción de los triglicéridos por alcoholisis, para obtener monoglicéridos de aceite de palma a 240°C, seguido por una modificación del grupo funcional con anhídrido ftálico a través de poliesterificación a 250°C. Se utilizó FT-IR para detectar la estructura química de enlaces éster presentes partir de la reacción de polimerización por condensación. Las propiedades fisicoquímicas del poliéster fueron estudiados en términos de velocidad de

secado, la solubilidad, resistencia a productos químicos, adhesión y resistencia a la abrasión. El resultado obtenido mostró que el poliéster basado en el aceite de palma tienen una alta velocidad de secado en presencia de agente de secado, presentan una excelente adherencia que indica una mejor protección del sustrato, y prometedora en la formulación de pintura (Esteves, Rodrigues, Boaventura, Maldonado-HÃ³dar, & Madeira, 2016).

En 2013, C.F. Uzoh et al. (Nigeria), realizaron la optimización del proceso de producción de resinas alquídicas a partir de aceite de palma no secante. Se empleó la metodología de superficie de respuesta (RSM) basado en el diseño giratorio central compuesto (CCRD); se trabajaron 30 experimentos con cuatro variables de proceso, en cinco niveles, con el objetivo de obtener una respuesta óptima con menor cantidad de experimentos. La resina curada fue obtenida por modificación de la estructura saturada del aceite de palma con glicerol, obteniendo monoglicéridos de ácidos grasos mediante alcoholisis, seguido por poliesterificación del grupo funcional insaturado con anhídrido ftálico. Los parámetros del proceso estudiados fueron temperatura de reacción, tiempo de reacción, concentración de catalizador y relación de anhídrido/monoglicéridos. El modelo predictivo que describe la conversión fraccional en términos de las variables del proceso se deriva del análisis de regresión múltiple. La conversión fraccional óptima de 97,28% se predijo en la temperatura de reacción de 240,61°C, tiempo de reacción de 150 min, concentración de catalizador de 0,03% y relación anhídrido/monoglicéridos de 0,38:1, para el proceso. El alcance de la reacción de policondensación de los monómeros en 120 min fue de más de 85%. El experimento de validación del modelo muestra una buena correspondencia entre el real (96,04%) y predicho (97,28%) (Hofland, 2012.).

En 2014, Muhammad Remanul Islam et al. (Malasia) sintetizaron resinas alquídicas basadas en aceite de palma mediante reacciones de esterificación y alcoholisis. Se utilizó óxido de calcio como un catalizador para la reacción de alcoholisis entre el aceite de palma y la glicerina. El proceso de esterificación se llevó a cabo mediante el uso de anhídrido ftálico y anhídrido maléico. Las propiedades fisicoquímicas de las resinas tales como la densidad, viscosidad, índice de acidez, índice de yodo, índice de saponificación, peso específico y el contenido de humedad se midieron a través de las normas ASTM y métodos estándar. La confirmación estructural y la densidad de hidrógeno de las resinas preparadas se realizaron por espectroscopia de infrarrojos por transformada de Fourier y de resonancia magnética nuclear, respectivamente. El peso molecular de las resinas se determinó mediante el uso de cromatografía de permeación en gel. El proceso de curado involucro calentamiento a 140°C, sin utilizar ningún disolvente orgánico en presencia de peróxido de metil-etil-cetona y naftenato de cobalto. Mediante métodos ASTM se midió el brillo, dureza y resistencia

química de las resinas. El comportamiento térmico fue observado por calorimetría diferencial de barrido y análisis termogravimétrico. Las resinas producidas se encontraron térmicamente estable hasta 300°C. Las variaciones en las propiedades que se observaron fueron debidas a los diferentes tipos de anhídridos en términos de peso molecular, la resistividad térmica y química de las resinas, aunque se encontraron que las demás propiedades son cercanas. En general, las propiedades reportadas son adecuadas para ser utilizados en aplicaciones de revestimiento de superficie (Issam, 2009.).

### **3. OBJETIVOS**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

- Diseñar y construir una estructura para el montaje de un reactor batch agitado de polimerización y caracterización mecánica de la resina obtenida.

#### **3.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Dibujar el reactor con la ayuda de una herramienta CAD como Solid Edge.
- Calcular los esfuerzos de la estructura manualmente.
- Validar los cálculos hechos mediante la simulación de un software de elementos finitos como Matlab o Ansys.
- Fabricar y poner a punto el equipo.

## 4. ESTADO ACTUAL

### 4.1 MATERIALES POLIMÉRICOS

Están formados por muchas partes químicamente enlazadas como unidades enlazadas entre sí para formar un sólido (Smith W. F., 2010).

Los materiales poliméricos importantes en la industria son: **los plásticos y los elastómeros**. Los plásticos son un grupo de materiales sintéticos que se procesan mediante el moldeo de la forma. Pueden dividirse en dos clases, **termoplásticos y termoestables**, dependiendo de la estructura química de su enlace (Askeland, 2010).

Los elastómeros o cauchos pueden deformarse grandemente de forma elástica cuando se les aplica una fuerza y pueden volver a su forma original (o casi) cuando se elimina la fuerza (Smith W. F., 2010).

Los plásticos son materiales importantes para la ingeniería por muchas razones. Presentan gran variedad de propiedades, algunas de las cuales son inalcanzables para otros materiales, y en la mayoría de los casos son relativamente de bajo precio. El uso de plásticos para diseños en ingeniería mecánica ofrece muchas ventajas incluyendo la posibilidad de eliminación de piezas en ingeniería mediante el diseño con plásticos, eliminación de muchas operaciones de acabado, simplificación del montaje, eliminación de peso, reducción de ruido, y, en algunos casos la eliminación de la necesidad de lubricación de algunas piezas (Pippola, Marttila, & Frisk, 2014).

### 4.2 MATERIALES TERMOPLÁSTICOS

Necesitan calor para hacerlos deformables y después de enfriarse mantienen la forma a la que fueron moldeados. Estos materiales pueden calentarse y volver a moldearlos un buen número de veces sin cambio significativo de sus propiedades. La mayoría de los termoplásticos consisten en cadenas principales muy largas de átomos de carbono enlazados entre sí. En los termoplásticos las largas cadenas moleculares se enlazan entre sí mediante enlaces secunda. Dentro de los termoplásticos se destacan: Polietileno, Polipropileno, PVC, Poliestireno, Poliamida (nylon), Metacrilato, Poliéster, Policarbonato, Teflón, entre otros (Smith W. F., 2010).

#### 4.2.1 Termoestables

Los plásticos termoestables que adquieren una forma permanente y son curados mediante una reacción química, no pueden ser fundidos y remodelados en otra forma, sino que se degradan o descomponen al ser calentados a temperaturas demasiado altas. Por ello, los

plásticos termoestables no pueden reciclarse. El término estable implica que el calor es necesario para que el plástico mantenga permanentemente su forma. La mayoría de los plásticos termoestables consisten en una red covalente de átomos de carbono enlazados entre sí para formar un sólido rígido (Smith W. F., 2010).

Poseen una estructura molecular en red de enlaces covalentes primarios. Algunos plásticos termoestables generan entrecruzamiento por el calor o mediante combinación de calor y presión. Otros pueden entrecruzarse por una reacción química a temperatura ambiente (termoestables fraguados en frío). Aunque las piezas curadas hechas de plásticos termoestables pueden ablandarse por el calor, el entrecruzamiento de sus enlaces covalentes evita que vuelvan al estado fluido que existía antes de que la resina plástica se curase (Askeland, 2010).

Algunas veces el nitrógeno, oxígeno y azufre se enlazan de forma covalente en la red de la estructura reticular del plástico termoestable (Smith W. F., 2010).

#### **4.2.2 Clasificación**

##### **➤ Resinas fenólicas**

Se forman por policondensación de los fenoles (ácido fénico o fenol) y el formaldehído o formol. Este último es el estabilizador de la reacción. Su proporción en la solución determina si el material final es termoplástico o termoestable (Smith W. F., 2010).

##### **➤ Aplicaciones**

Las resinas fenólicas se utilizan en el laminado de algunos tipos de contrachapados y en tableros de partículas de madera. Además se utilizan como material de unión de la arena de fundición y revestimiento de moldes (Smith W. F., 2010).

##### **➤ Resinas epoxy**

Se obtienen por reacción del difenilolpropano y la epiclohidrina. Según las cantidades en que se adicionan los constituyentes y las condiciones en que se efectúan las reacciones se obtienen resinas sólidas, viscosas o líquidas (Askeland, 2010).

Se caracterizan por tener dos o más grupos epoxy por molécula (Smith W. F., 2010). Son, en pocas palabras, termoplásticos endurecidos químicamente. Se obtienen las propiedades características por reticulación de las moléculas epoxídicas bifuncionales con agentes endurecedores (Askeland, 2010).

➤ **Aplicaciones**

Las resinas epoxy se utilizan para una gran variedad de revestimientos protectores y decorativos por su buena adhesión y gran resistencia mecánica y química. Los usos típicos son los revestimientos de latas y bidones, aisladores de alto voltaje, imprimaciones de automóviles y aparatos, revestimiento de cables, entre otros (Smith W. F., 2010).

➤ **Resinas de poliésteres insaturados**

Se obtienen por poliesterificación de poliácidos con polialcoholes. Se caracterizan por tener dobles enlaces de carbono-carbono reactivos que pueden ser entrecruzados para formar materiales termoestables. En combinación con fibras de vidrio, los poliésteres forman materiales compuestos reforzados de gran resistencia (Askeland, 2010).

El enlace éster puede producirse por la reacción de un alcohol con un ácido orgánico (Smith W. F., 2010).

➤ **Aplicaciones**

Los poliésteres insaturados reforzados con vidrio se utilizan para hacer paneles de automóviles y piezas de la carrocería. También se utiliza para los cascos de barcos pequeños y en la industria de la construcción para paneles y en componentes del cuarto de baño. Además se utilizan para tubos, tanques y conductos donde se requiere buena resistencia a la corrosión (Askeland, 2010).

➤ **Aminorresinas (Ureas y melaminas)**

Son materiales poliméricos termoestables formadas mediante la reacción controlada del formaldehído con diferentes compuestos que contengan el grupo amino NH<sub>2</sub>. Los dos tipos más importantes de aminorresinas son la urea-formaldehído y la melamina-formaldehído (Smith W. F., 2010).

➤ **Aplicaciones**

Se utilizan para placas eléctricas de pared y para mangos y botones. Las resinas solubles al agua de urea, y de melamina encuentran aplicaciones como adhesivos y resinas de unión para tablas de madera y contrachapado, cascos de barcos, suelos y uniones de muebles (Smith W. F., 2010).

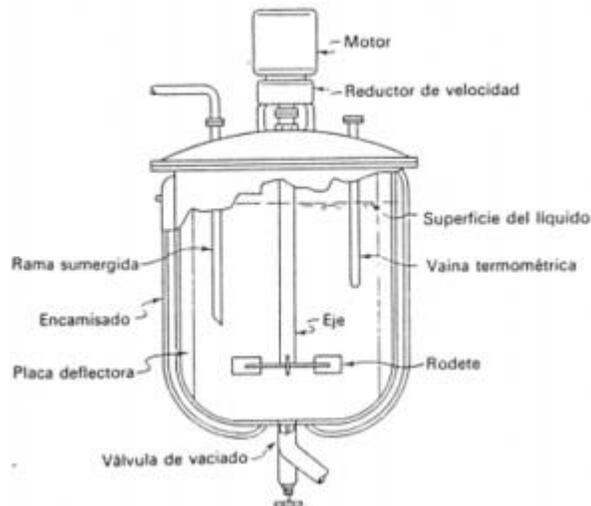
### 4.3 REACTOR QUÍMICO

Es un dispositivo donde ocurre un cambio en la composición debido a una reacción química. Las reacciones químicas a nivel industrial (procesos unitarios) son las operaciones que tienen por objeto redistribuir los átomos de las especies reactivas para formar los productos de la reacción (Smith J., 2010).

#### 4.3.1 Tipos de reactores químicos

Los reactores químicos se clasifican típicamente según la dinámica del flujo, geometría, fases presentes y el régimen térmico. De acuerdo con el primer criterio los sistemas pueden ser discontinuos o continuos, según que el proceso se realice por cargas o con flujo ininterrumpido de alimentación y descarga (también existen reactores semicontinuos); atendiendo al segundo criterio los reactores se dividen en dos grandes tipos (Smith J., 2010):

- **Tanques agitados:** recipientes en general cilíndricos, empleados para operaciones discontinuas (batch) o continuas (CSTR) con mezcla.



*Figura 1. Reactor de Tanque agitado*

*Fuente. (Zhou, Feng, Peng, Qu, & Hao, 2014)*

- **Reactores tubulares:** normalmente cilindros alargados de gran longitud relativa a su diámetro, empleados en operaciones continuas (TFR) para llevar a cabo reacciones con gases.

Fuente. (Assanvo E. e., 2015.)

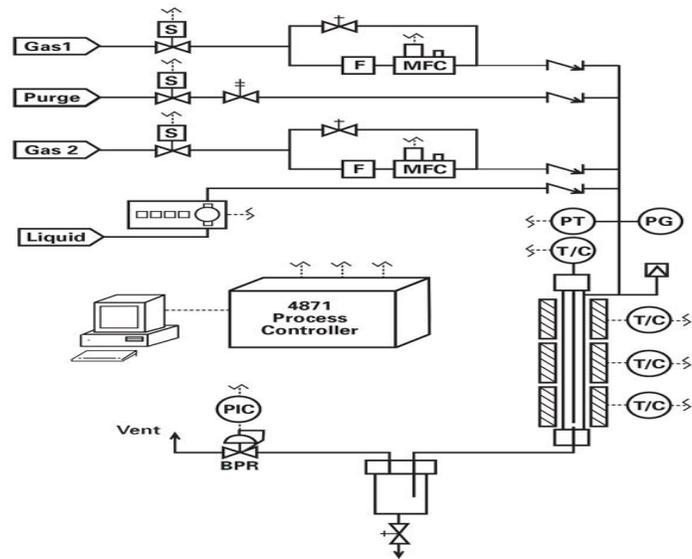


Figura 2. Esquema de un reactor tubular

Fuente. (Assanvo E. e., 2015.)

- Los **reactores homogéneos**: son aquellos donde los reactivos, inertes y/o catalizadores se hallan en la misma fase (líquido en reactores tipo tanque agitado o gases en los tubulares), pueden ser de chaqueta, serpentines o intercambiador de calor externo (Smith J. , 2010).

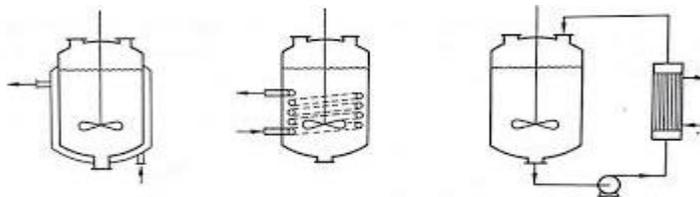
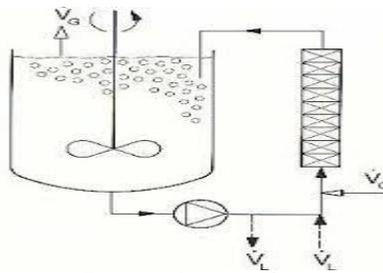


Figura 3. Reactores de tanques homogéneos

Fuente. (Bashiri, Alizadeh, Bertrand, & Chaouki, 2015)

- **Reactores heterogéneos**: involucran dos o más fases reactivas (gas-sólido, líquido-gas, sólido-líquido o líquido-líquido), de contacto en torres o reactores agitados (Smith J. , 2010).



**Figura 4. Reactor heterogéneo**

Fuente: (Boruah, 2012.)

#### 4.4 RESINA ALQUÍDICA TERMOESTABLE

Las resinas alquídicas hacen un importante grupo de polímeros sintéticos comerciales. Ellos son ampliamente utilizados en la industria de recubrimiento y pintura y se han convertido en materias primas esenciales que se utilizan en la producción de metales, madera y materiales de madera como muebles y suelos, adhesivo, laca, cemento, cemento-cal y revoques de yeso. Las materias primas comúnmente utilizados para la producción de resinas alquídicas, además de los aceites vegetales como el aceite de soja, el aceite de linaza y el aceite de palma, son pentaeritritol y anhídrido ftálico (Assanvo, Gogoi, Dolui, & Baruah, 2015).

Las resinas alquídicas se preparan a partir de la condensación de alcoholes polihidroxilados, ácidos polibásicos y ácidos grasos monobásicos o aceites. Las variaciones en la cantidad y tipos de componentes dan enormes variedades de resinas con diferentes propiedades. Otras propiedades únicas de las resinas alquídicas son el alto brillo, la retención de brillo, buena adhesión, buen calor, resistencia a los disolventes, flexibilidad y durabilidad (Nosal, Nowicki, WarzaÅ,a, Nowakowska-Bogdan, & ZarÄ™bska, 2015).

El tipo de aceite seleccionado para la producción de resinas alquídicas por lo general tiene un profundo efecto en las propiedades mecánicas de las resinas alquídicas (Dutta, Karak, & Dolui, 2004).

Una propiedad importante de resinas alquídicas es su capacidad de curar. Está condicionado por la presencia de enlaces insaturados en las cadenas de ácidos grasos, pero sobre todo por la presencia de grupos funcionales libres (hidroxilo y carboxilo), tanto en los grupos de límites y en los grupos laterales de las estructuras formadas. La distribución y el número de grupos hidroxilo en los polioles son críticos para las propiedades de secado de la resina, para la estructura del polímero obtenido, y por lo tanto también para las propiedades de la resina (Nosal, Nowicki, WarzaÅ,a, Nowakowska-Bogdan, & ZarÄ™bska, 2015).

Sin embargo, las resinas alquídicas carecen de las propiedades importantes, tales como baja resistencia mecánica y dureza, estabilidad térmica. Estos inconvenientes se pueden mejorar mediante la mezcla de resinas alquídicas con otras resinas tales como resina epoxi, resina amino, resina de silicona, y resina cetónico (Zhao, Liu, Peng, Liao, & Wang, 2015).

#### **4.5 TIPOS DE RESINAS ALQUÍDICAS**

##### **➤ Aceite de semillas de camelina**

Extraído de la semilla de Camelina puede ser una materia prima interesante para la síntesis de resinas alquídicas. Puede cultivarse en suelos de muy mala calidad y devastada por las actividades industriales y mineras, prácticamente sin uso de herbicidas y pesticidas. Como puede cultivarse en suelos débiles, puede permitirnos volver a activar estas las áreas agrícolas que han sido hasta ahora apenas explotadas y para recibir cantidades adicionales de aceites vegetales al mismo tiempo. Estas ventajas son la razón por la cual las semillas de Camelina se están volviendo más y más popular en los últimos años y su superficie de cultivo se está expandiendo (Nosal, Nowicki, Warza, Nowakowska-Bogdan, & Zarębska, 2015).

El uso de aceite de camelina en la síntesis resina alquídica puede ayudar a reducir el coste global de fabricación por el uso de un material ligeramente más barato. A este respecto, una reducción significativa de los precios de resina promoverá el uso de poliglicérols para la síntesis resina alquídica. Poliglicérols se pueden obtener a partir de glicerol. La principal fuente de glicerol en el mercado europeo (alrededor de 900.000 t / año) es la industria del biodiesel (Kong, Liu, Qi, & Curtis, 2013).

##### **➤ Aceite de palma**

El aceite de palma se obtiene del fruto de la palma (*Elais guineensis*) originaria del golfo de Guinea, en África Occidental; consiste principalmente en glicéridos y pequeñas cantidades de componentes no glicéridos, los cuales incluyen ácidos grasos libres, trazas de metales, humedad e impurezas y componentes de menor importancia (Uzoh, Onukwuli, Odera, & Ofochebe, 2013) Su producción mundial tuvo un enorme aumento en las últimas décadas debido a su gran aplicación industrial (Uzoh, Onukwuli, Odera, & Ofochebe, 2013).

Su caracterización se lleva a cabo a través de normas técnicas estándar y la formulación para la síntesis de la resina se realiza teniendo en cuenta un polialcohol y un ácido polibásico, además del aceite (Gogoi, Boruah, Bora, & Dolui, 2014).

El proceso de síntesis se lleva a cabo en dos etapas diferentes: primero, alcoholisis del aceite, la cual se realiza con el polialcohol y el aceite neutralizado y deshidratado, en presencia de un catalizador a 230°C y en segundo lugar, la poliesterificación de los

monoglicéridos de ácidos grasos obtenidos, mediante la adición del ácido polibásico también a 230°C (Uzoh, Onukwuli, Odera, & Ofochebe, 2013).

➤ **Aceite de ricinodendron heudelotii**

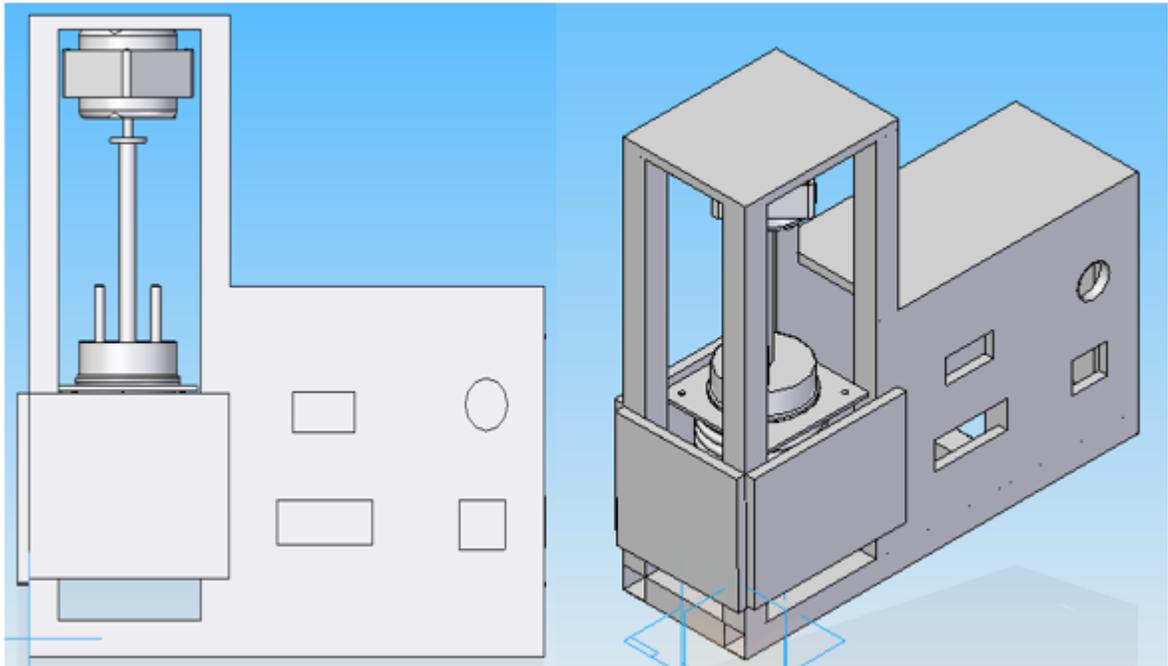
*R. heudelotii* es un árbol de rápido crecimiento perteneciente a la familia Euphorbiaceae. Crece de forma natural en los bosques tropicales en África. Debido al alto nivel de ácido poliinsaturado y el índice de yodo, las resinas alquídicas a partir del aceite de *R. heudelotii* son un candidato potencial renovable para la preparación de aglutinante de secado rápido y resinas adecuadas para aplicaciones de revestimiento de superficie y la industria (Assanvo, Gogoi, Dolui, & Baruah, 2015).

Entre otros tipos de resinas alquídicas se encuentran las que se producen a partir de aceite de soja, aceite de linaza, y el aceite de semilla de tabaco (Odetoye, Ogunniyi, & Olatunji, 2010).

## 5. CONSIDERACIONES DE DISEÑO PARA LA ESTRUCTURA DEL REACTOR

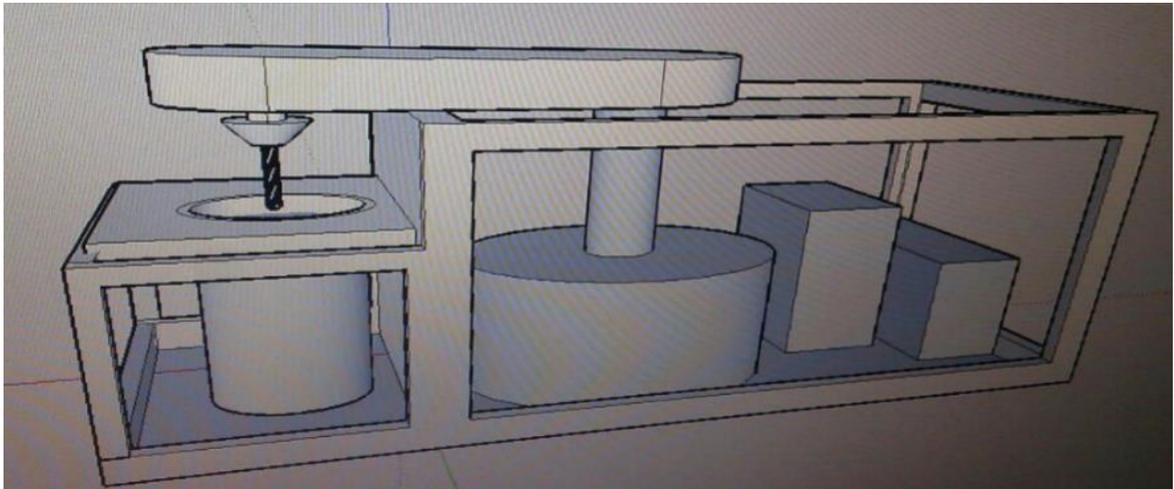
Teniendo en cuenta las variables de velocidad de agitación, temperatura, cargas a soportar y tipos de materia prima para obtención de resinas, se procede a iniciar la etapa de diseño del equipo.

### 5.1 DIBUJOS INICIALES



*Figura 5. Vistas de la geometría inicial de la estructura para el reactor a partir del prototipo existente*

*Fuente. Autor*

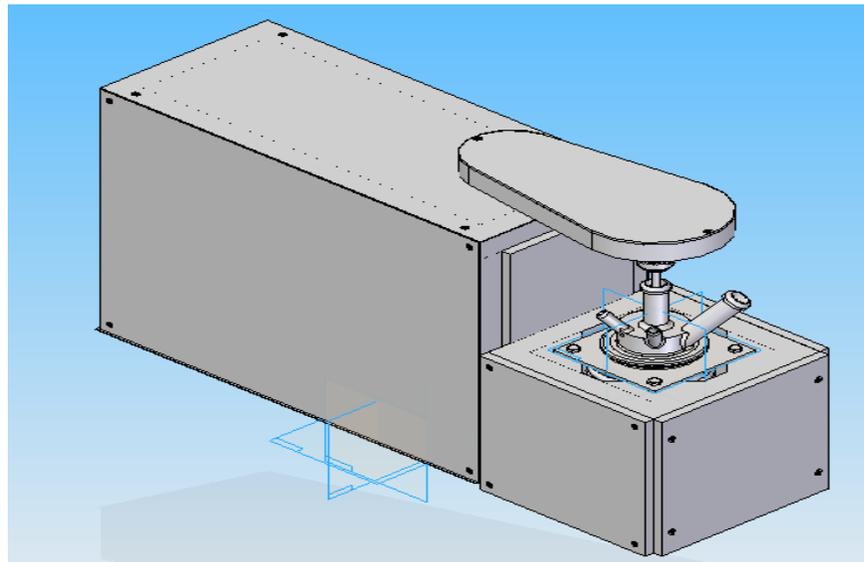


*Figura 6. Modificación geométrica para dividir las cargas que soportará la estructura del reactor*

*Fuente. Autor*

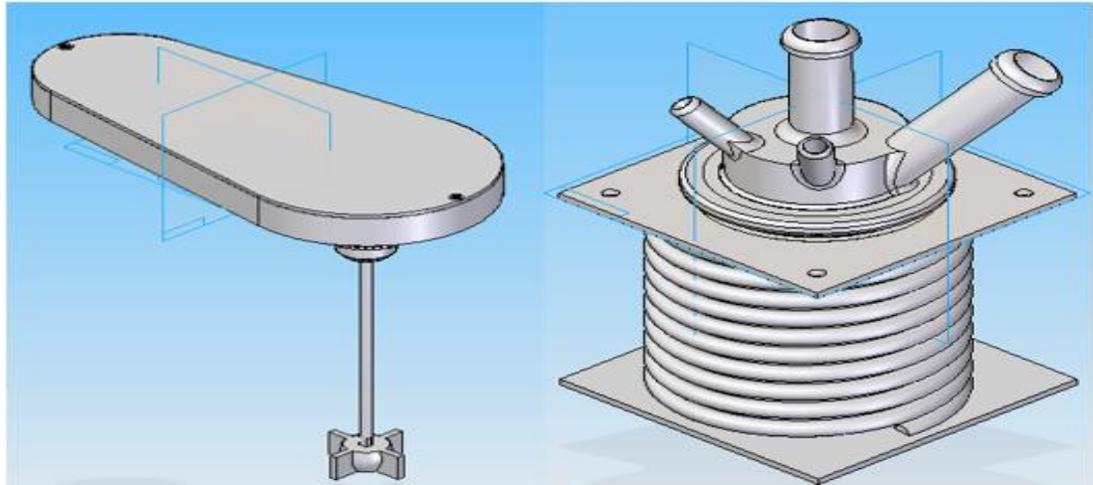
## 5.2 DIBUJO FINAL

Una vez verificadas las condiciones de operación que se requieren, se opta por una geometría específica y se selecciona la disposición final de los componentes, presentando el bosquejo definitivo sobre el que se va a realizar los cálculos de los mismos para selección de materiales y posterior construcción.



*Figura 7. Máquina agitadora*

*Fuente. Autor*



**Figura 8. Conjuntos del Reductor de velocidad y reactor de vidrio borosilicato**

**Fuente. Autor**

En este diseño se tiene en cuenta las dimensiones del recipiente de reacción, el agitador, la coraza del recipiente, la dimensión de la resistencia eléctrica, las condiciones del reductor y el motor, así como las condiciones de operación del equipo después de ensamblado.

## 6. CÁLCULO DE ESFUERZOS Y DEFORMACIONES

A continuación se presentan los cálculos realizados a la estructura del equipo, teniendo en cuenta las cargas que debe soportar, la temperatura y el uso.

La geometría del material utilizado es tubo cuadrado hueco, para permitir una mejor distribución de las cargas, mejores acabados superficiales, mayores áreas de ensamble de cubiertas y también facilidad de adquisición.

### 6.1 CONDICIONES DEL MATERIAL.

Perfil cuadrado de 1 pulgada con espesor de pared de 0.69 mm.



Figura 9. Material utilizado para la construcción de la estructura

Fuente. Autor

#### ➤ Cálculo de parámetros básicos.

#### Área útil

##### Ecuación 1

Fuente. (Ferdinand P. Beer, 2013)

$$\begin{aligned} A &= A_1 - A_2 \\ A &= (0.025 \text{ m})^2 - (0.02402 \text{ m})^2 \\ A &= 4.80396 * 10^{-5} \text{ m}^2 \end{aligned}$$

#### Momento de inercia

##### Ecuación 2

Fuente. (Ferdinand P. Beer, 2013)

$$\begin{aligned} I &= I_1 - I_2 \\ I_1 &= \frac{1}{12} bh^3 \end{aligned}$$

$$I_2 = \frac{1}{12}bh^3$$

$$I_1 = \frac{1}{12}(0.025\text{ m})(0.025\text{ m})^3$$

$$I_1 = 3.25 * 10^{-8}\text{ m}^4$$

$$I_2 = \frac{1}{12}(0.02402\text{ m})(0.02402\text{ m})^3$$

$$I_2 = 2.77 * 10^{-8}\text{ m}^4$$

$$I = 3.25 * 10^{-8}\text{ m}^4 - 2.77 * 10^{-8}\text{ m}^4$$

$$I = 4.8 * 10^{-9}\text{ m}^4$$

## 6.2 CÁLCULO DE ELEMENTOS A COMPRESIÓN

- Columnas de la estructura que soportan la carga del reactor.

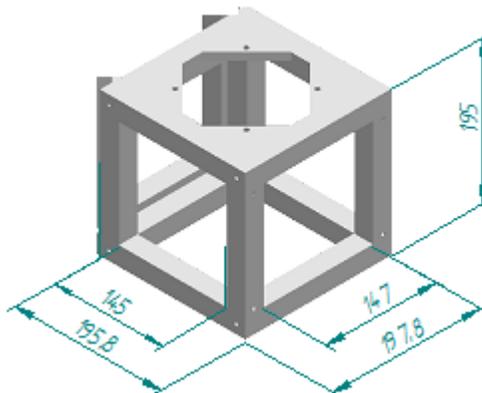


Figura 10. Estructura que soportará la carga del reactor

Fuente. Autor

Como se observa en la figura, la estructura posee cuatro columnas las cuales deben repartir el peso del reactor, por lo tanto se realizan los cálculos para garantizar que no existan deformaciones.

- Longitud efectiva

$$L_e = \frac{144.2}{1000} = 0.1442\text{ m}$$

### ➤ Carga Crítica

#### Ecuación 3

Fuente. (Ferdinand P. Beer, 2013)

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 EI}{L_e^2}$$

$$E = 210.000 \frac{N}{mm^2} \quad \text{Módulo de elasticidad para acero laminado en frío}$$

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 210000 \frac{N}{mm^2} * \left(\frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}\right)^2 * 4.8 * 10^{-9} \text{ m}^4}{(0.1442 \text{ m})^2}$$

$$P_{cr} = 478442.5 \text{ N}$$

Carga crítica que soporta cada columna de tubo cuadrado de acero laminado en frío.

### ➤ Esfuerzo crítico

#### Ecuación 4

Fuente. (Ferdinand P. Beer, 2013)

$$\sigma_{cr} = \frac{P_{cr}}{A}$$

$$\sigma_{cr} = \frac{478442.5 \text{ N}}{4.80396 * 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{cr} = 9967552083 \frac{N}{m^2}$$

Esfuerzo crítico que soporta cada columna.

### ➤ Factor de seguridad

#### Ecuación 5

Fuente. (Ferdinand P. Beer, 2013)

$$F.S = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{perm}}$$

$$F.S = \frac{9967552083 \frac{N}{m^2}}{3.1715 * 10^9 \frac{N}{m^2}}$$

$$F.S = 3.1428$$

Factor de seguridad de una columna con longitud efectiva de 0,1442 m y carga crítica de 478,442 KN.

Para nuestro caso el reactor con los reactivos, el agitador, las resistencias y el recipiente posee una carga máxima de 1,256 kg. Transformando este valor a Newtons obtenemos 12,30 N, que sería la carga real que le aplicamos a las columnas. Por tanto el factor de seguridad sería:

➤ **Esfuerzo real**

**Ecuación 6**

**Fuente.** (Ferdinand P. Beer, 2013)

$$\sigma_{Real} = \frac{P_{Real}}{A}$$
$$\sigma_{Real} = \frac{12,30 \text{ N}}{4.80396 * 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{Real} = 256221.95 \frac{N}{m^2}$$

$$F.S = \frac{\sigma_{Perm}}{\sigma_{Real}}$$

$$F.S = \frac{3.1715 * 10^9 \frac{N}{m^2}}{256221,95 \frac{N}{m^2}}$$

$$F.S = 12377,9$$

Factor de seguridad para las columnas del reactor con el valor de carga critica.

Se puede observar que mecánicamente es una columna extremadamente sobrediseñada, con ese valor del F.S, pero debido a la facilidad de aplicación de procesos de manufactura, economía y facilidad de adquisición en el mercado local, poca dilatación térmica en temperaturas de 300°C de trabajo, es el material más viable para la construcción del reactor.

- Columnas de la estructura que soportan la carga del motor y el reductor de velocidad.

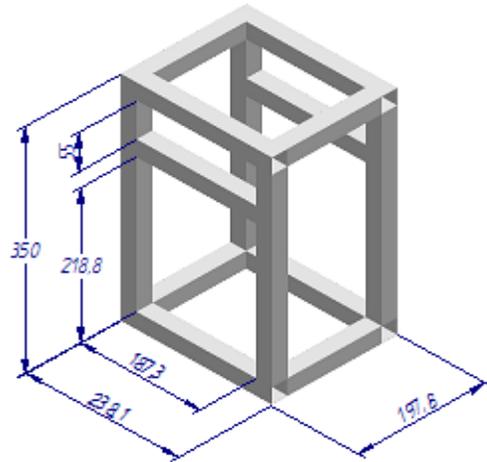


Figura 11. Estructura que soporta la carga del motor y el reductor de velocidad

Fuente. Autor

- Longitud efectiva

$$L_e = \frac{299.2}{1000} = 0.2992 \text{ m}$$

- Carga crítica

$$P_{cr} = \frac{\pi^2 * 210000 \frac{N}{mm^2} * \left(\frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}}\right)^2 * 4.8 * 10^{-9} \text{ m}^4}{(0.2992 \text{ m})^2}$$

$$P_{cr} = 33250.54 \text{ N}$$

- Esfuerzo crítico

$$\sigma_{cr} = \frac{33250.54 \text{ N}}{4.80396 * 10^{-5} \text{ m}^2}$$

$$\sigma_{cr} = 692148560.8 \frac{N}{m^2}$$

- Factor de seguridad

$$F.S = \frac{692148560.8 \frac{N}{m^2}}{3.1715 * 10^9 \frac{N}{m^2}}$$

$F.S = 0.218$  Factor de seguridad para una columna de longitud efectiva 0,2992 m y carga crítica de 33250,54 N

Para nuestro caso el motor y el reductor, poseen una carga máxima de 3.3 kg. Transformando este valor a Newtons 32.34 N, que sería la carga real que le aplicamos a las columnas. Por tanto el factor de seguridad sería:

➤ **Esfuerzo real**

$$\sigma_{Real} = \frac{P_{Real}}{A}$$

$$\sigma_{Real} = \frac{32.34 N}{4.80396 * 10^{-5} m^2}$$

$$\sigma_{Real} = 673194.61 \frac{N}{m^2}$$

➤ **Factor de seguridad**

$$F.S = \frac{\sigma_{Perm}}{\sigma_{Real}}$$

$$F.S = \frac{3.1715 * 10^9 \frac{N}{m^2}}{673194.61 \frac{N}{m^2}}$$

$$F.S = 4711.2$$

Factor de seguridad para las columnas del reactor con el valor de carga crítica.

Se puede observar que mecánicamente es una columna extremadamente sobrediseñada, con ese valor del F.S, pero debido a la facilidad de aplicación de procesos de manufactura, economía y facilidad de adquisición en el mercado local, poca dilatación térmica en temperaturas de 300°C de trabajo, es el material más viable para la construcción del reactor.

### 6.3 CÁLCULO DE ELEMENTOS A FLEXIÓN

- Cálculo de flexión para las vigas de la estructura que soportan la carga distribuida del reactor.

$$W = \frac{1.256 \text{ kg}}{4}$$

$$W = \frac{0.314 \text{ kg}}{0.095 \text{ m}}$$

$$W = 3.30 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 32.34 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

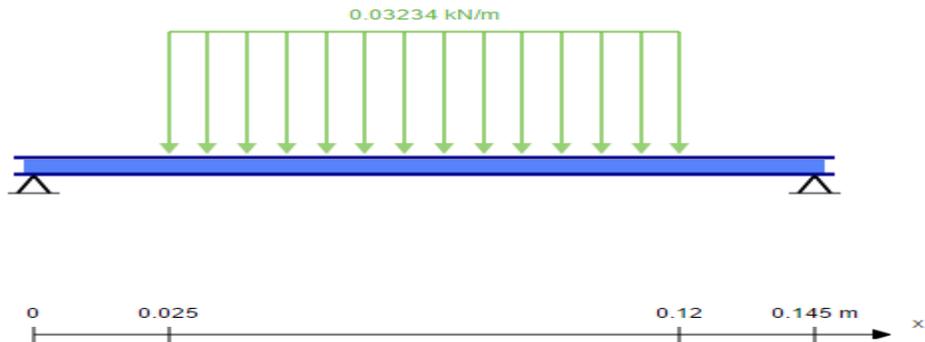


Figura 12. Viga con carga distribuida y apoyo en los extremos

Fuente. Autor

Cálculo de las reacciones en los apoyos de la viga.

$$A = D = \frac{1}{2} W(L - 2a)$$

$$A = D = \frac{1}{2} \left( 32.34 \frac{\text{N}}{\text{m}} \right) (0.145 - 2(0.025)) \text{ m}$$

$$A = D = 1.531615 \text{ N} = 0.001531615 \text{ KN}$$

Corte de A hasta B:  $0 < x < a$



Figura 13. Corte de A hasta B

Fuente: Autor

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$\frac{1}{2} W(L - 2a) - v = 0$$

$$v = \frac{1}{2} W(L - 2a)$$

$$v = 1.531615 \text{ N} = 0.001531615 \text{ KN}$$

$$+\cup \Sigma M = 0$$

$$\frac{1}{2} W(L - 2a) + M = 0$$

$$M = \frac{1}{2} W(L - 2a)x$$

$$M = \frac{1}{2} \left( 32.34 \frac{\text{N}}{\text{m}} \right) (0.145 \text{ m} - 2(0.025 \text{ m}))x$$

$$M = 1.531615x \text{ Nm}$$

$$\text{Si } x = 0$$

$$M = 0$$

$$\text{Si } x = 0.025$$

$$M = 0.0384 \text{ Nm} = 0.0000384 \text{ KNm}$$

Corte de B a C:  $a < x < L - a$

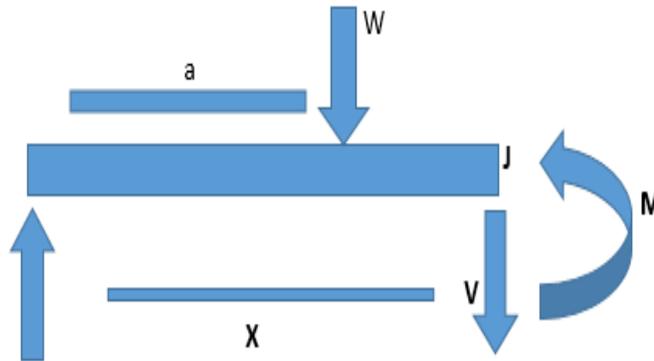


Figura 14. Corte de B a C

Fuente. Autor

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$\frac{1}{2} W(L - 2a) - W(x - a) - v = 0$$

$$v = W\left(\frac{L}{2} - x\right)$$

$$v = 32.34 \frac{N}{m} \left(\frac{0.145}{2} m - 0.0725 m\right)$$

$$v = 0$$

$$+\circlearrowleft \Sigma M_j = 0$$

$$\frac{-1}{2} W(L - 2a)x + W(x - a)\left(\frac{x - a}{2}\right) + M = 0$$

$$M = \frac{1}{2} W[(L - 2a)x - (x - a)^2]$$

$$\text{Si } x = 0.0725$$

$$M = \frac{1}{2} \left(32.34 \frac{N}{m}\right) [(0.145 m - 2(0.025 m))(0.0725 m) - (0.0725 m - 0.025 m)^2]$$

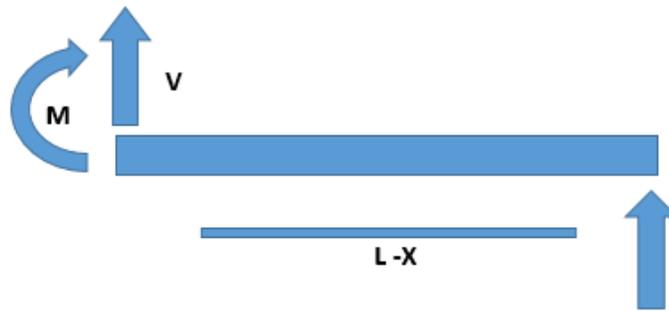
$$M = 0.00007488 \text{ KNm}$$

$$\text{Si } x = 0$$

$$M = \frac{1}{2} \left( 32.34 \frac{N}{m} \right) [(0.145 \text{ m} - 2(0.025 \text{ m}))(0) - (0 \text{ m} - 0.025 \text{ m})^2]$$

$$M = -0.00001010625 \text{ KNm}$$

**Corte de C a D:  $L - a < x < L$**



**Figura 15. Corte de C a D**

*Fuente. Autor*

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$v + \frac{1}{2} W(L - 2a) = 0$$

$$v = \frac{-1}{2} W(L - 2a)$$

$$v = \frac{-1}{2} \left( 32.34 \frac{N}{m} \right) (0.145 \text{ m} - 2(0.025 \text{ m}))$$

$$v = -1.52615 \text{ N} = -0.00152615 \text{ KN}$$

$$+\circlearrowleft \Sigma M_j = 0$$

$$-M + \frac{1}{2} W(L - 2a)(L - x) = 0$$

$$M = \frac{1}{2} W(L - 2a)(L - x)$$

$$\text{Si } x = 0$$

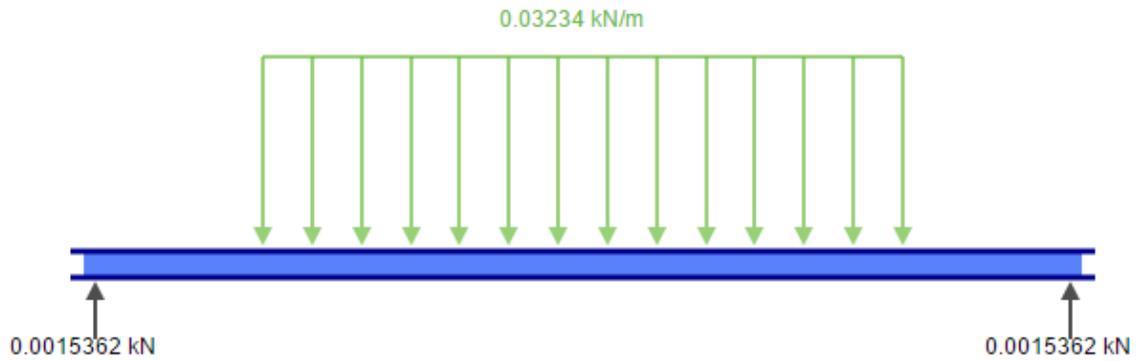
$$M = \frac{1}{2} \left( 32.34 \frac{N}{m} \right) [(0.145 \text{ m} - 2(0.025 \text{ m}))(0.145 \text{ m} - 0 \text{ m})]$$

$$M = 0.000222742 \text{ KNm}$$

$$\text{Si } x = 0.025$$

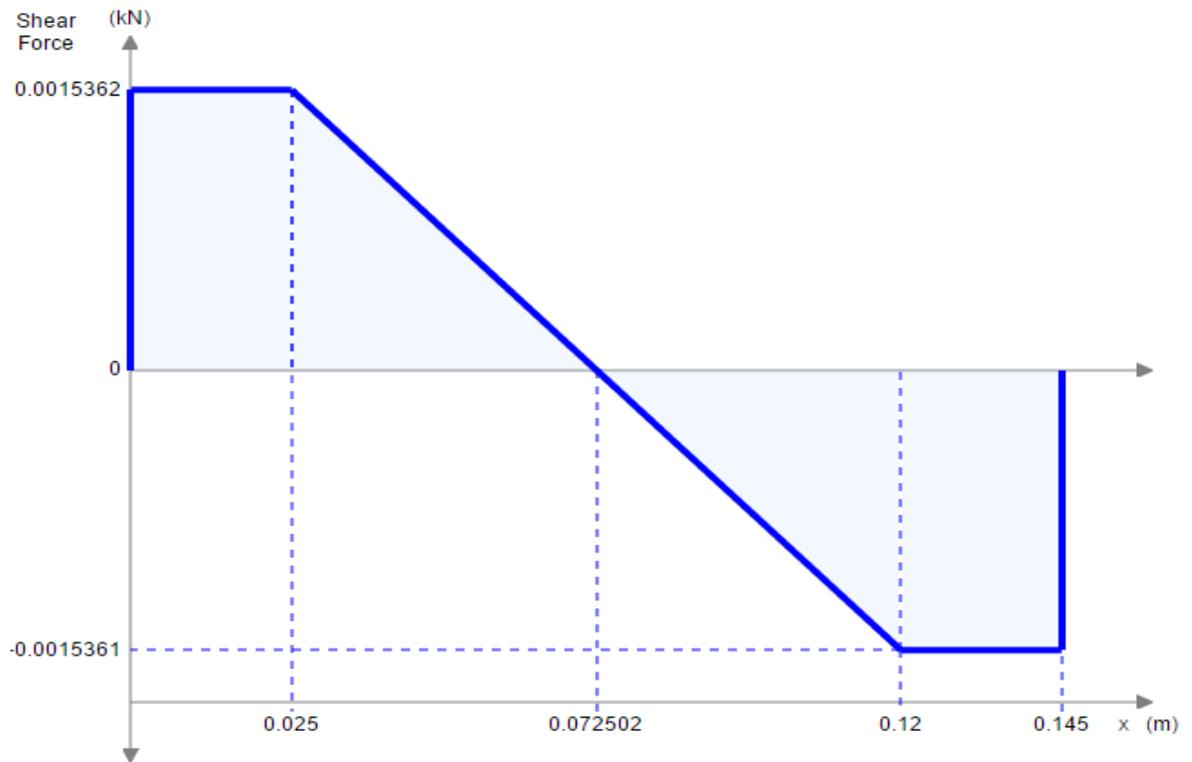
$$M = \frac{1}{2} \left( 32.34 \frac{N}{m} \right) [(0.145 \text{ m} - 2(0.025 \text{ m})) (0.145 \text{ m} - 0.025 \text{ m})]$$

$$M = 0.00018434 \text{ Nm}$$



**Figura 16. Viga con carga distribuida y reacciones en los apoyos**

**Fuente. Autor**



**Figura 17. Grafica del cortante de la viga**

**Fuente. Autor**

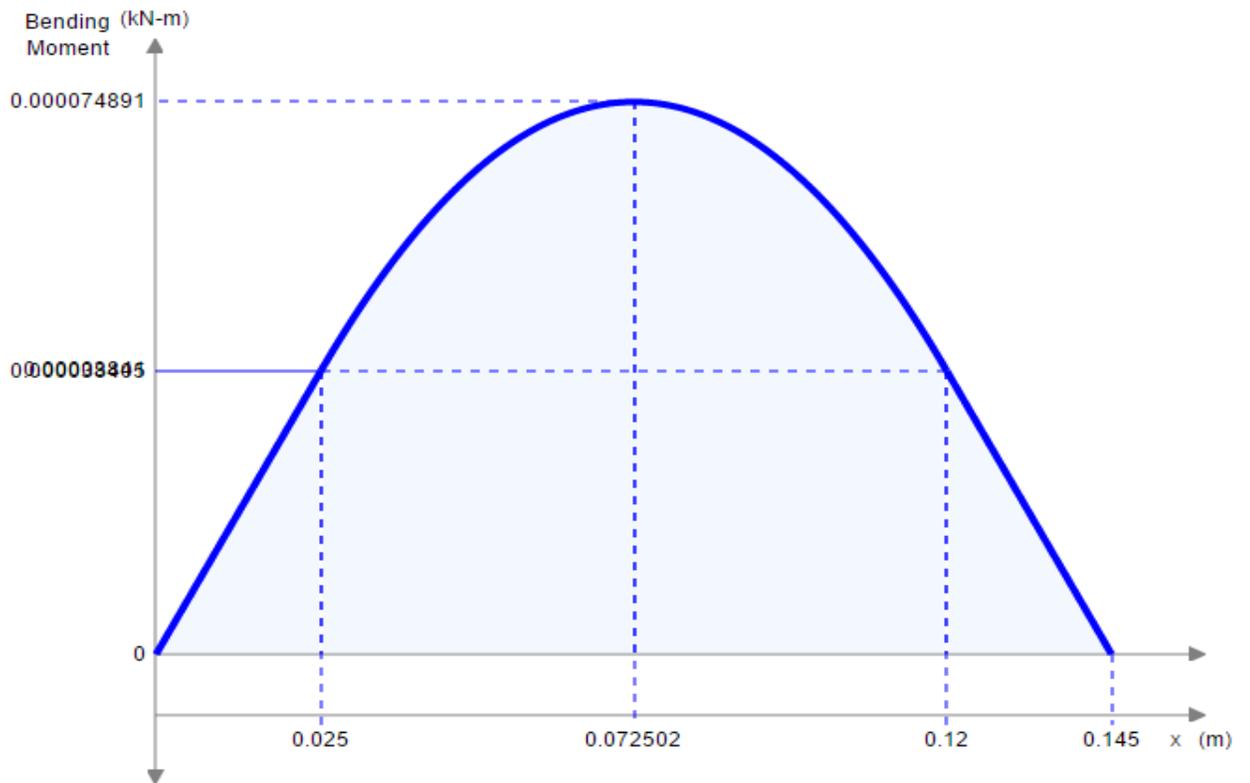


Figura 18. Grafica del momento de la viga

Fuente. Autor

$$\sigma_{Real} = \frac{M_{(c)}}{I}$$

$$\sigma_{Real} = \frac{0.000074891 \text{ KN} \cdot \text{m} (0.0127 \text{ m})}{4.8 * 10^{-9} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{Real} = 198.15 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} * 1000$$

$$\sigma_{Real} = 198150 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$F.S = \frac{\sigma_{Perm}}{\sigma_{Real}}$$

$$F.S = \frac{3.1715 * 10^9 \frac{N}{m^2}}{198150 \frac{N}{m^2}}$$

$$F.S = 16005.55$$

Se puede observar que mecánicamente es una viga extremadamente sobrediseñada, con ese valor del F.S, pero debido a la facilidad de aplicación de procesos de manufactura, economía y facilidad de adquisición en el mercado local, poca dilatación térmica en temperaturas de 300°C de trabajo, es el material más viable para la construcción del reactor.

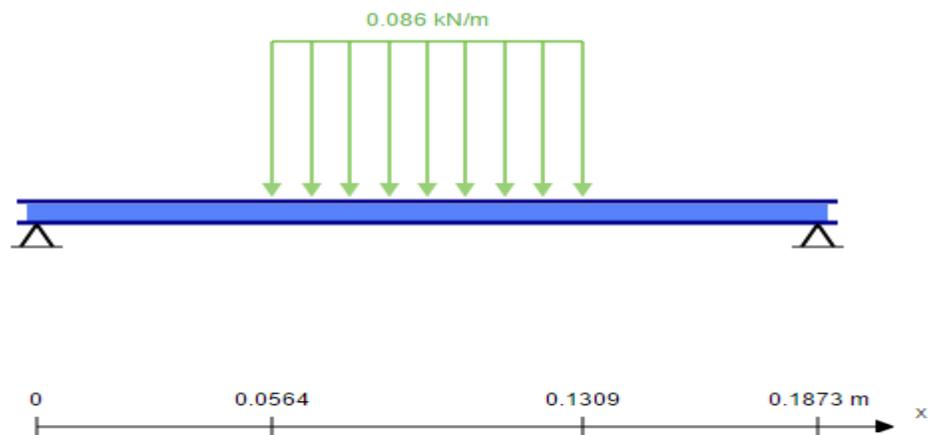
- **Cálculo de flexión para las vigas de la estructura que soportan la carga distribuida del motor y el reductor de velocidad.**

$$W = \frac{3.3 \text{ kg}}{2}$$

$$W = \frac{1.65 \text{ kg}}{0.1873 \text{ m}}$$

$$W = 8.81 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 86.338 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$



**Figura 19. Viga con carga distribuida y apoyo en los extremos**

**Fuente. Autor**

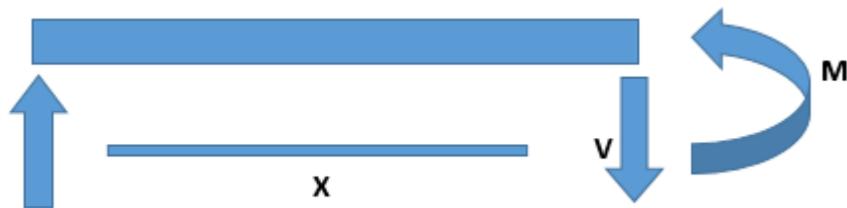
Cálculo de las reacciones en los apoyos de la viga.

$$A = D = \frac{1}{2} W(L - 2a)$$

$$A = D = \frac{1}{2} \left( 0.086338 \frac{N}{m} \right) (0.1873 - 2(0.0564)) m$$

$$A = D = 0.0032161 \text{ KN}$$

**Corte de A hasta B:  $0 < x < a$**



*Figura 20. Corte de A hasta B*

**Fuente. Autor**

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$\frac{1}{2} W(L - 2a) - v = 0$$

$$v = \frac{1}{2} W(L - 2a)$$

$$v = 0.0032161 \text{ KN}$$

$$+\cup \Sigma M = 0$$

$$\frac{1}{2} W(L - 2a) + M = 0$$

$$M = \frac{1}{2} W(L - 2a)x$$

$$M = \frac{1}{2} \left( 0.086338 \frac{KN}{m} \right) (0.1873 m - 2(0.0564 m))x$$

$$M = 0.0032161x \text{ KNm}$$

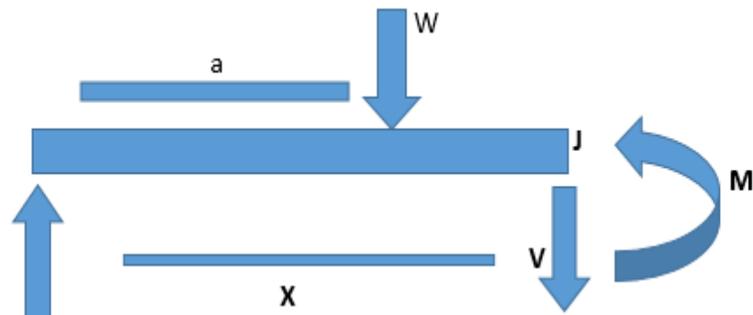
$$\text{Si } x = 0$$

$$M = 0$$

$$\text{Si } x = 0.0564$$

$$M = 0.00018068 \text{ KNm}$$

**Corte de B a C:  $a < x < L - a$**



**Figura 21. Corte de B a C**

*Fuente. Autor*

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$\frac{1}{2} W(L - 2a) - W(x - a) - v = 0$$

$$v = W\left(\frac{L}{2} - x\right)$$

$$v = 86.338 \frac{N}{m} \left(\frac{0.1873}{2} m - 0.09365 m\right)$$

$$v = 0$$

$$+\circlearrowleft \Sigma M_j = 0$$

$$\frac{-1}{2} W(L - 2a)x + W(x - a)\left(\frac{x - a}{2}\right) + M = 0$$

$$M = \frac{1}{2} W[(L - 2a)x - (x - a)^2]$$

$$\text{Si } x = 0.09365$$

$$M = \frac{1}{2} \left(0.086338 \frac{KN}{m}\right) [(0.1873 m - 2(0.0564 m))(0.09365 m) - (0.09365 m - 0.0564 m)^2]$$

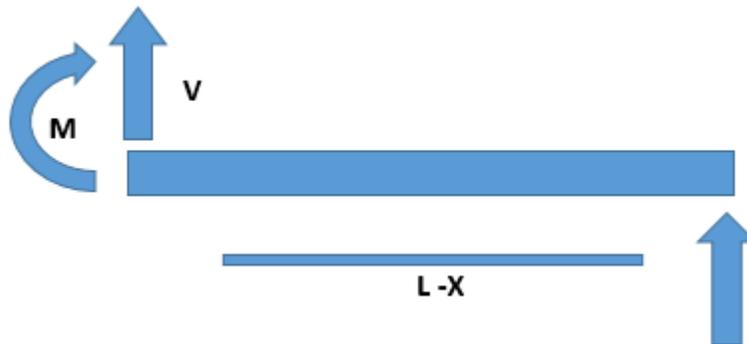
$$M = 0.00024034 \text{ KNm}$$

$$\text{Si } x = 0$$

$$M = \frac{1}{2} \left( 0.086338 \frac{\text{KN}}{\text{m}} \right) [(0.1873 \text{ m} - 2(0.0564 \text{ m}))(0) - (0 \text{ m} - 0.0564 \text{ m})^2]$$

$$M = -0.00013731 \text{ KNm}$$

**Corte de C a D:  $L - a < x < L$**



**Figura 22. Corte de C a D**

*Fuente. Autor*

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$v + \frac{1}{2} W(L - 2a) = 0$$

$$v = \frac{-1}{2} W(L - 2a)$$

$$v = -\frac{1}{2} \left( 0.086338 \frac{\text{KN}}{\text{m}} \right) (0.1873 \text{ m} - 2(0.0564 \text{ m}))$$

$$v = -0.0032161 \text{ KN}$$

$$+\curvearrowright \Sigma M_j = 0$$

$$-M + \frac{1}{2} W(L - 2a)(L - x) = 0$$

$$M = \frac{1}{2} W(L - 2a)(L - x)$$

$$\text{Si } x = 0$$

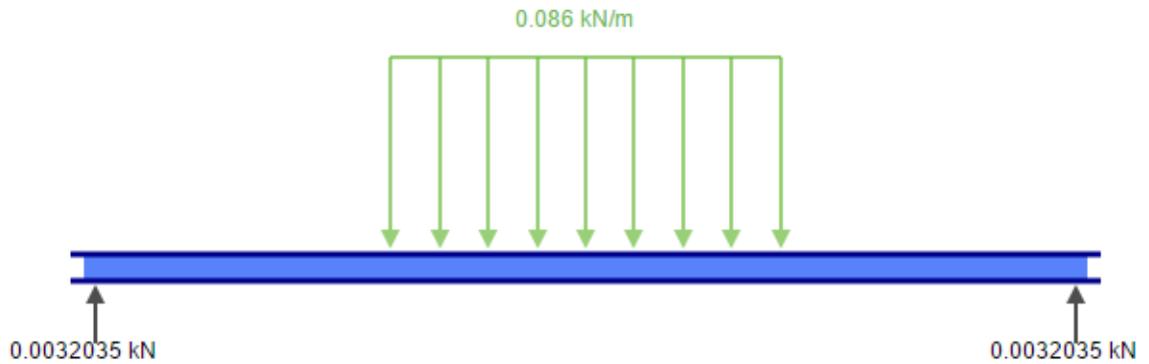
$$M = \frac{1}{2} \left( 0.086338 \frac{\text{KN}}{\text{m}} \right) [(0.1873 \text{ m} - 2(0.0564 \text{ m}))(0.1873 \text{ m} - 0 \text{ m})]$$

$$M = 0.0006024 \text{ KNm}$$

$$\text{Si } x = 0.0564$$

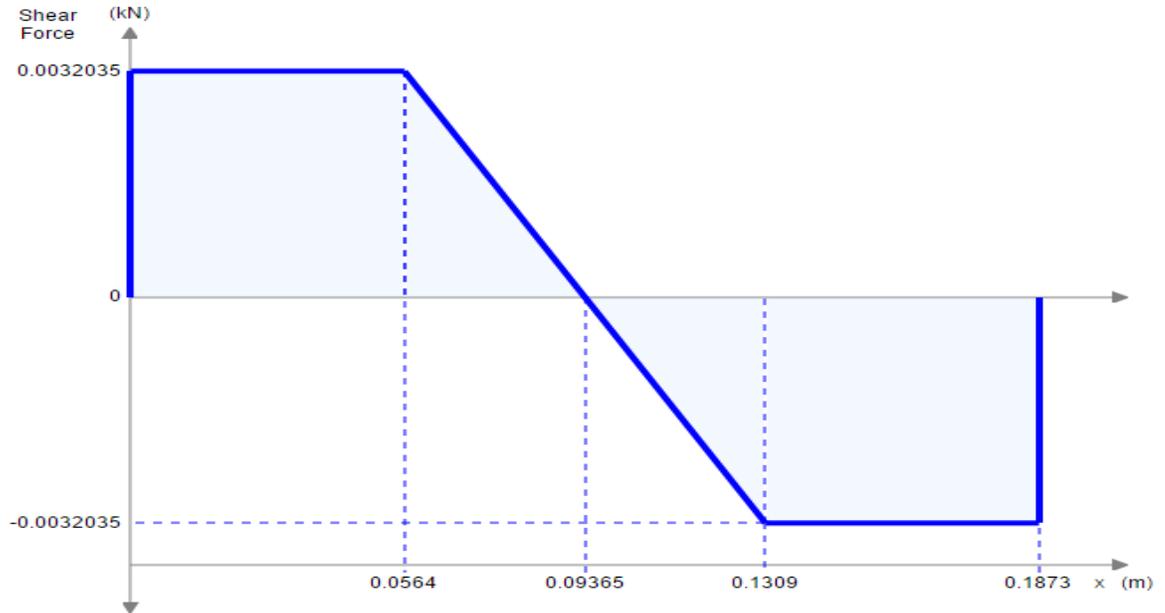
$$M = \frac{1}{2} \left( 0.086338 \frac{KN}{m} \right) [(0.1873 \text{ m} - 2(0.0564 \text{ m}))(0.1873 \text{ m} - 0.0564 \text{ m})]$$

$$M = 0.00042099 \text{ KNm}$$



**Figura 23. Viga con carga distribuida y reacciones en los apoyos**

**Fuente. Autor**



**Figura 24. Grafica del cortante de la viga**

**Fuente. Autor**

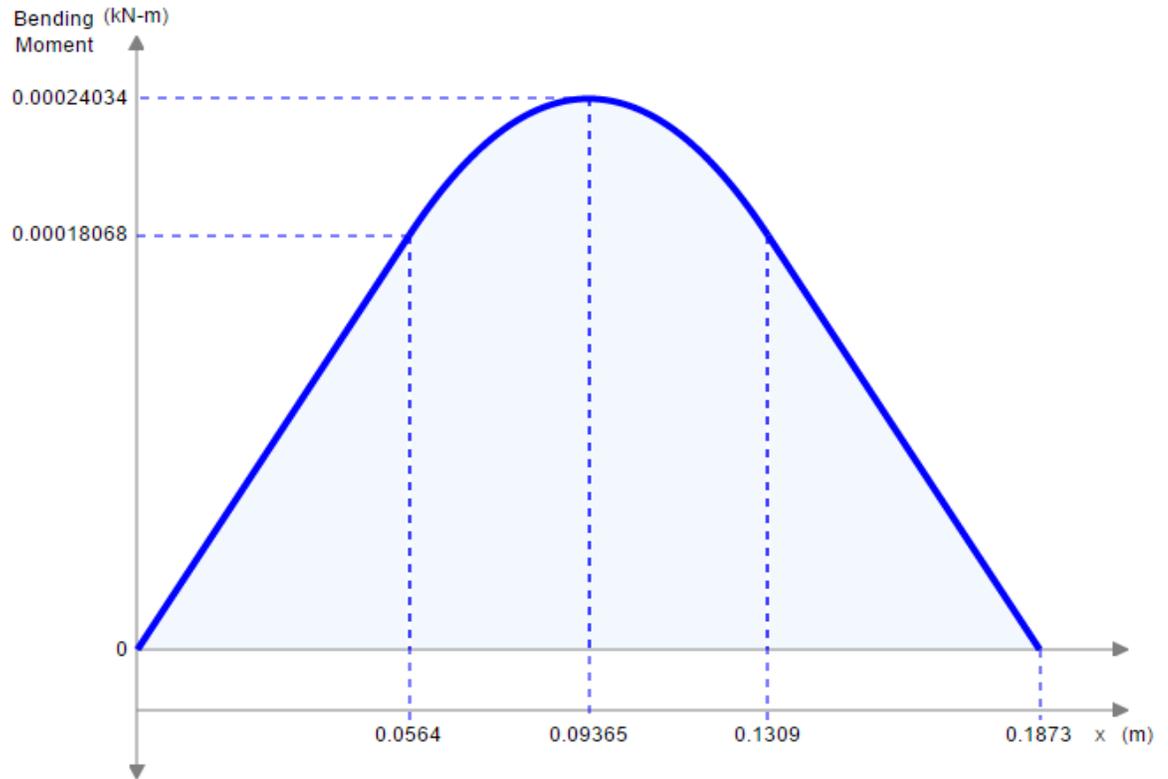


Figura 25. Grafica del momento de la viga

Fuente. Autor

$$\sigma_{Real} = \frac{M_{(c)}}{I}$$

$$\sigma_{Real} = \frac{0.00024034 \text{ KN} \cdot \text{m}(0.0127 \text{ m})}{4.8 * 10^{-9} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{Real} = 635.91 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} * 1000$$

$$\sigma_{Real} = 635910 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$F.S = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{perm}}$$

$$F.S = \frac{3.1715 * 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{635910 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$F.S = 4987.35$$

- Cálculo de flexión para la viga de la estructura que soporta la carga distribuida del reductor de velocidad.

$$W = \frac{1.5 \text{ kg}}{1}$$

$$W = \frac{1.5 \text{ kg}}{0.108 \text{ m}}$$

$$W = 13.89 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 9.8 \frac{\text{m}}{\text{s}^2}$$

$$W = 136.12 \frac{\text{N}}{\text{m}}$$

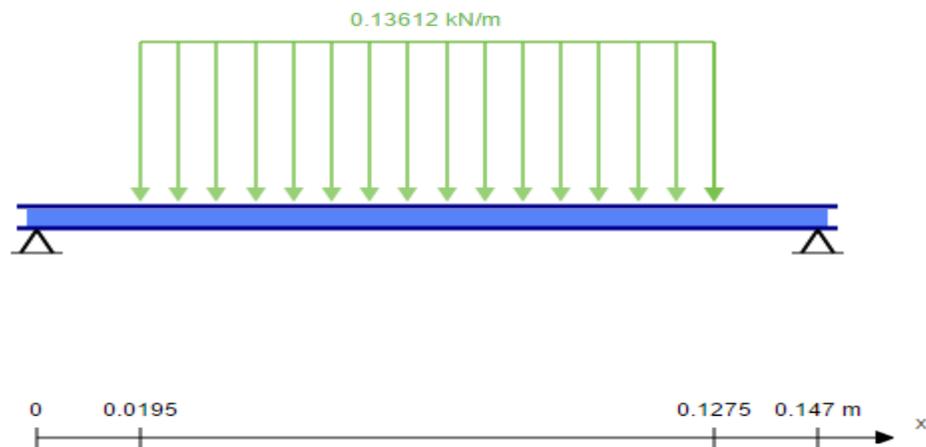


Figura 26. Viga con carga distribuida y apoyo en los extremos

Fuente. Autor

Cálculo de las reacciones en los apoyos de la viga.

$$A = D = \frac{1}{2} W(L - 2a)$$

$$A = D = \frac{1}{2} \left( 136.12 \frac{\text{N}}{\text{m}} \right) (0.147 - 2(0.0195)) \text{ m}$$

$$A = D = 7.35048 \text{ N} = 0.00735048 \text{ KN}$$

**Corte de A hasta B:  $0 < x < a$**



**Figura 27. Corte de A hasta B**

*Fuente. Autor*

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$\frac{1}{2} W(L - 2a) - v = 0$$

$$v = \frac{1}{2} W(L - 2a)$$

$$v = 7.35048 \text{ N} = 0.00735048 \text{ KN}$$

$$+\curvearrowright \Sigma M = 0$$

$$\frac{1}{2} W(L - 2a) + M = 0$$

$$M = -\frac{1}{2} W(L - 2a)x$$

$$M = -\frac{1}{2} \left(136.12 \frac{\text{N}}{\text{m}}\right)(0.147 \text{ m} - 2(0.0195 \text{ m}))x$$

$$M = 7.35048x \text{ Nm} = 0.00735x \text{ KNm}$$

$$\text{Si } x = 0$$

$$M = 0$$

$$\text{Si } x = 0.0195$$

$$M = 0.143 \text{ KNm} = 0.0001433 \text{ KNm}$$

Corte de B a C:  $a < x < L - a$

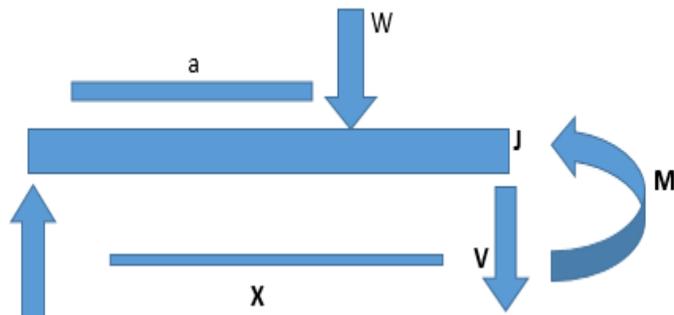


Figura 28. Corte de B a C

Fuente. Autor

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$\frac{1}{2} W(L - 2a) - W(x - a) - v = 0$$

$$v = W\left(\frac{L}{2} - x\right)$$

$$v = 136.12 \frac{N}{m} \left(\frac{0.147}{2} m - 0.0195 m\right)$$

$$v = 0$$

$$+\cup \Sigma M_j = 0$$

$$\frac{-1}{2} W(L - 2a)x + W(x - a)\left(\frac{x - a}{2}\right) + M = 0$$

$$M = \frac{1}{2} W[(L - 2a)x - (x - a)^2]$$

$$\text{Si } x = 0.0735$$

$$M = \frac{1}{2} \left(136.12 \frac{N}{m}\right) [(0.147 m - 2(0.0195 m))(0.0735 m) - (0.0735 m - 0.0195 m)^2]$$

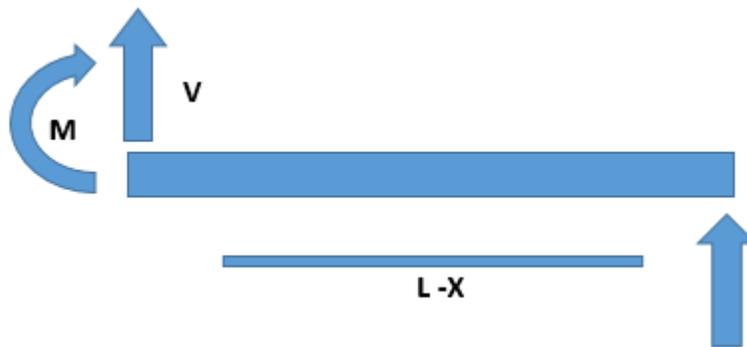
$$M = 0.0003418 \text{ KNm}$$

$$\text{Si } x = 0$$

$$M = \frac{1}{2} \left(136.12 \frac{N}{m}\right) [(0.147 m - 2(0.0195 m))(0) - (0 m - 0.0195 m)^2]$$

$$M = -0.0259 \text{ Nm} = -0.00002588 \text{ KNm}$$

**Corte de C a D:  $L - a < x < L$**



*Figura 29. Corte de C a D*

*Fuente. Autor*

$$+\uparrow \Sigma F_y = 0$$

$$v + \frac{1}{2} W(L - 2a) = 0$$

$$v = \frac{-1}{2} W(L - 2a)$$

$$v = \frac{-1}{2} \left(136.12 \frac{\text{N}}{\text{m}}\right) (0.147 \text{ m} - 2(0.0195 \text{ m}))$$

$$v = -7.35048 \text{ N} = -0.0035048 \text{ KN}$$

$$+\circlearrowleft \Sigma M_j = 0$$

$$-M + \frac{1}{2} W(L - 2a)(L - x) = 0$$

$$M = \frac{1}{2} W(L - 2a)(L - x)$$

$$\text{Si } x = 0$$

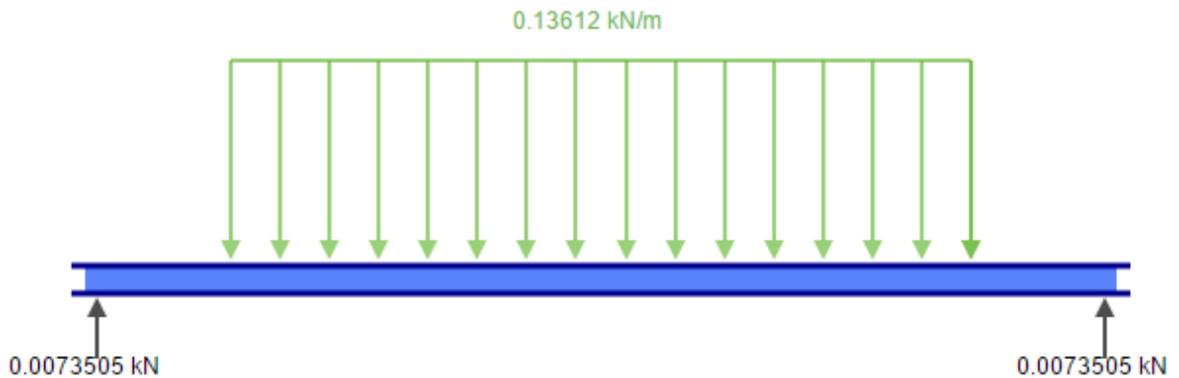
$$M = \frac{1}{2} \left( 136.12 \frac{N}{m} \right) [(0.147 \text{ m} - 2(0.0195 \text{ m}))(0.147 \text{ m} - 0 \text{ m})]$$

$$M = 0.001080 \text{ KNm}$$

$$\text{Si } x = 0.0195$$

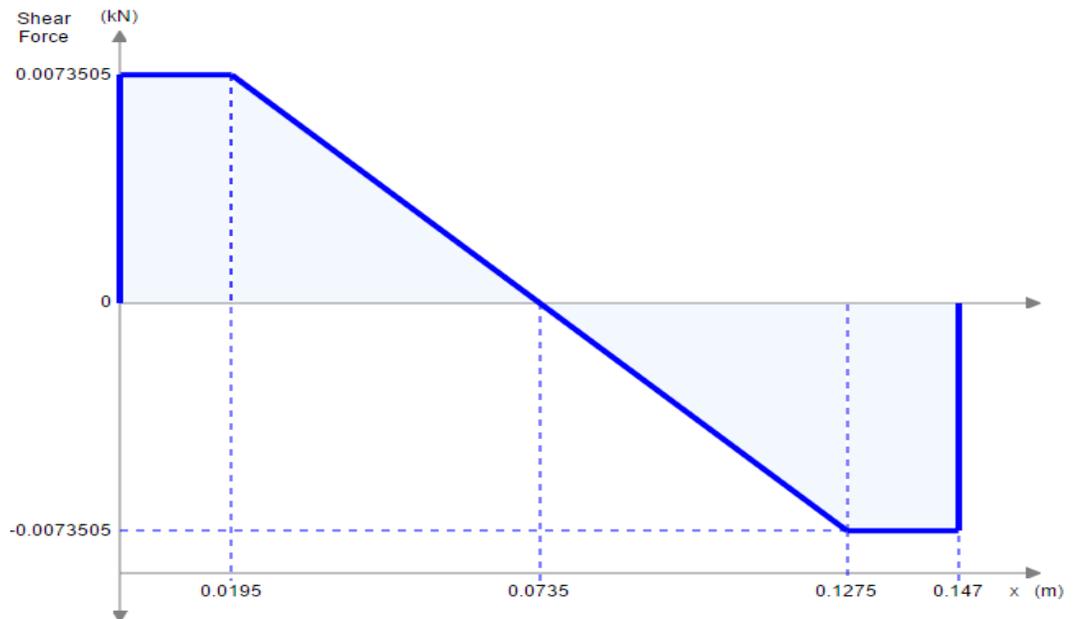
$$M = \frac{1}{2} \left( 136.12 \frac{N}{m} \right) [(0.147 \text{ m} - 2(0.0195 \text{ m}))(0.147 \text{ m} - 0.0195 \text{ m})]$$

$$M = 0.000937 \text{ KNm}$$



**Figura 30. Viga con carga distribuida y reacciones en los apoyos**

Fuente. Autor



**Figura 31. Grafica del cortante de la viga**

Fuente. Autor

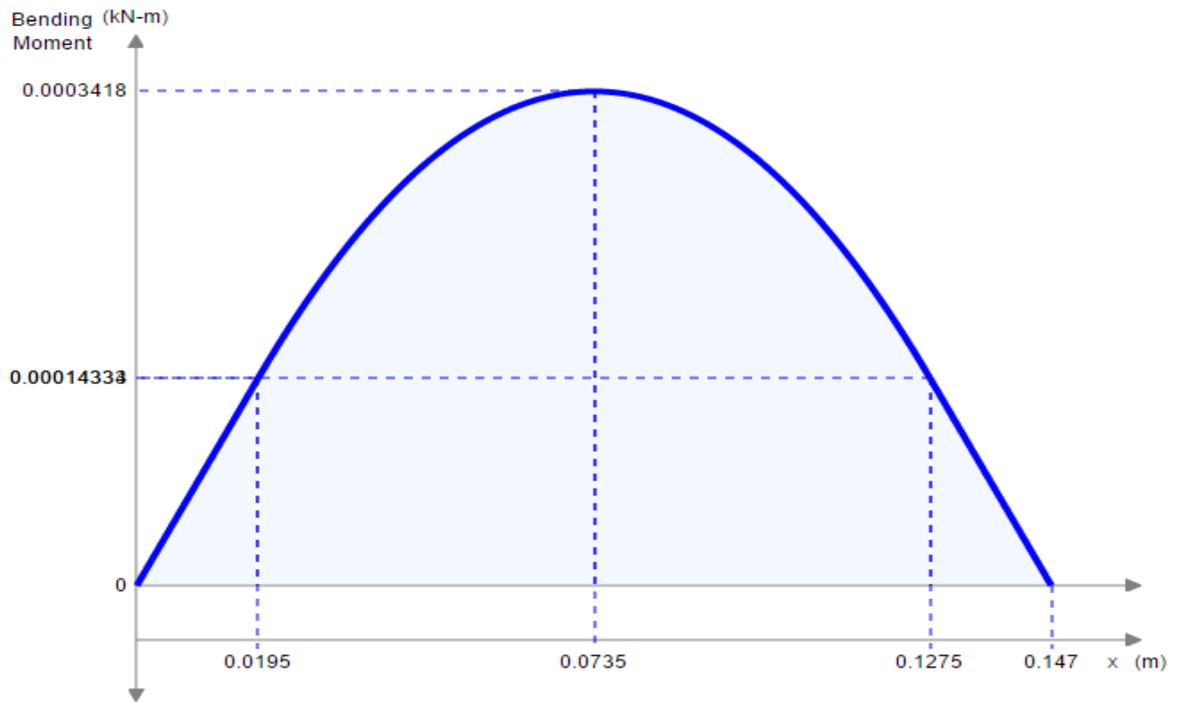


Figura 32. Grafica del momento de la viga

Fuente. Autor

$$\sigma_{Real} = \frac{M_{(c)}}{I}$$

$$\sigma_{Real} = \frac{0.0003418 \text{ KN} \cdot \text{m}(0.0127 \text{ m})}{4.8 * 10^{-9} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{Real} = 904.3458 \frac{\text{KN}}{\text{m}^2} * 1000$$

$$\sigma_{Real} = 904345.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$F.S = \frac{\sigma_{cr}}{\sigma_{perm}}$$

$$F.S = \frac{3.1715 * 10^9 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}{904345.8 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}}$$

$$F.S = 3506.95$$

**Nota:** la estructura del reactor, también se hubiese podido construir con madera, perfiles de aluminio y platina ya que estos materiales soportarían las cargas distribuidas de los elementos del reactor, a diferencia de que la madera no soportaría las altas temperaturas de trabajo del mismo y se incendiaría, el proceso de unión por soldadura con el aluminio es más complicado y la geometría de la platina dificultaría el proceso de ensamble de todos los componentes del reactor. Por eso, se toma la decisión de fabricar la estructura del equipo con tubos cuadrados de 1 pulgada debido a la facilidad de aplicación de procesos de manufactura, economía y facilidad de adquisición en el mercado local, poca dilatación térmica en temperaturas de 300°C de trabajo siendo el material más viable para la construcción de la estructura del máquina.

#### 6.4 CÁLCULO DE TORQUES Y FUERZA EN LAS ASPAS DEL AGITADOR

➤ **Calculo del torque del motor.**

**Ecuación 7**

**Fuente.** (Ferdinad P. Beer, 2013)

$$P = 2\pi fT$$

**Ecuación 8**

**Fuente.** (Ferdinad P. Beer, 2013)

$$T = \frac{P}{2\pi f}$$

**Ecuación 9**

**Fuente.** (Ferdinad P. Beer, 2013)

$$1 \text{ rpm} = \frac{1}{60} \text{ Hz}$$

$$\text{rpm} = \frac{1750}{60} \text{ Hz}$$

$$\text{rpm} = 29.17 \text{ Hz}$$

$$T = \frac{53 \text{ W}}{2\pi(29.17 \text{ Hz})}$$

$$T = 0.289 \text{ Nm}$$

➤ **Cálculo del torque del mandril**

**Ecuación 10**

**Fuente.** (Ferdinand P. Beer, 2013)

$$\frac{T_1}{T_2} = \frac{\# \text{ Dientes } 1}{\# \text{ Dientes } 2}$$

$$\frac{0.289 \text{ Nm}}{T_{\text{Mandril}}} = \frac{14}{28}$$

$$T_{\text{Mandril}} = 0.578 \text{ Nm}$$

➤ **Fuerza en las aspas del agitador**

**Ecuación 11**

**Fuente.** (Ferdinand P. Beer, 2013)

$$T = Fd$$

$$F = \frac{T}{d}$$

$$F = \frac{0.578 \text{ Nm}}{0.02 \text{ m}}$$

$$F = 28.9 \text{ N} \text{ Fuerza en cada aspa del agitador}$$

## 6.5 CÁLCULO DEL REDUCTOR DE VELOCIDAD

**Ecuación 12**

**Fuente.** (Ferdinand P. Beer, 2013)

$$\frac{\# \text{Dientes del piñón conductor}}{\# \text{Dientes del piñón conducido}} = \frac{\text{rpm del piñón conductor}}{\text{rpm del piñón conductor}}$$

$$\frac{14}{x} = \frac{850}{1750}$$

$$x = 28.82$$

Realizando la corrección para un número de dientes entero y que se consiga comercialmente

$$\frac{14}{28} = \frac{x}{1750}$$

$$x = 875 \text{ rpm}_{Mandril}$$

Por lo tanto, el mandril con el piñón comercial de 28 dientes gira a una velocidad de 875 rpm.

## 6.6 CÁLCULO DEL FACTOR DE SEGURIDAD EN LOS EJES DE TRANSMISIÓN

Acero laminado en frío  $\sigma_{M\acute{a}x} = 150 \text{ Mpa}$  en fluencia

➤ **Factor de seguridad para el eje del reactor de vidrio borosilicato.**

**Ecuación 13**

**Fuente.** (Ferdinand P. Beer, 2013)

$$\frac{J}{c} = \frac{T}{\sigma_{M\acute{a}x}}$$

$$c = \frac{\emptyset}{2}$$

$$c = \frac{0.006 \text{ m}}{2}$$

$$c = 0.003 \text{ m}$$

$$T = T_{Mandril} = 0.578 \text{ Nm}$$

**Ecuación 14**

**Fuente.** (Ferdinand P. Beer, 2013)

$$J = \frac{\pi}{2} r^4$$

$$J = \frac{\pi}{2} (0.003 \text{ m})^4$$

$$J = 1.27 * 10^{-10} \text{ m}^4$$

**Ecuación 15**

**Fuente.** (Ferdinand P. Beer, 2013)

$$\sigma_{Real} = \frac{Tc}{J}$$

$$\sigma_{Real} = \frac{0.578 \text{ Nm} * 0.003 \text{ m}}{1.27 * 10^{-10} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{Real} = 13653543.31 \frac{N}{m^2}$$

$$\sigma_{Real} = 13.65354331 \text{ Mpa}$$

**Ecuación 16**

**Fuente.** (Ferdinand P. Beer, 2013)

$$F.S = \frac{\sigma_{Máx}}{\sigma_{Real}}$$

$$F.S = \frac{150 \text{ Mpa}}{13.65354331 \text{ Mpa}}$$

$$F.S = 10.98$$

Con el factor de seguridad obtenido, se demuestra que el eje de transmisión soporta el torque del motor.

➤ **Factor de seguridad para el eje del reactor metálico.**

$$\frac{J}{c} = \frac{T}{\sigma_{Máx}}$$

$$c = \frac{\emptyset}{2}$$

$$c = \frac{0.0125 \text{ m}}{2}$$

$$c = 0.00625 \text{ m}$$

$$T = T_{Mandril} = 0.578 \text{ Nm}$$

$$J = \frac{\pi}{2} r^4$$

$$J = \frac{\pi}{2} (0.00625 \text{ m})^4$$

$$J = 2.39 * 10^{-9} \text{ m}^4$$

$$\sigma_{Real} = \frac{Tc}{J}$$

$$\sigma_{Real} = \frac{0.578 \text{ Nm} * 0.00625 \text{ m}}{2.39 * 10^{-9} \text{ m}^4}$$

$$\sigma_{Real} = 725523.0126 \frac{\text{N}}{\text{m}^2}$$

$$\sigma_{Real} = 0.7255230126 \text{ Mpa}$$

$$F.S = \frac{\sigma_{Máx}}{\sigma_{Real}}$$

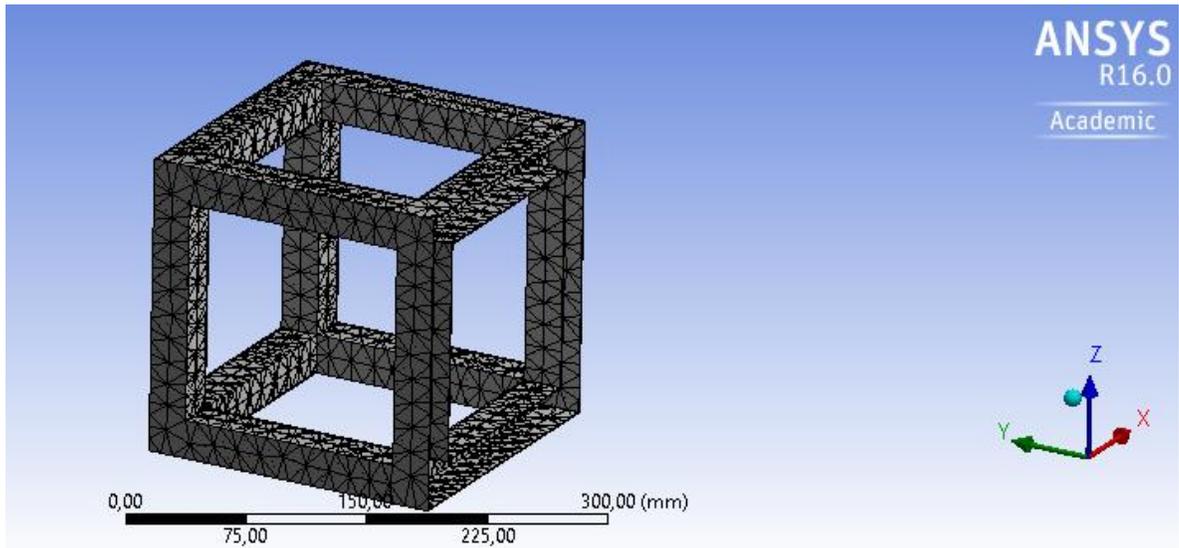
$$F.S = \frac{150 \text{ Mpa}}{0.7255230126 \text{ Mpa}}$$

$$F.S = 206.74$$

Con el factor de seguridad obtenido, se demuestra que el eje de transmisión soporta el torque del motor.

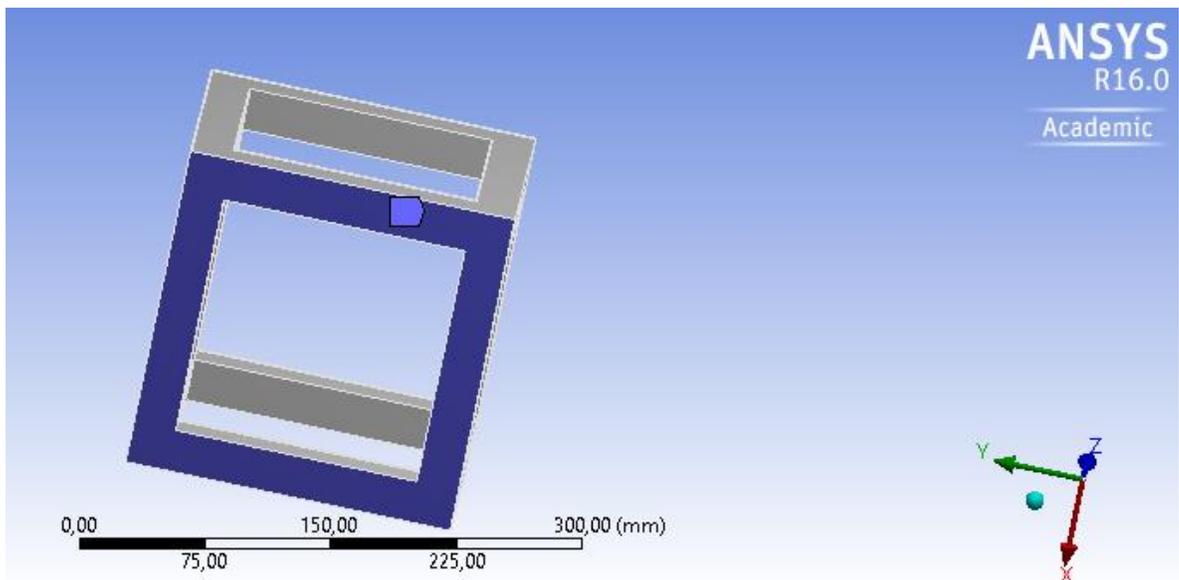
## 7. SIMULACION DE LA ESTRUCTURA

Los dibujos de la estructura fueron realizados en solid edge versión 20 y posteriormente exportados al software de elementos finitos ANSYS R16.0 como se muestra a continuación en las figuras.



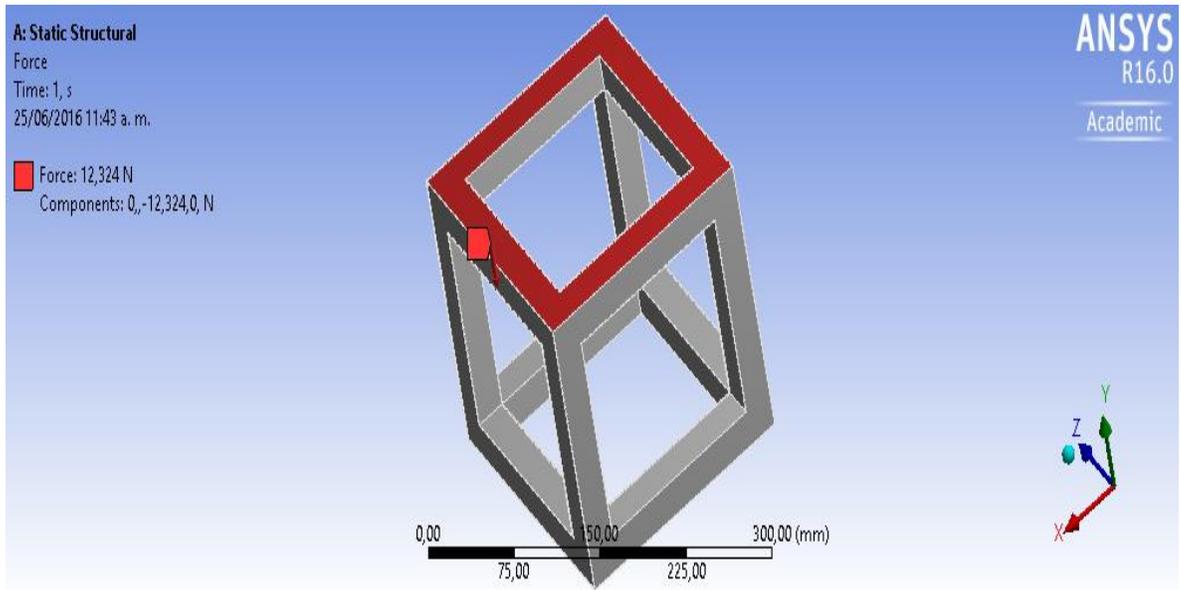
**Figura 33. Enmallado de la estructura que soporta la carga distribuida del reactor**

**Fuente. Autor**



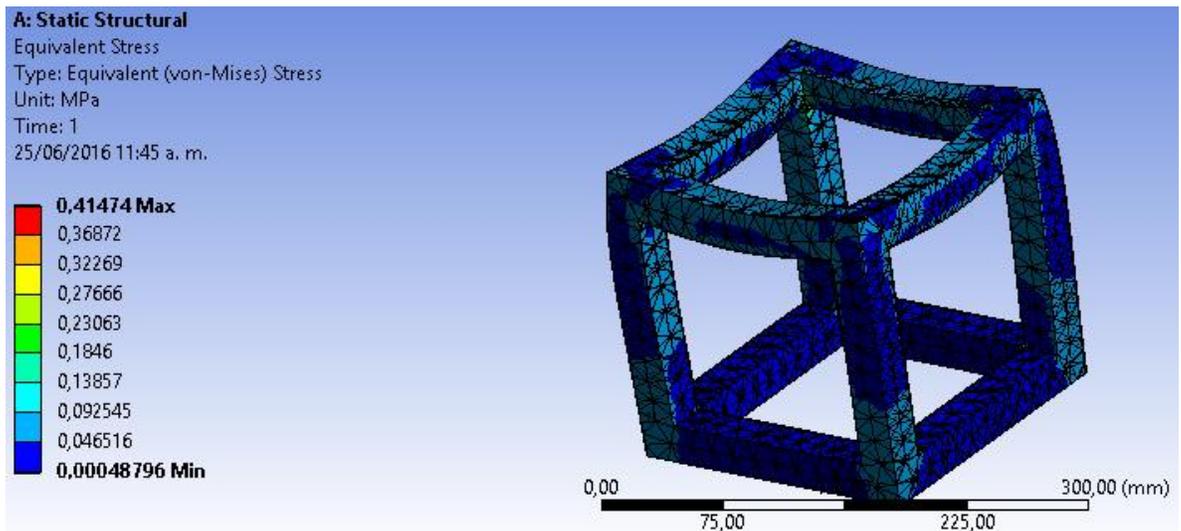
**Figura 34. Apoyo de la estructura del reactor**

**Fuente. Autor**



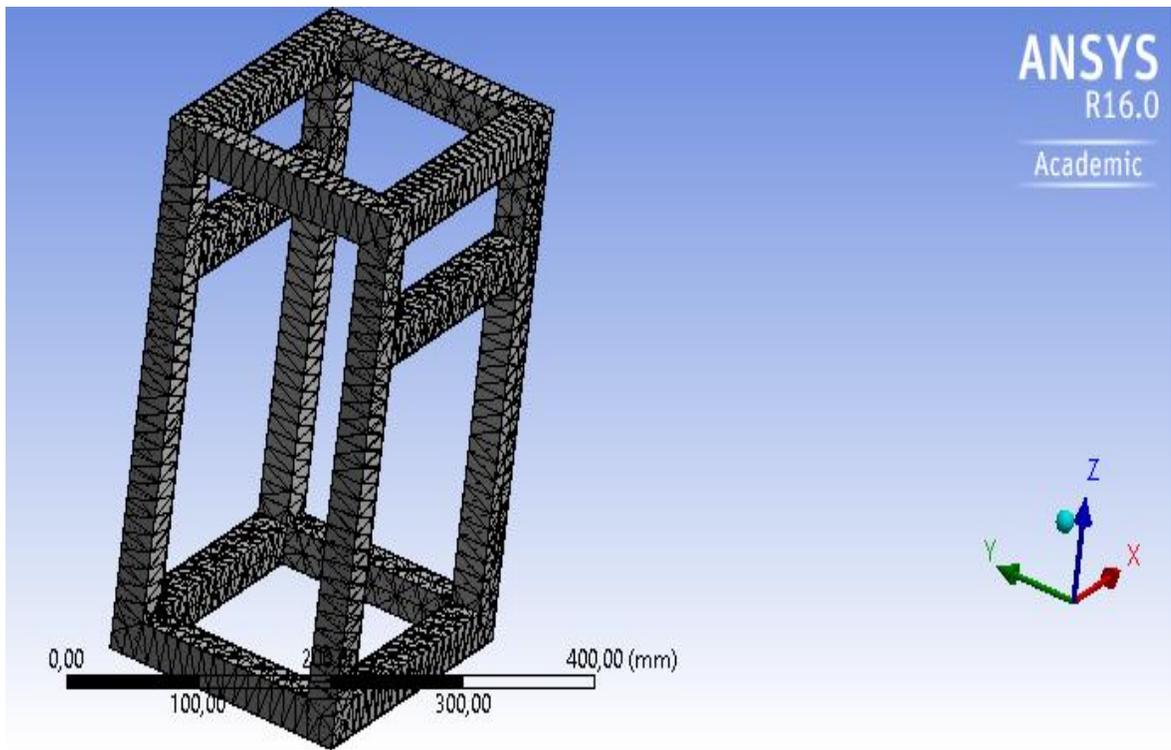
**Figura 35. Vigas que soportan la carga distribuida del reactor**

**Fuente. Autor**



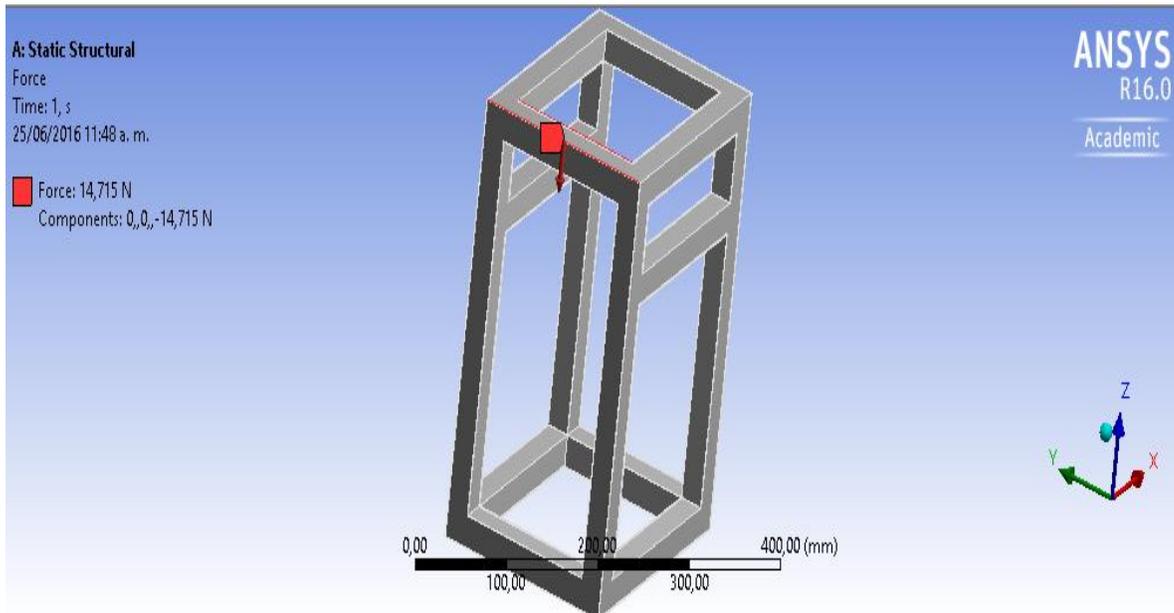
**Figura 36. Resultados obtenidos de la simulación**

**Fuente. Autor**



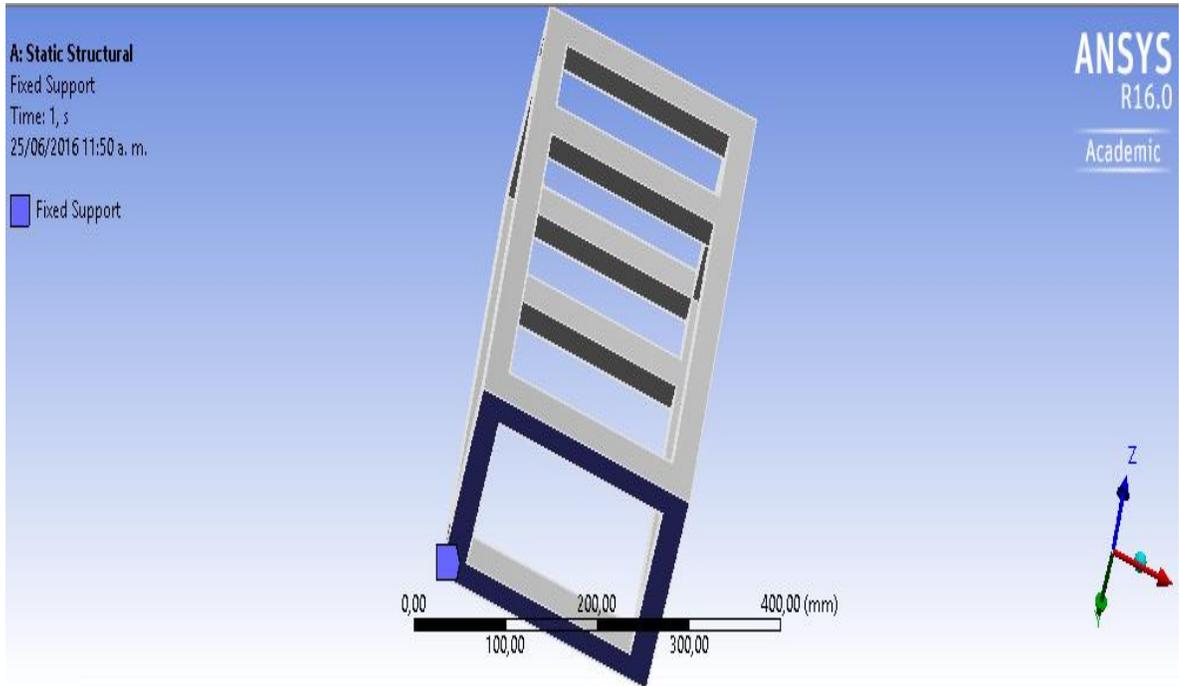
**Figura 37. Enmallado de la estructura que soporta la carga distribuida del motor y el reductor de velocidad**

**Fuente. Autor**



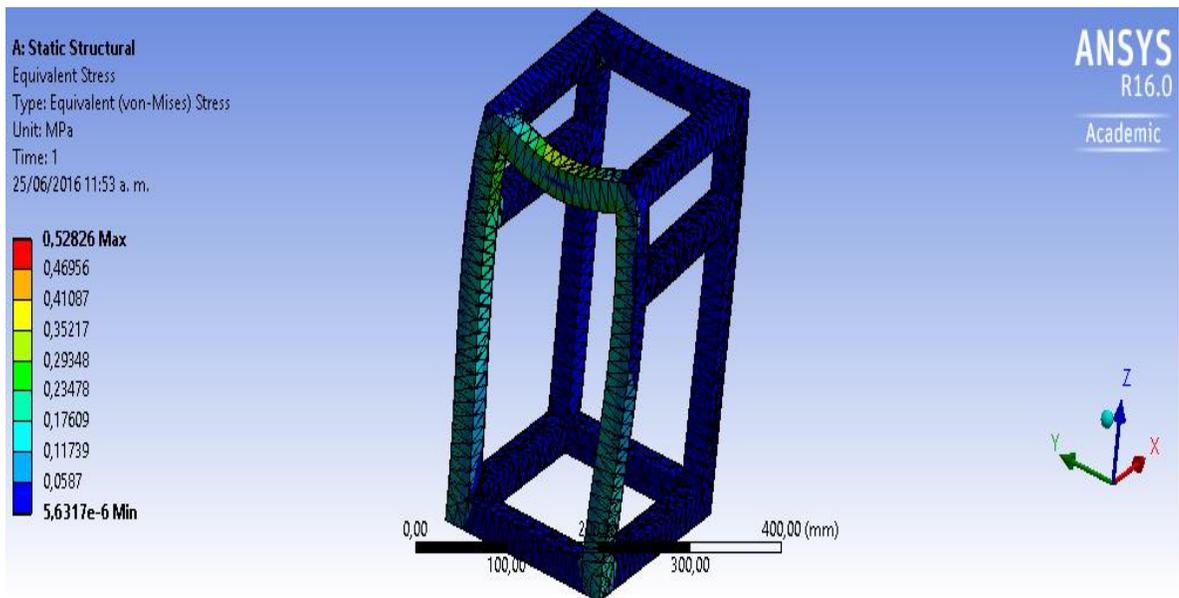
**Figura 38. Viga que soporta la carga distribuida del reductor de velocidad**

**Fuente. Autor**



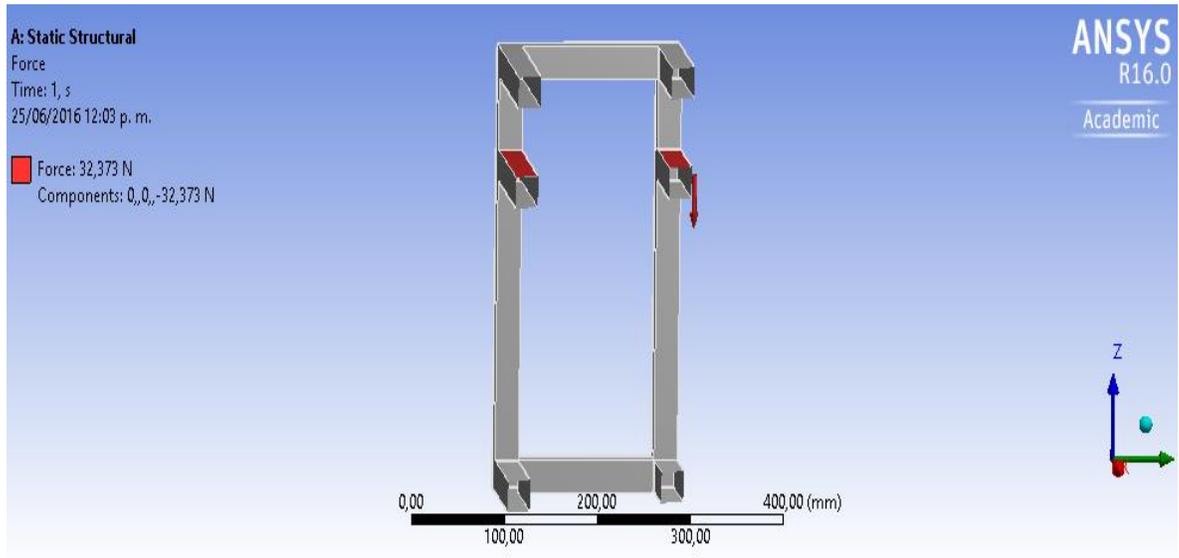
**Figura 39. Soporte fijo de la estructura**

**Fuente. Autor**



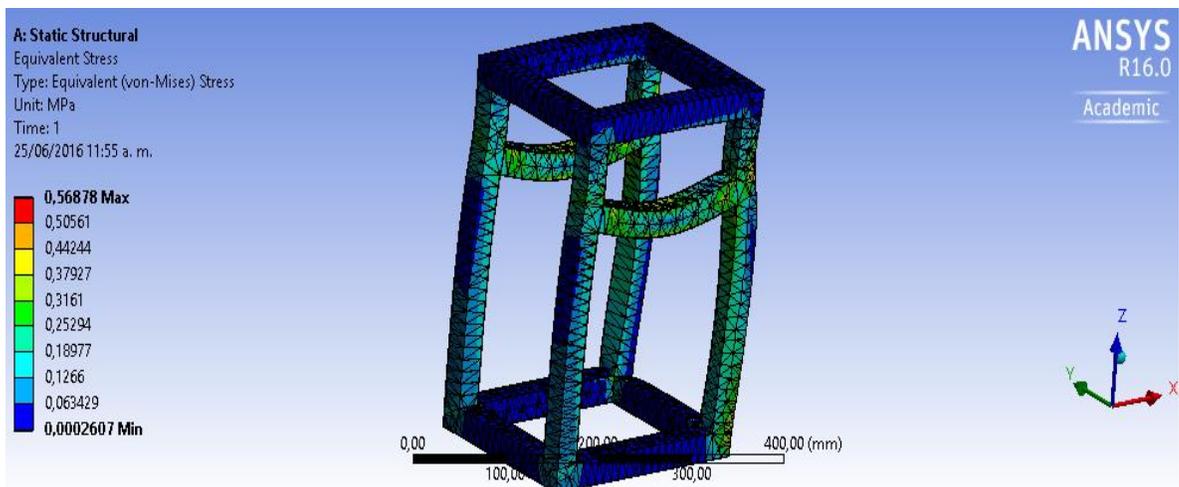
**Figura 40. Resultados obtenidos de la simulación**

**Fuente. Autor**



**Figura 41. Vigas que soportan la carga distribuida del motor y el reductor de velocidad**

**Fuente. Autor**



**Figura 42. Resultados obtenidos de la simulación**

**Fuente. Autor**

<b>Valor calculado</b> $\sigma_{Real}$ (MPa)	<b>Valor simulado</b> $\sigma_{Real}$ (MPa)	<b>F.S calculado</b>	<b>F.S simulado</b>
0.19815	0.41474	16005.55	7646.95
0.63591	0.56878	4987.35	5575.97
0.90434	0.52826	3506.95	6003.67

*Tabla 2. Comparación entre datos calculados y datos simulados*

*Fuente. Autor*

Mediante la simulación se pudo validar los cálculos realizados manualmente, demostrando que la estructura soporta las cargas a las que está sometida permitiendo una vida útil del equipo muy larga gracias a que posee factores de seguridad muy altos.

Observando la simulación, se llegó a la conclusión de que los puntos críticos de la estructura donde se presentan los esfuerzos máximos causados por las cargas se encuentran en las uniones soldadas.

La rigidez de la estructura permite la absorción de las vibraciones de la máquina causadas por los elementos rotativos que posee.

## 8. FABRICACIÓN Y PUESTA A PUNTO DEL EQUIPO

### 8.1 Fabricación

La estructura del reactor se construyó utilizando tubo cuadrado de una pulgada para soportar las cargas del reactor, el motor, el reductor de velocidad y el controlador.

#### ➤ Corte

El proceso de corte de los tubos cuadrados se llevó a cabo con esmeril de mano y discos de corte de carburo de tungsteno, se realizaron cortes a 45° y 90°, para conformar la estructura tanto del reactor como del soporte de motor y reductor, más la parte de control.



*Figura 43. Proceso de corte*

*Fuente. Autor*

#### ➤ Unión.

De igual manera, se hicieron las uniones permanentes a partir de un proceso de soldadura MIG a 14 voltios y velocidad de alimentación del alambre de 120 mm/s, para garantizar que el material se uniera sin generar perforaciones ya que el espesor no es demasiado grande.



*Figura 44. Proceso de Soldadura*

*Fuente. Autor*

➤ **Taladrado.**

Se realizaron diversas perforaciones para ubicar los tornillos de ajuste de las cubiertas, los de ajuste del reactor y ajuste de los rieles de desplazamiento del soporte del reactor.



*Figura 45. Proceso de taladrado*

*Fuente. Autor*

➤ **Pulido.**

Luego de unir las diferentes partes de la estructura y el reductor se procede al proceso de pulido para retirar el material sobrante y dar un acabado superficial más limpio a las piezas.



*Figura 46. Proceso de pulido de la caja del reductor de velocidad*

*Fuente. Autor*

➤ **Corte aislante.**

Luego de armar la estructura se procede a realizar el corte de fibrocemento para colocar las capas de aislante térmico que debe cubrir el reactor para aumentar la eficiencia en la resistencia que transmite el calor a la reacción.



*Figura 47. Corte del aislante térmico*

*Fuente. Autor*

➤ **Ensamble.**

Ya elaboradas las piezas que componen el equipo se procede a realizar el ensamble y la alineación para ajustar sus componentes.



*Figura 48. Alineación del reductor de velocidad con el reactor*

*Fuente. Autor*

## 8.2 AJUSTES Y PUESTA A PUNTO.

Las actividades que se realizan para coordinar los ajustes del equipo son:

### ➤ Corte y ajuste de las cubiertas



*Figura 49. Corte y ajustes de las cubiertas*

*Fuente. Autor*

Se cortaron dos cubiertas laterales, una cubierta para la parte superior y otra para la parte inferior, una cubierta para la parte posterior con entrada para ventilación, luego se realizaron las perforaciones para los tornillos de ajuste y se fijaron a la estructura procurando que quedaran los más alineadas posibles.

### ➤ Instalación y ajustes del motor



*Figura 50. Instalación y ajustes del motor*

*Fuente. Autor*

El motor se ajustó a un soporte giratorio en la base del reductor que permite que todo el sistema rote para facilitar la extracción del reactor y luego todo el soporte se fijó por la parte inferior a la estructura buscando la alineación correcta entre el centro del reactor y el mandril.

➤ **Instalación y ajuste del reductor**



*Figura 51. Instalación y ajuste del reductor de velocidad*

*Fuente. Autor*

Se realizó el ajuste del piñón conductor al eje del motor mediante un tornillo roscado al centro del eje, se ajustaron unas guías para mantener la dirección de la cadena, se alineó el eje del piñón conducido mediante dos rodamientos para mantener alineado el mandril y así evitar vibraciones en el sistema.

➤ **Instalación del sistema de refrigeración**



*Figura 52. Instalación del ventilador*

*Fuente. Autor*

Sistema de refrigeración necesario para evitar el recalentamiento del motor ya que el equipo debe operar durante 6 horas continuas.

➤ **Instalación y ajustes del reactor y las conexiones a la resistencia**



*Figura 53. Instalación y ajuste del reactor y conexión a la resistencia*

Fuente. Autor

Sobre la estructura inferior se ajustó el reactor mediante 4 espárragos los cuales permiten fijar la tapa que lleva el agitador para el caso del reactor metálico. En las 4 caras de la estructura del soporte del reactor se colocaron aislantes de fibrocemento para evitar pérdida de temperatura y accidentes por quemaduras. Para el acople del reactor de vidrio la alineación se realiza mediante una manta metálica que centra el depósito para que la tapa superior con el eje del agitador queden alineados con el mandril, posteriormente se realizaron las conexiones positiva y negativa a la resistencia que envuelve el reactor y le provee la temperatura.

➤ **Instalación y ajustes del sistema de control**



*Figura 54. Instalación y ajuste del sistema de control*

Fuente. Autor

Para el sistema de control se conectó la resistencia a un contactor que absorbe la carga cuando estas se encienden o apagan, el contactor va conectado al controlador de temperatura que mantiene la temperatura asignada dependiendo de la lectura que envía

la termocupla fijada al reactor. También se instalaron 3 swiches al lado del controlador, uno para encender el ventilador de refrigeración, otro para encender el controlador y el sistema de control de temperatura y el último para encender el motoreductor e iniciar la agitación.

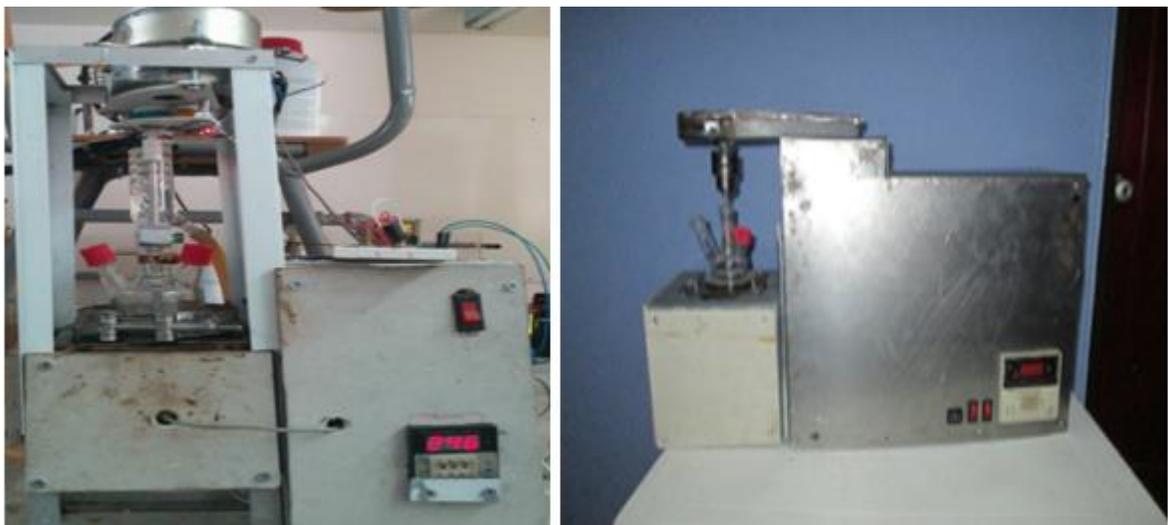
➤ **Configuración definitiva de la maquina**



*Figura 55. Configuraciones óptimas*

*Fuente. Autor*

Finalmente estas son las configuraciones con las que puede operar el equipo.



*Figura 56. Prototipo inicial y prototipo final de la máquina agitadora*

*Fuente. Autor*

### **8.3 MANUAL BÁSICO DE OPERACIÓN.**

- Tener en cuenta que después de llenar el reactor y acoplar el agitador, primero se debe encender el ventilador de refrigeración.

- Encienda la resistencia y el controlador de temperatura elevando la temperatura de forma alterna cada 20° utilizando el controlador.
- Revisar que el acople del mandril y el eje del agitador esté debidamente alineado antes de encender el motor.
- Luego de completar la reacción evitar el contacto directo con el reactor ya que se recalienta la superficie.
- Proceda a desconectar la energía de la resistencia.
- Apagar el motor.
- Después de 10 minutos apague el ventilador para que todo el sistema se enfríe por convección forzada.
- Proceda a desenchufar todo el equipo

#### **8.4 CONDICIONES DE OPERACIÓN**

Las condiciones de operación se mantuvieron a través de los controladores de velocidad y temperatura equipados en el reactor, según las obtenidas por Uzoh, 2013 (Bashiri, Alizadeh, Bertrand, & Chaouki, 2015), la única diferencia, respecto al artículo, es la velocidad de agitación que se mantuvo a 420 rpm durante todas las etapas del proceso; esta velocidad se fijó teniendo en cuenta que al trabajar con un agitador mecánico de paletas, si se emplean altas velocidades se presenta un vórtice más grande, que puede generar puntos fríos en el interior del reactor, causando así que la reacción no se lleve en su realice normalmente.

La presencia de materia volátil dentro de los polímeros representa la pérdida de masa durante la exposición a aumentos súbitos de temperatura, lo que proporciona una desventaja en el uso como recubrimientos, ya que la capa tendera a perder espesor y por tanto flaquear. El contenido de no volátiles tiende a aumentar cuando se aumenta la cantidad de aceite vegetal utilizado en la formulación (Ekpa, 2013.). El alto contenido de materiales no volátiles representa una gran ventaja debido a la reducción de las emisiones de los orgánicos volátiles, las cuales son reguladas en este tipo de aplicaciones. Por lo tanto las resinas obtenidas son de altos sólidos y se garantiza así, que siguen la tendencia medioambiental.

## 9. RESULTADOS

<b>Resultado</b>	<b>Beneficiario</b>
Equipo de agitación con control de temperatura	Estudiantes y docentes del programa de ingeniería química y estudiantes de postgrado
Documento de trabajo de grado con el proceso de diseño y construcción del equipo	Estudiante en formación y programa de ingeniería mecánica
Obtención de la resina alquídica	Estudiante de maestría (trabajo de grado)

*Tabla 3. Resultados obtenidos*

*Fuente. Autor*

## 10. CONCLUSIONES

Existe una gran diferencia entre el proceso de diseño en computador y el proceso de construcción del equipo, debido a los diversos problemas a solucionar durante la fabricación del mismo.

El equipo quedó funcionando en una velocidad constante de 875 rpm a partir de la reducción de velocidad mecánica que a través del controlador se podrá modificar a velocidades variables.

Se fabricó un equipo de tipo académico que posee características de resistencia mecánica para usos continuos.

Se tuvo en cuenta que el equipo debía tener facilidad de acceso al reactor por lo tanto, se hizo un sistema de acople móvil para la agitación.

Teniendo en cuenta los dos tipos de reactores que se pueden utilizar se realizó un sistema de desplazamiento que permite graduar la altura del reactor para un funcionamiento óptimo del mismo.

Los cálculos realizados para hallar la resistencia mecánica de la estructura están sobrediseñados debido a las altas temperaturas que debe soportar.

En las simulaciones realizadas se obtuvieron resultados de esfuerzo similares a los calculados manualmente, además se analizaron los puntos críticos donde el esfuerzo es máximo y se obtuvo una tendencia a que la estructura pueda fallar en las uniones soldadas.

No se pudo realizar la caracterización mecánica de la resina obtenida por el equipo a flexión y tracción debido a que el catalizador ideal para realizar el proceso de curado de la resina está en proceso de importación.

La síntesis de resinas alquídicas a partir de materia prima renovable, está en auge, y actualmente se llevan a cabo diversas investigaciones con objetivo de mejorar la biodegradabilidad, optimizar las propiedades fisicoquímicas y mejorar el rendimiento de las reacciones involucradas.

El aceite de palma como materia prima para la obtención de monoglicéridos utilizados en la industria de las resinas alquídicas, es una fuente renovable y nueva en este campo.

## **11. RECOMENDACIONES**

La utilización de aceite de palma para la síntesis de resinas alquídicas es una alternativa viable, se debe buscar el catalizador óptimo para el secado según la aplicación, ya que este tendrá efectos directos en el tiempo y forma de curado, además de la compatibilidad con los compuestos que forman la molécula alquídica.

Se recomienda el uso adecuado del equipo para evitar que se desperdicie reactivos por un control inadecuado de temperatura o agitación.

Una vez que el proceso de importación del catalizador que necesita la resina haya de la resina obtenida por el equipo.

Utilizar el equipo para prácticas de asignaturas bajo la estricta supervisión del docente para evitar accidentes y daños en el equipo.

Es importante que la universidad aproveche los conocimientos de los estudiantes en el desarrollo de equipos siempre y cuando exista apoyo económico.

## 12. BIBLIOGRAFÍA

- Askeland, D. R. (2010). *Ciencia e ingeniería de los materiales* (Tercera Edición ed.). Ciudad de México: International Thomson Editores.
- Assanvo, E. e. (2015.). Synthesis, characterization, and performance characteristics of alkyd resins based on Ricinodendron heudelotii oil and their blending with epoxy resins. *Industrial Crops and Products*, 65: p. 293-302.
- Assanvo, E. F., Gogoi, P., Dolui, S. K., & Baruah, S. D. (2015). Synthesis, characterization, and performance characteristics of alkyd resins based on Ricinodendron heudelotii oil and their blending with epoxy resins . *Industrial Crops and Products* , 65, 293-302. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0926669014007572>
- Ataei, S. R. (2011.). Palm Oleic Acid Based Alkyds: Effect of the Fatty Acid Content on the Polyesterification Kinetics. *Journal of Polymers and the Environment*, 19(2): p. 540-545.
- Bashiri, H., Alizadeh, E., Bertrand, F., & Chaouki, J. (2015). Investigation of Turbulent Fluid Flows in Stirred Tanks Using a Non-Intrusive Particle Tracking Technique . *Chemical Engineering Science* , - . Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250915006715>
- Bora, M. e. (2014). Karanja (*Millettia pinnata* (L.) Panigrahi) seed oil as a renewable raw material for the synthesis of alkyd resin. *Industrial Crops and Products*, p. 106-114.
- Bora, M. e. (2014). Synthesis and characterization of yellow oleander (*Thevetia peruviana*) seed oil-based alkyd resin. *Industrial Crops and Products*, 52: p. 721-728.
- Boruah, M. e. (2012.). Preparation and characterization of *Jatropha Curcas* oil based alkyd resin suitable for surface coating. *Progress in Organic Coatings*, 74(3): p. 596-602.
- Cardeño, F. e. (2013.). Síntesis de Resinas Alquídicas a partir de Aceites de Higuera, de Palma y de Fritura, Mezclados con Aceite de Soja. *Información tecnológica*, 24(4): p. 7-8.
- Cardona, S. e. (2010). OBTENCIÓN DE MONOGLICÉRIDOS DE ACEITE DE RICINO EMPLEANDO GLICERINA REFINADA Y CRUDA. *REVISTA DE LA FACULTAD DE QUÍMICA FARMACÉUTICA*, 17(2): p. 128-134.
- Díaz, A. e. (2009.). INFLUENCIA DEL TIPO Y CONCENTRACIÓN DE MATERIA PRIMA EN EL TIEMPO DE REACCIÓN Y PROPIEDADES FINALES DE RESINAS ALQUÍDICAS MEDIAS. *Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales*, 2(1): p. 41-42.
- Ekpa, O. a. (2013.). Fatty acid composition of melon (*Colocynthis vulgaris* Shrad) seed oil and its application in synthesis and evaluation of alkyd resins. *IOSR Journal of Applied Chemistry*, 4(4): p. 30-41.
- Elrebii, M., Kamoun, A., & Boufi, S. (2015). Waterborne hybrid alkyd/acrylic dispersion: Optimization of the composition using mixture experimental designs . *Progress in*

- Organic Coatings*, 87, 222-231. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944015300175>
- Esteves, B. M., Rodrigues, C. S., Boaventura, R. A., Maldonado-HÃ³dar, F., & Madeira, L.s. M. (2016). Coupling of acrylic dyeing wastewater treatment by heterogeneous Fenton oxidation in a continuous stirred tank reactor with biological degradation in a sequential batch reactor. *Journal of Environmental Management*, 166, 193-203. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0301479715303066>
- Ferdinand P. Beer, E. R. (2013). *Mecánica de materiales*. Chicago: McGraw Hill.
- Hofland, A. (2012.). Alkyd resins: From down and out to alive and kicking. *Progress in Organic Coatings*, 73(4): p. 274-282.
- Islam, M. M. (2014.). Alkyd Based Resin from Non-drying Oil. *Procedia Engineering*, 90: p. 78-88.
- Issam, A. a. (2009.). A Study of the Effect of Palm Oil on the Properties of a New Alkyd Resin. *Malaysian Polymer Journal*, 4(1): p. 42-49.
- Nagendran, B. e. (2000). Characteristics of red palm oil, a carotene- and vitamin E-rich refined oil for food uses. *Food and Nutrition Bulletin*, 21(2): p. 189-194.
- Nanvaee, A. R.-N. (2013). Gan, Cleaner production through using by-product palm stearin to synthesis alkyd resin for coating applications. *Journal of Cleaner Production*, 54: p. 307-314.
- Narváez, P. D. (2004). Main Technologies for Production of Oleochemicals From Palm Oil and Palm Kernel Oil. *palmas*, 47-66.
- Narváez, P. M. (2015). Kinetics of palm oil ethanolysis. *Energy*, 83: p. 337-342.
- Nosal, H. e. (2015.). Synthesis and characterization of alkyd resins based on *Camelina sativa* oil and polyglycerol. *Progress in Organic Coatings*, 86: p. 59-70.
- Nosal, H., Nowicki, J., Warza, M., Nowakowska-Bogdan, E., & Zarębska, M. (2015). Synthesis and characterization of alkyd resins based on *Camelina sativa* oil and polyglycerol. *Progress in Organic Coatings*, 86, 59-70. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0300944015001241>
- Pippola, J., Marttila, T., & Frisk, L. (2014). Protective coatings of electronics under harsh thermal shock. *Microelectronics Reliability*, 54(9-10), 2048-2052. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0026271414003023>
- Seniha Güner, F. Y. (2006). Tuncer Erciyes, Polymers from triglyceride oils. *Progress in Polymer Science*, 31(7): p. 633-670.
- Shaker, N. N.-s. (2012.). Preparation, characterization and evaluation of jojoba seed oil modified alkyd resins. *Der Chemica Sinica*, 3(5): p. 1157-1162.
- Smith, W. F. (2010). *Fundamentos de la ciencia e ingeniería de los materiales*. Orlando, Florida: Mc Graw Hill.
- Uzoh, C. e. (2013.). Optimization of polyesterification process for production of palm oil modified alkyd resin using response surface methodology. *Journal of Environmental Chemical Engineering*, 1(4): p. 777-785.

- Uzoh, C. e. (2013.). SYNTHESIS AND CHARACTERIZATION OF PALM OIL BASED AIR DRYING ALKYD RESIN FOR SURFACE COATING. *Research Journal in Engineering and Applied Sciences*, 2(3): p. 187-191.
- Uzoh, C., Onukwuli, O., Odera, R., & Ofochebe, S. (2013). Optimization of polyesterification process for production of palm oil modified alkyd resin using response surface methodology . *Journal of Environmental Chemical Engineering* , 1(4), 777-785. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343713001139>
- Uzoh, C., Onukwuli, O., Odera, R., & Ofochebe, S. (2013). Optimization of polyesterification process for production of palm oil modified alkyd resin using response surface methodology . *Journal of Environmental Chemical Engineering* , 1(4), 777-785. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S2213343713001139>
- Wang, H., Qu, Y., Li, D., Zhou, X., & Feng, Y. (2015). Evaluation of an integrated continuous stirred microbial electrochemical reactor: Wastewater treatment, energy recovery and microbial community . *Bioresource Technology* , 195, 89-95. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0960852415008299>
- Wang, R., Wan, J., Li, Y., & Sun, H. (2015). A further catalysis mechanism study on Amberlyst 35 resins application in alkylation desulfurization of gasoline . *Chemical Engineering Science* , 137, 59-68. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0009250915003929>
- Zhao, W., Liu, J., Peng, H., Liao, J., & Wang, X. (2015). Synthesis of a novel PEPA-substituted polyphosphoramidate with high char residues and its performance as an intumescent flame retardant for epoxy resins . *Polymer Degradation and Stability* , 118, 120-129. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391015001603>
- Zhou, Y., Feng, J., Peng, H., Qu, H., & Hao, J. (2014). Catalytic pyrolysis and flame retardancy of epoxy resins with solid acid boron phosphate . *Polymer Degradation and Stability* , 110, 395-404. Obtenido de <http://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0141391014003851>

## **13. ANEXOS**

**13.1 PIEZAS**

**13.2 PLANOS**

**13.3 RESUMEN EXTENDIDO**

**13.4 ACTA DE SUSTENTACIÓN**