

**UNIVERSIDAD DISTRITAL "FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS" - FACULTAD TECNOLÓGICA
 PROYECTO CURRICULAR DE TECNOLOGÍA E INGENIERÍA MECÁNICA
 FORMATO DE PROYECTOS DE GRADO**


Nº DE RADICACIÓN: _____

INFORMACIÓN EJECUTORES

Ejecutor 1

Nombre (s):	Wildon Camilo	
Apellido (s):	Galindo Ramírez	
Código:	20162375137	
E-mail:	camilogalindoramirez@gmail.com	
Teléfono fijo:	3007934	
Celular:	3133565056	

Ejecutor 2

Nombre (s):	David Leonardo	
Apellido (s):	Gamboa Rodríguez	
Código:	20162375055	
E-mail:	david_gamboa_r@hotmail.com	
Teléfono fijo:	7158091	
Celular:	3124909877	

INFORMACIÓN DEL PROYECTO

Título del Proyecto:	Optimización del sistema estructural de una máquina de rotomoldeo 2000 dual fabricada en la empresa famser Ltda.	
Duración (estimada):	12 semanas	
Tipo de Proyecto: (Marqué con una "x")	Innovación y Desarrollo Tecnológico	<input checked="" type="checkbox"/>
	Prestación y Servicios Tecnológicos	<input type="checkbox"/>
	Otro	<input type="checkbox"/>
Modalidad del Trabajo de Grado:	Monografía	
Línea de Investigación de la Facultad*:	Optimización de un proceso industrial	
Línea de Investigación del Proyecto Curricular**:	Diseño en ingeniería mecánica	
Grupo de Investigación:		
Proyecto de Investigación:		
Áreas del conocimiento que involucra:	Diseño, resistencia de materiales, Materiales, Dibujo técnico.	

INFORMACIÓN COMPLEMENTARIA

Director: (Vo. Bo.)	Ing. Carlos Bohórquez
Proyecto de Pasantía: (Tutor): (Vo. Bo.)	
Formulación Proyecto de Grado: (Profesor): (Vo. Bo.)	Ing. Carlos Bohórquez

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DE UNA MÁQUINA DE
ROTOMOLDEO 2000 DUAL FABRICADA EN LA EMPRESA FAMSER LTDA**

**WILDON CAMILO GALINDO RAMIREZ
DAVID LEONARDO GAMBOA RODRIGUEZ**

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2017**

**OPTIMIZACIÓN DEL SISTEMA ESTRUCTURAL DE UNA MÁQUINA DE
ROTOMOLDEO 2000 DUAL FABRICADA EN LA EMPRESA FAMSER LTDA**

**WILDON CAMILO GALINDO RAMIREZ
DAVID LEONARDO GAMBOA RODRIGUEZ**

PROPUESTA DE PROYECTO DE GRADO

**UNIVERSIDAD DISTRITAL FRANCISCO JOSÉ DE CALDAS
FACULTAD TECNOLÓGICA
PROYECTO CURRICULAR DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D.C.
2017**

Contenido	
RESUMEN	6
1. INTRODUCCIÓN	7
2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA	7
2.1. ESTADO DEL ARTE	8
2.2. JUSTIFICACIÓN:.....	10
3. OBJETIVOS:.....	11
3.1 GENERAL	11
3.2 ESPECÍFICOS:	11
4. MARCO TEÓRICO	11
4.1 Optimización	11
4.2 Análisis por elementos finitos (FEA).....	11
4.2.1 Beneficios del FEA.....	12
4.2.2 Clasificación de análisis	12
4.3 Optimización Paramétrica.....	13
4.3.1 Parámetros de entrada	13
4.3.2 Parámetros de diseño	13
4.3.3 Función objetivo	13
4.3.4 Restricciones	13
4.3.5 Restricciones geométricas	14
4.3.6 Condiciones de paro.	14
4.4 CONCEPTOS MECÁNICOS	14
4.4.1 El módulo de Young.....	14
4.4.2 Coeficiente de Poisson	14
4.4.3 Esfuerzo de cedencia.....	15
4.4.4 Esfuerzo último.....	15
4.4.5 Energía de deformación.....	15
4.4.6 Criterio de Von Misses o de la máxima energía de distorsión	15
4.4.7 Factor de Seguridad.....	16
4.5 Rotomoldeo	16
4.5.1 Ventajas del rotomoldeo	16
4.5.2 Aplicaciones	16
4.5.3 MAQUINAS	17
5. METODOLOGÍA	18
6. CRONOGRAMA	19

7. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN.....	20
8. BIBLIOGRAFIA.....	21

LISTA DE TABLAS

TABLA 1: CRONOGRAMA.....	19
TABLA 2: PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN.....	20

RESUMEN

En este Proyecto se presentará la optimización de los sistemas estructurales de una máquina de rotomoldeo flama abierta dual para moldes de 2000 litros, fabricada en la empresa Famser Ltda, partiendo desde el planteamiento de objetivos puntuales que nos permita conocer las condiciones precisas a las que son sometidos los elementos de la máquina; dicha optimización se realizará principalmente sobre tubería estructural, además se incluirá un estudio de costos de proyecto.

1. INTRODUCCIÓN

La ingeniería mecánica como ciencia aplicada, busca constantemente diseñar y analizar procesos que cada vez sean más óptimos, que consuman el mínimo de recursos, además de reducir de los requerimientos de energía para su funcionamiento. En la actualidad se usan software de diseño asistido y programas matemáticos que mediante modelamientos y formulación de ecuaciones y funciones lógicas, logren describir los componentes y las variables de un sistema en estudio, para obtener resultados de una manera más rápida y realizar cambios de una manera más ágil y dinámica.

En el actual proyecto, se describirán una serie de pasos, técnicas y objetivos a alcanzar en la optimización de la estructura de una máquina de rotomoldeo flama abierta 2000 dual, para lo cual se hará la revisión de trabajos realizados por algunos autores sobre máquinas similares.

El rotomoldeo o moldeo rotacional es un proceso de formado de plástico en el cual se introduce un polímero en estado sólido (en polvo o granulado) dentro de un molde que generalmente está fabricado en acero o aluminio; mediante un calentamiento externo del molde y un movimiento de rotación y traslación de éste se logra que al incrementar la temperatura en el plástico por la convección térmica que se realiza dentro del molde, pase a estado líquido y empiece a tomar la forma que lo contiene. Para éste proceso se realizan diferentes tipos de máquinas tales como:

- Máquina rock and roll.
- Máquina tipo carrusel.
- Máquina flama abierta.

Entre otros que se describirán más adelante.

2. FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

La carencia de análisis estructurales detallados en el diseño de máquinas de rotomoldeo tipo flama abierta dentro de la empresa FAMSER LTDA¹, crea cierta incertidumbre sobre dimensiones y espesores de los elementos empleados al igual que en el diámetro y grado de los tornillos usados. En la actualidad se fabrica con análisis y cálculos basados en dimensiones generales y en elementos encontrados en máquinas importadas de éste tipo.

¹ Famser Ltda. empresa de fabricación de maquinaria agroindustrial.

Al realizar un proceso de optimización se busca un diseño inmejorable de esta y aumentar la eficiencia del equipo disminuyendo la energía requerida en el proceso.

Así mismo es necesario conocer las dimensiones generales iniciales de la máquina, para posteriormente compararla con el diseño optimizado, es por esto que se deben tener los planos generales de los elementos a optimizar.

2.1. ESTADO DEL ARTE

El rotomoldeo es una de las múltiples técnicas de fabricación que en la actualidad se utilizan para hacer piezas de plástico. Sin embargo, estas máquinas pueden resultar muy grandes para empresas con poco espacio o pesadas para transportar.

El estudio del proceso de rotomoldeo es de interés para muchas universidades y personas que han trabajado en proyectos para desarrollar nuevas máquinas de rotomoldeo que sean simples y compactas pero que mantengan las propiedades mecánicas necesarias para funcionar sin el riesgo de dañarse. Algunos de estos trabajos se presentan a continuación:

En el proyecto "***Diseño de una Máquina de Rotomoldeo para fabricación de Envases Plásticos***", Villao y Castillo² presentan el diseño de un sistema de rotomoldeo con rotación biaxial, el cual permite fabricar tanques de polietileno de baja densidad de 500 litros de capacidad u otros productos hechos de polietileno de dimensiones hasta 950 x 1000 x 1000mm.

La construcción de la máquina rotomoldeadora resultaría viable con un costo de 24.772,00 dólares, debido a la disponibilidad de los materiales en el mercado local y a los altos precios que tienen equipos similares en el exterior. De los resultados obtenidos se decidió utilizar barras de sección transversal cuadrada debido a la torsión a las que estarían sometidas.

En cuanto al diseño de la máquina y sus cálculos teóricos-matemáticos se logró obtener resultados que satisfacen las normas internacionales de diseño como la AWS y AFBMA, donde los factores de seguridad son mayores que 1; lo que garantiza la seguridad en su funcionamiento.

También se encontró un proyecto aún más novedoso desde el punto de vista de su simplicidad. Duffy, A., Tyler, C., Harrison, E. estudiantes de la Universidad de Rochester, construyeron en el 2009 una versión casera en miniatura de este tipo de maquinaria que replica el proceso de rotomoldeo donde la pieza a fabricar [hecha de biorresinas] está sujeta a una malla metálica dentro de un par de marcos entrecruzados y por medio de un juego de engranes, cadenas y poleas giran por la acción de un taladro inalámbrico.

² VILLAGO, Giovanni y CASTILLO, Luis Danilo. Diseño de una Máquina de Rotomoldeo para fabricación de Envases Plásticos. Trabajo de grado en Ingeniería Mecánica. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006. 146 p.

En Colombia las industrias que trabajan con el proceso de rotomoldeo dentro de su línea de producción son escasas, normalmente las piezas que se requieren son desarrolladas y adquiridas por medio de proveedores externos. Algunas empresas pequeñas, en las que aplican la disciplina de rotomoldeo como principal proceso en su industria lo aplican con máquinas artesanales o de alta gama y de gran tamaño.

El proyecto titulado “**Diseño y control de una rotomoldeadora**” de Fredy Miguel Abril Correa³, propuso diseñar una máquina de rotomoldeo con sistema de control y de fácil manipulación para la fabricación de productos plásticos de un tamaño mediano y pequeño que cuenten con un acabado y resistencia de calidad. La rotomoldeadora tiene un valor menor ya que sus elementos son de fácil adquisición y cuenta con un control simple y eficaz

El desarrollo de este proyecto tuvo lugar en la ciudad de Pereira - Risaralda, en la Universidad Tecnológica de Pereira, laboratorios de Mecatrónica (ParqueSoft), ubicados en el barrio San Luis y las áreas de ingeniería de Busscar de Colombia S.A.S. km. 14 vía Pereira-Cerritos.

En el trabajo de Abril Correa se destacan las siguientes conclusiones:

- A partir de los resultados de este proyecto se logra determinar que los objetivos planteados se lograron cumplir.
- Un motor con alta capacidad de torque superior a la necesaria en el proceso solo se justifica si las dimensiones de la máquina fueran mayores.
- Las dimensiones de la máquina influyen altamente en la capacidad de piezas y tipos de molde a sí mismo como en sus componentes a controlar y que ejercen una reacción a las variables a controlar.
- Un buen diseño en 3D permite adelantarse a problemas que solo en la construcción se percataron.
- Tener en cuenta el procedimiento de construcción de la máquina permite visualizar mejor la configuración de los componentes.

Cabe destacar que no solo los proyectos que tienen que ver directamente con el diseño de rotomoldeadoras contribuyen a la realización de nuevos diseños de las mismas. También se encontraron trabajos que se enfocan en la optimización de estructuras mecánicas por medio de elementos finitos.

El trabajo “**Optimización topológica en el diseño de elementos estructurales mecánicos**”, de Carlos Alberto Meza⁴ hace una revisión de la técnica de optimización topológica aplicada al diseño de estructuras. El problema consiste en encontrar la topología que tenga mayor rigidez.

³ ABRIL, Freddy Miguel. Diseño y control de una rotomoldeadora. Trabajo de grado en Ingeniería Mecatrónica. Pereira: Universidad tecnológica de Pereira, 2013. 188 p.

⁴ MEZA, Carlos Alberto. Optimización topológica en el diseño de elementos estructurales mecánicos. En revista: El hombre y la máquina (En línea). Cali, Enero – junio de 2015. [Citado 01, septiembre, 2017]. Disponible en: http://ingenieria.uao.edu.co/hombreymaquina/revistas/46-2015-1/Articulo7_Carlos_A_Meza.pdf

La implementación numérica se realizó totalmente en Matlab, que es un lenguaje de alto nivel especialmente diseñado para el trabajo numérico y dispone de gran cantidad de funciones y algoritmos matemáticos.

En la parte final del trabajo (diseño mecánico) el método de optimización topológica se aplica al diseño de componentes de unión mecánica, muy comunes en estructuras y máquinas tales como grúa, puentes, automóviles, barcos, aviones etc. posteriormente el diseño es simulado en Ansys y los resultados permitieron los esfuerzos presentados en la pieza original y la modificada

Carlos Meza concluye que el código elaborado logró reproducir exitosamente muchos de los resultados reportados en la literatura. También se analizó el efecto que tienen los parámetros de diseño sobre la estructura final. El elemento que fue optimizado en el ejemplo mostró una gran reducción de peso sacrificando un poco el factor de seguridad

2.2. JUSTIFICACIÓN:

La empresa FAMSER LTDA, fabrica maquinaria y equipos agroindustriales con múltiples líneas de aplicación, entre ellas la línea de rotomoldeo la cual lleva 20 años de producción y desarrollo.

En la actualidad, esta empresa genera una amplia gama de productos tales como moldes para camillas, piezas especiales y tanques de almacenamiento de fluidos, maquinaria para moldes de 250, 500, 1000, 2000 y 6000 litros, entre otros.

Durante gran parte del tiempo de producción, se han actualizados los diseños y se han mejorado las máquinas, que inicialmente fueron diseños basados en máquinas existentes en el mercado global y que fueron introducidos al país por compañías extranjeras.

No obstante, a pesar de la amplia experiencia que posee la empresa en dicho mercado, ha existido una carencia de análisis estructurales técnicos, que hoy en día se facilitan gracias a la ayuda de programas de dibujo y de diseño asistido desconocidos en el ámbito nacional hace algunas décadas y que agilizan el proceso de diseño.

Con ayuda de un software de diseño, se plantea hacer el análisis de miembros estructurales, soldaduras y tornillerías a una máquina de rotomoldeo flama abierta 2000 dual, la cual fue elegida por ser una de las más grandes y comerciales, adicionalmente es la que soporta mayores cargas por su tamaño y configuración, requiriendo más energía para su proceso.

De igual manera, se plantea usar un programa de diseño asistido, gracias a la precisión de los resultados que nos arroja en los análisis y a la facilidad de uso y modificación de variables.

3. OBJETIVOS:

3.1 GENERAL

Optimizar el sistema estructural de una máquina de rotomoldeo 2000 dual fabricada en la empresa FAMSER LTDA con ayuda del software ANSYS⁵.

3.2 ESPECÍFICOS:

- Calcular las fuerzas de operación a los que está sometida la máquina durante un proceso normal de producción.
- Revisar la optimización paramétrica a la estructura de una rotomoldeadora 2000 dual.
- Comparar la resistencia mecánica y los costos de la estructura original con la estructura optimizada.

4. MARCO TEÓRICO

4.1 Optimización

La optimización es un proceso matemático en el que se busca maximizar o minimizar una función, esta puede estar sujeta a una o varias restricciones. La optimización topológica es un proceso para determinar la mejor distribución de material dentro de un volumen denominado dominio de diseño.

4.2 Análisis por elementos finitos (FEA)⁶

El método de elementos finitos (FEM), es un método numérico que permite resolver sistemas de ecuaciones diferenciales parciales muy complejas, lo que permite modelar diversos problemas físicos. El Análisis por elementos finitos es la aplicación práctica del método de elementos finitos (FEM), que es utilizado por ingenieros y científicos para matemáticamente modelar y resolver numéricamente problemas de complejas estructuras, fluidos y de termodinámica. Existen diversos software que permiten hacer este tipo de

⁵ ANSYS es un software de simulación ingenieril de Ansys Inc. Está desarrollado para funcionar bajo la teoría de elemento finito.

⁶Análisis por elementos finitos (FEA). Tomado de: <https://www.plm.automation.siemens.com/es/plm/fea.shtml>

análisis entre los que se encuentra Ansys el cual se utilizara en el desarrollo de este proyecto.

4.2.1 Beneficios del FEA⁷

El FEA puede ser utilizado en el diseño de nuevos productos, o para refinar un producto ya existente, para asegurar que el diseño será capaz de realizar las especificaciones antes de la fabricación. Con FEA puede:

- Predecir y mejorar el rendimiento y fiabilidad del producto
- Reducir la creación de prototipos físicos y pruebas
- Evaluar los diferentes diseños y materiales
- Optimizar el diseño y reducir el uso de materiales

4.2.2 Clasificación de análisis

Los análisis que se pueden realizar mediante el método de elemento finito en el ámbito de la mecánica para evaluar estructuras en general, pueden ser divididos en problemas estáticos y dinámicos.

a) Análisis de esfuerzos

Los datos de entrada más importantes son las cargas aplicadas bajo cierto escenario, en un análisis por elemento finito se obtienen valores para las deformaciones y esfuerzos, y al comparar los valores calculados, con valores conocidos de los materiales, se determina si un material puede fallar o si se puede optimizar.

b) Análisis de rigidez

Consisten principalmente en conocer los desplazamientos de una pieza o componente bajo cierta carga. Así se pueden obtener curvas de fuerza vs desplazamiento de varios puntos.

c) Análisis de frecuencia natural

También es posible hacer análisis de frecuencias con el objetivo de evitar problemas de ruido y excitaciones de la frecuencia natural (resonancia).

d) Análisis de tiempo de vida y durabilidad

Además es posible conocer la vida útil de una pieza, para ello es necesario conocer su comportamiento cuando está sujeta a cargas cíclicas, es necesario conocer el cambio de propiedades con el tiempo y la progresión de las cargas.

e) Análisis de optimización de forma y topología

Los FEM no solamente sirven para analizar piezas ya diseñadas, también pueden ser útiles para determinar la forma y topología óptima de una pieza. Se requieren parámetros de

⁷ Beneficios del FEA. Tomado de: <https://www.plm.automation.siemens.com/es/plm/fea.shtml>

entrada como: carga aplicada, las condiciones de frontera y el requerimiento de diseño (peso mínimo, máxima rigidez, esfuerzo máximo permitido).

4.3 Optimización Paramétrica

4.3.1 Parámetros de entrada

En cualquier tipo de análisis (estático o dinámico) se requiere de un modelo que sea susceptible a ser mallado, este modelo debe tener información importante sobre la geometría y forma. Para el caso de simulaciones estructurales lineales, las propiedades del material que se deben conocer son: el módulo de Young (E), coeficiente de Poisson (ν), la densidad del material y el esfuerzo de cedencia como límite de la región elástica.

Además se establecen las condiciones de frontera (y condiciones iniciales para los análisis dinámicos), las condiciones de frontera son: fuerzas conocidas, momentos, desplazamientos y velocidades en diferentes puntos. También se necesitan establecer cuáles son las superficies en contacto en el modelo.

4.3.2 Parámetros de diseño

Los parámetros de diseño son valores escalares que se utilizan para definir la función objetivo y las restricciones de la optimización. Por ejemplo la energía de deformación y el volumen como parámetros de diseño.

4.3.3 Función objetivo

Las funciones objetivo se definen a partir de los parámetros de diseño, y la finalidad es minimizar o maximizar un parámetro de diseño seleccionado. Por ejemplo: la energía de deformación, desplazamientos y rotaciones, fuerzas de reacción y fuerzas internas, volumen, peso de un material, etc

4.3.4 Restricciones

Las restricciones también se definen con los parámetros de diseño, la diferencia radica en que permiten tener un valor mayor al valor inicial del parámetro seleccionado o menor que el valor inicial del parámetro seleccionado. En el caso de minimizar la energía de deformación en la función objetivo, entonces se debe definir una restricción de volumen.

4.3.5 Restricciones geométricas

Las restricciones geométricas se aplican en la región de diseño y sirven para delimitar los modelos o para que la manufactura sea más sencilla. Se pueden aplicar restricciones para que no se modifiquen ciertas superficies, se puede establecer el tamaño mínimo de los elementos, se puede definir la dirección de desmoldeo en caso de que se busque crear una pieza por forja.

4.3.6 Condiciones de paro.

En general las condiciones de paro definen el número de ciclos máximos que puede realizar cada análisis, estas ya están definidas pero pueden ser modificadas por el usuario.

4.4 CONCEPTOS MECÁNICOS

Muchos de los conceptos mostrados se encuentran ampliamente desarrollados, así que se expone puntualmente el concepto de cada uno de ellos y su aplicación en el problema.

4.4.1 El módulo de Young⁸

Expresa la proporción entre tensión directa y la deformación que produce. Tiene validez dentro de los límites de la ley de Hooke por lo tanto es constante para un material dado. Representa la fuerza necesaria para obtener una deformación por unidad. Se supone que es el mismo tanto para tracción como para compresión.

$$E = \frac{\text{Esfuerzo}}{\text{Deformacion}}$$

4.4.2 Coeficiente de Poisson⁹

Es una constante elástica que relaciona el incremento de deformación que sufre en dirección perpendicular la carga y el incremento de deformación que sufre según la dirección de la carga aplicada.

La proporción entre la deformación lateral y axial es una constante para cada material conocida como coeficiente de Poisson y se denota por ν .

Definida como:

⁸ ADLLESON, Lyall. Materiales para la construcción, Vol 1. Editorial Reverte, 2001. 196 p.

⁹ VÉLEZ, Ligia. Materiales industriales: teoría y aplicación. Medellín: Instituto Tecnológico metropolitano. 2008.

$$v = \frac{\text{deformacion unitaria lateral}}{\text{deformacion unitaria axial}}$$

4.4.3 Esfuerzo de cedencia

El esfuerzo de cedencia es el esfuerzo que produce en un material una deformación específica, permanente y limitadora. El esfuerzo de cedencia de un material es el esfuerzo correspondiente a la intersección de la línea paralela a la excentricidad con respecto a la curva de esfuerzo y deformación. El esfuerzo de cedencia en tensión indica la resistencia a la deformación permanente, producida por cargas de tensión.

4.4.4 Esfuerzo último

El esfuerzo último se considera cuando el material alcanza su valor máximo en la curva esfuerzo deformación

4.4.5 Energía de deformación¹⁰

Es una energía elástica, las fuerzas externas deforman y provocan que se acumule la energía, que posteriormente al quitar la carga permite que la pieza recobre su forma original.

4.4.6 Criterio de Von Misses o de la máxima energía de distorsión¹¹

Es una combinación única del esfuerzo principal máximo σ_1 y el esfuerzo principal mínimo σ_2 que se puede comparar en forma directa con el esfuerzo de fluencia del material para predecir falla por fluencia.

Cualquier punto de coordenadas $(\sigma_1, \sigma_2, \sigma_3)$ estará seguro siempre que se encuentre dentro de la superficie definida por:

$$[(\sigma_1 - \sigma_2)^2 + (\sigma_2 - \sigma_3)^2 + (\sigma_3 - \sigma_1)^2] = 2S_y^2$$

¹⁰ LEÓN DE LA BARRA, Alejandro. Apuntes de análisis estructural. Universidad Iberoamericana. 1997

¹¹ MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. Pearson Educación, 2006. 872 p.

4.4.7 Factor de Seguridad¹²

Es la razón de la carga de falla dividida entre la carga permisible. La carga de falla se determina por medio de ensayos y el factor de seguridad se selecciona con base en la experiencia. El factor de seguridad se escoge mayor que uno para evitar una posible falla.

4.5 Rotomoldeo¹³

El rotomoldeo es un proceso de elaboración de materiales termoplásticos que permite obtener cuerpos huecos de cualquier tamaño y forma. Se trata de una tecnología que se distingue de los convencionales procedimientos de moldeo por inyección y soplado, resultando especialmente indicada para la producción en pequeñas series de artículos que también son geoméricamente complejos, piezas de grandes dimensiones y cuerpos huecos que no es posible obtener de otra manera.

4.5.1 Ventajas del rotomoldeo

La técnica del rotomoldeo se está imponiendo progresivamente como una importante respuesta tanto para el mundo del diseño como para una amplia gama de aplicaciones industriales.

Podemos enumerar algunas ventajas:

- Gran flexibilidad en el diseño de piezas
- Permite formas de contorno complicado con diferentes espesores y acabados superficiales.
- Fabricación del producto en una sola pieza, hueca sin necesidad de soldaduras. El espesor de la pared es uniforme y puede ser aumentado o disminuido, sin necesidad de modificar el molde.
- Se pueden fabricar piezas con insertos metálicos y otros tipos de refuerzos.
- Se adapta tanto a pequeñas como a grandes producciones. Pueden fabricarse piezas de distinto color y tamaño en un mismo ciclo.
- Bajo coste en moldes y utillaje.
- Cambio rápido del color.

4.5.2 Aplicaciones

Algunas de las tantas aplicaciones que tiene el rotomoldeo son:

- Cisternas, tanques y bidones para la industria láctea-quesera y de los helados;

¹² HIBBELER, R.C. Mecánica de materiales. Pearson Educación, 2006. 876 p.

¹³ Rotomoldeo. Tomado de: <http://www.rotomachinery.com/es/technology>

- Contenedores para residuos urbanos;
- Cisternas para reservas hídricas de emergencia
- Dosificadores para tratamientos aguas;
- Cilindros portacables de gran diámetro;
- Chasis de butacas y sofás;
- Apoyabrazos y chasis de asientos;
- Canoas, balizados, defensas;
- Caballitos balancines, coches;
- Toboganes y juegos de gran tamaño para comunidades;

4.5.3 MAQUINAS¹⁴

Dado que las partes rotomoldeadas pueden variar en volumen entre 0,05 litros a más de 10.000 litros, es difícil generalizar los tipos de máquinas. Los aspectos comunes del proceso son que el molde y su contenido tienen que ser girados, calentados, y luego enfriados. Las variedades de máquinas que están disponibles se describen a continuación.

6.5.3.1 Máquinas Rock-and-Roll

El concepto de las máquinas Rock-and-Roll consiste en una acción oscilante alrededor de un eje (rock) y una rotación total de 360° alrededor de un eje perpendicular (roll). Este tipo de máquinas fue una de las primeras utilizadas para moldeo rotacional.

Por lo general en una máquina rock and roll un único molde está montado en el marco, la velocidad de rotación es baja (típicamente 4 rev / min), y el ángulo de rotación es inferior a 45°.

4.5.3.2 Máquinas de carrusel

En la actualidad el tipo más común de máquina de rotomoldeo es una de múltiples cabezales o máquina de carrusel. La máquina carrusel fue desarrollado para la producción de grandes tiradas de partes medianas a moderadamente grandes.

La máquina de carrusel ejemplifica una de las ventajas del proceso del moldeo rotacional en el que diferentes moldes, o inclusive hasta diferentes materiales, pueden ser utilizados en cada uno de los brazos.

Una desventaja de las máquinas de brazo fijo es el hecho de que todos los brazos se mueven juntos. Por lo tanto para un uso óptimo los tiempos de calefacción, refrigeración y servicio tienen que ser igualados o de lo contrario el tiempo de ciclo será dictado por el evento más lento y se perderá tiempo en las otras etapas. Esta desventaja se ha superado en cierta medida con el desarrollo de la máquina de carrusel con brazos independientes.

¹⁴Máquinas. Tomado de: <https://www.textoscientificos.com/polimeros/rotomoldeo/maquinas>

4.5.3.3 Máquinas Shuttle

Las máquinas de rotomoldeo Shuttle o de lanzadera fueron desarrolladas en un intento de conservar espacio. Existen muchos tipos de diseños de máquinas Shuttle. Por ejemplo en un tipo de máquina Shuttle, el conjunto del molde, montado en un carro sobre rieles, se transporta desde la estación de servicio / estación de enfriamiento hasta la estación de horno, y de nuevo a la estación de servicio / enfriamiento. La máquina rotomoldeo Shuttle se utiliza con frecuencia para el rotomoldeo de piezas grandes. El marco para sostener el molde se monta sobre un carro móvil. Incorporado en el carro se encuentran los motores de accionamiento para girar el molde en ambos ejes. El carro se encuentra sobre un riel que permite que el molde se mueva dentro y fuera del horno.

5. METODOLOGÍA

Etapa Estudio del Problema:

En ésta etapa se observará el funcionamiento de una máquina de rotomoldeo 2000 dual fabricada con los diseños de la empresa Famser Ltda, uno de los principales fabricantes de maquinaria del país, luego de ver sus funciones en campo, se observarán con un poco de mayor detalle, dónde y qué elemento se deberán estudiar inicialmente.

Etapa de investigación:

Se plantea verificar cuales han sido los diseños que se han hecho de dicho equipo y verificar de qué fabricante se basó el diseño inicial, se tratará de buscar contacto con otras empresas fabricantes para verificar si han hecho algún tipo de análisis estructural.

Etapa diseño:

En ésta etapa se digitalizarán las estructuras requeridas para el análisis en un formato que sea universal y permite hacer proceso como simulación de cargas, análisis de fatiga, de torque, de momentos, entre otros que se requieran en su instante

Etapa análisis teórico:

Se revisará información de los materiales, fichas técnicas, se revisaran toda la información que se necesite antes de iniciar un análisis estructural, posteriormente se hará un análisis estructural general que nos sirva para identificar la magnitud de los esfuerzos a los que está sometida la máquina.

Etapa de mediciones mediante el software:

Luego de tener información de los esfuerzos, mediante software de diseño se plantea medir otras variables y comportamientos individuales de los elementos de las estructuras, se plantea de igual manera revisar espesores y dimensiones generales para identificar a detalle las características de la estructura.

Etapa Optimización:

En ésta etapa ya deben estar identificadas las variables a estudiar en el proyecto y en este momento se iniciará a generar configuraciones de espesores y dimensiones de miembros estructurales hasta encontrar los tamaños óptimos.

Etapa rediseño:

En caso tal de que se encuentre que hay un sobredimensionamiento, o unas dimensiones distintas originales de la máquina se revisarán de acuerdo a su importancia y a sus costos, pues si se encuentra que son significativos, se rediseñará la máquina con los espesores y dimensiones de cada miembro estructural.

Etapa de análisis de conclusiones.

Al finalizar la optimización en el proyecto, se sentará una conclusión junto con unas recomendaciones de lo observado en la realización del proyecto, los cuales serán entregados al fabricante para que las tenga en cuenta para futuras fabricaciones.

6. CRONOGRAMA

No	ACTIVIDAD:	SEMANAS														
		MES 1				MES 2				MES 3						
		1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12			
1	Recopilación de información															
2	Diseño 3d de la máquina actual.															
3	Análisis de cargas y cálculo de esfuerzos.															
4	Simulación en software															

5	Optimización de estructuras																		
6	Verificación de costos iniciales vs. finales.																		
7	Digitación de resultados																		
8	Análisis de resultados																		
	TOTAL:																		

TABLA 1 : Cronograma

7. PRESUPUESTO Y FUENTES DE FINANCIACIÓN

COSTOS DE PROYECTO				
ITEM		Cantidad	Valor unitario	Valor total
Horas	REDACCIÓN	60	7000	280000
	ANALISIS	20	45000	900000
	DISEÑO	40	15000	600000
VIATICOS	TRANSPORTE	16	2200	35200
	ALIMENTACIÓN	1	50000	50000
COMUNICACIONES	Llamadas, consultas	3	20000	60000

PAPELERÍA	IMPRESIONES	1	50000	50000
	EMPASTADOS	2	30000	60000
	Total antes de impuestos			2035200

TABLA 2 : Presupuesto y fuentes de información.

Los recursos al igual que el equipo serán aportados por los autores del proyecto, de la misma manera se requerirán de equipos de cómputo para elaborar el proyecto saldrán de los recursos propios de cada uno de los autores; En algunos casos se emplearán equipos de la universidad.

8. BIBLIOGRAFIA.

ABRIL, Freddy Miguel. Diseño y control de una rotomoldeadora. Trabajo de grado en Ingeniería Mecatrónica. Pereira: Universidad tecnológica de Pereira, 2013. 188 p.

ADLLESON, Lyall. Materiales para la construcción, Vol 1. Editorial Reverte, 2001. 196 p.

CACUANGO ALBA, Danny fabricio & JÁCOME MENA, Julio santiago. *Diseño y simulación de un rotomoldeador con un diámetro de horno de 2400 mm y brazos centrales rectos con capacidad máxima de 1000 kg.* Trabajo de grado en Ingeniería mecánica. Quito: Universidad Técnica Salesiana, 2013. 200 p. Disponible en: <http://dspace.ups.edu.ec/bitstream/123456789/5969/1/UPS-KT00769.pdf>

HIBBELER, R.C. Mecánica de materiales. Pearson Educación, 2006. 876 p.

LASSO DE LA VEGA ROMERO, Rodrigo (2016). *Desarrollo y fabricación de una máquina de rotomoldeo.* Consultado en: https://e-archivo.uc3m.es/bitstream/handle/10016/24117/TFG_Rodrigo_Lasso-De-La-Vega_Romero_2016.pdf. Madrid

LEÓN DE LA BARRA, Alejandro. Apuntes de análisis estructural. Universidad Iberoamericana. 1997

MEZA, Carlos Alberto. Optimización topológica en el diseño de elementos estructurales mecánicos. En revista: El hombre y la máquina (En línea). Cali, Enero – junio de 2015. [Citado 01, septiembre, 2017]. Disponible en: http://ingenieria.uao.edu.co/hombreymaquina/revistas/46-2015-1/Articulo7_Carlos_A_Meza.pdf

MOTT, Robert L. Diseño de elementos de máquinas. Pearson Educación, 2006. 872 p.

PROVIDELL URANGO, Adriana maría (2015). *Rediseño estructural para vehículo utilitario y evaluación mediante paquetería fem*. Mexico. Consultado en: http://www.ptolomeo.unam.mx:8080/xmlui/bitstream/handle/132.248.52.100/8307/Tesis_BiblioFac.pdf?sequence=1

ROTOMACHINERY GROUP. Tomado de: <http://www.rotomachinery.com/es/technology/>

Rotomoldeo (2011). Consultado en: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com.co/2011/06/rotomoldeo.html>

VARONA CARRIÓN, Raiko & Esteban Simeón Monet, Rolando. (2011). *Diseño de una Máquina de Rotomoldeo*. Consultado en: https://www.researchgate.net/profile/Raiko_Varona_Carrion/publication/306254988_Diseño_de_una_Maquina_de_Rotomoldeo/links/57b4c70d08aeaab2a1039bf4/Diseño-de-una-Maquina-de-Rotomoldeo.pdf [visitado agosto 26, 2017].

VÉLEZ, Ligia. *Materiales industriales: teoría y aplicación*. Medellín: Instituto Tecnológico metropolitano. 2008.

VETTURAZZI, Rafael (2017). *Optimización topológica: cómo reducir sus costes con materia prima y superar más rápidamente la crisis*. Consultado en: <http://www.esss.com.br/blog/es/2017/06/optimizacion-topologica-como-reducir-sus-costes-con-materia-prima-y-superar-mas-rapidamente-la-crisis/>

VILLAO, Giovanni y CASTILLO, Luis Danilo. *Diseño de una Máquina de Rotomoldeo para fabricación de Envases Plásticos*. Trabajo de grado en Ingeniería Mecánica. Ecuador: Escuela Superior Politécnica del Litoral, 2006. 146 p. Consultado en: <https://www.dspace.espol.edu.ec/retrieve/97053/D-CD88363.pdf>