



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO**

FACULTAD DE INGENIERIA

“REDISEÑO DE UNA POLEA AGITADOR DE METAL A PLÁSTICO
PARA LAVADORA DE ROPA.”

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE:

I N G E N I E R O M E C A N I C O

P R E S E N T A :

VALENZUELA FLORES EDER

DIRECTOR DE TESIS:
MI. MIGUEL ANGEL CRUZ MORALES.



MEXICO, D.F.

SEPTIEMBRE 2011.



Universidad Nacional
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

Biblioteca Central



UNAM – Dirección General de Bibliotecas
Tesis Digitales
Restricciones de uso

DERECHOS RESERVADOS ©
PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

AGRADECIMIENTOS.

A mis padres, por todo su apoyo, confianza y principalmente por haberme inculcado el sentido de responsabilidad que es lo que me permitió lograr esta meta, sin su apoyo no hubiera sido posible.

A mi hermano Marco Antonio, por todo su apoyo y comprensión que me ha brindado durante la carrera y toda mi vida.

A mis hermanos Rosa Elia, Juan Carlos por todo su apoyo y comprensión que me han brindado durante toda mi vida.

A mis amigos, Gerardo, Arturo, Leonardo, Idalmi, Violeta, Víctor, Sam, Daniel, por brindarme su amistad durante mi estancia en la Facultad.

A mis profesores, por la confianza, por sus conocimientos, experiencia que me brindaron.

Al MI. Miguel Ángel Cruz Morales, por la oportunidad que me ha brindado para realizar este proyecto y aprender de él, así como todas las ideas aportadas y principalmente por su paciencia.

Al MI. Bernardo Frontana de la Cruz por contribuir a la revisión para la realización de este trabajo aportando valiosas sugerencias.

Al MI. Magdalena Trujillo Barragán por contribuir a la revisión y por su aportación en ideas para la realización del presente trabajo.

Al DR. Álvaro Ayala Ruiz por contribuir a la revisión y hacerme observaciones muy constructivas para la realización de este trabajo.

Al ING. Ramón Flores Gómez por ser un ejemplo a seguir en mi vida tanto en lo profesional como en lo personal y por su gran apoyo, paciencia y contribución en la revisión y aportación.

A la UNAM, por darme la oportunidad de formar parte de esta máxima casa de estudios.

A la facultad de Ingeniería, porque fue y seguirá siendo mi segundo hogar.

Eder Valenzuela Flores.

REDISEÑO DE UNA POLEA AGITADOR DE METAL A PLÁSTICO PARA LAVADORA DE ROPA.

INDICE.

Introducción	I
Objetivos	III
Capítulo 1. Marco teórico	1
Introducción.....	1
1.1 Producto.....	1
1.1.1 Electrodomésticos.....	1
1.1.2 Lavadora.....	2
1.1.3 Lavado.....	2
1.1.4 Clasificación de las lavadoras.....	3
1.1.5 Lavadora de ropa manual.....	3
1.1.6 Partes de una lavadora manual.....	4
1.2 Proceso de diseño de un componente.....	4
1.2.1 Proceso de diseño de una pieza de plástico.....	5
1.2.2 Etapas de diseño de una pieza de plástico.....	5
1.2.3 Diseño.....	7
1.2.4 Diseño asistido por computadora.....	7
1.2.5 Ciclo de vida de componentes de plástico inyectados..	7
1.2.6 Características mecánicas y termomecánicas del polímero (Celtran PP-GF-40-30).....	10

1.3 Componente.....	13
1.3.1 Polea.....	13
1.3.2 Partes de una polea.....	14
1.3.3 Polea fija.....	15
1.3.4 Polea móvil.....	16
1.3.5 Polipastos.....	16
1.3.6 Aplicación de una polea de plástico.....	17
1.3.7 Estriado	17
Capítulo 2. Diseño conceptual.....	20
2.1 Introducción.....	20
2.2 Desarrollo de la polea agitador de una lavadora de ropa de tipo manual.....	20
2.3 Espesor de pared de una pieza de plástico.....	20
2.4 Teoría de refuerzos.....	21
2.4.1 Costillas.....	21
2.4.2 Recomendaciones de diseño para una costilla.....	22
2.4.3 Unión de costilla con perfil de pared.....	24
2.4.4 Cartabones.....	25
2.4.5 Recomendaciones de diseño para un cartabón.....	26
2.5 Caso de estudio.....	29
2.5.1 Modelado geométrico de la polea.....	30
2.6 Material.....	32
Capítulo 3. Análisis estructural.....	33
3.1 Introducción.....	33
3.2 Pasos básicos en el método de los elementos finitos mediante un software.....	33
3.3 Validación del software.....	34
3.4 Requerimientos funcionales.....	36
3.5 Condiciones de frontera.....	36
3.6 Análisis estructural del segundo rediseño.....	37
3.7 Análisis estructural del tercer rediseño.....	39
3.8 Resultados.....	39
3.8.1 Desplazamientos.....	39
3.8.2 Esfuerzos.....	41
3.9 Análisis de resultados.....	43

Capítulo 4. Moldeabilidad.....	44
4.1 Introducción.....	44
4.2 Simulación y procesos de inyección.....	44
4.2.1 Diez criterios en el análisis de resultados.....	45
4.3 Análisis de flujo asistido por computadora.....	47
4.4 Influencia de la presión, temperatura y tiempo de inyección.....	47
4.5 Resultados.....	49
4.5.1 Simulación del proceso de inyección.....	49
4.5.2 Tiempo de llenado.....	50
4.5.3 Distribución de temperatura.....	52
4.5.4 Distribución de presión.....	54
4.5.5 Líneas de unión.....	56
4.5.6 Aire atrapado.....	58
4.5.7 Índice de calidad.....	60
4.6 Análisis de resultados.....	62
Conclusión general	63
Recomendaciones.....	65
Apéndice A.....	67
Plano.....	69
Bibliografía.....	70

INTRODUCCION:

Hoy en día, con los avances en la tecnología se han fabricado productos de mejor calidad, como son los electrodomésticos, muy socorridos por las amas de casa, ya que facilitan día con día las actividades de la ama de casa que implicaban un gran esfuerzo físico, tal es el caso de la lavadora.

Los electrodomésticos con componentes tradicionalmente “metálicos” se han sustituido en gran medida por componentes de plástico, principalmente por sus propiedades físicas y mecánicas.

Los materiales plásticos poseen propiedades que permiten que materiales metálicos tales como aluminio, magnesio, zinc y aleaciones de materiales ferrosos, se sustituyan por piezas de plástico debido a que ofrece ventajas como peso ligero, resistencia a la corrosión, moldeables en diferente color y métodos de manufactura; que logran piezas de gran calidad y un gran volumen de producción, provocando con esto un menor costo.

En el diseño de piezas de plástico, se busca la integridad estructural sin crear paredes de gran espesor, para ello es necesario aumentar la rigidez de la pieza o el valor del momento de inercia. Esto es especialmente cierto en piezas sujetas a cargas por flexión. Los elementos usados como refuerzos comúnmente son conocidos como costillas.

Existen otras formas para aumentar la rigidez en secciones de plástico, los cartabones, costillas, costillas en forma circular; que además sirven como alojamiento y sujeción para elementos de fijación [1] y que son utilizadas en conjunto cuando se esperan fuerzas laterales.

Aunque el uso de costillas da a los diseñadores una gran oportunidad de obtener una eficiente respuesta estructural en piezas de plástico, el uso de refuerzos puede ocasionar problemas de apariencia y alabeo en la pieza, durante el proceso de inyección.

Por tal motivo, el objetivo del presente trabajo es rediseñar la polea agitador de una lavadora de ropa manual fabricada con un material plástico que cumpla con los requerimientos establecidos por un fabricante de electrodomésticos nacional, validando su rigidez con refuerzos de costillas respecto a su geometría.

Para lograr el objetivo, el trabajo se desarrolló de la siguiente manera; en el capítulo 1, se presentan los antecedentes referentes a los componentes de una lavadora y su funcionamiento (sistema) así como una pequeña reseña del proceso de diseño de un componente y el planteamiento del caso de estudio, polea-agitador de lavadora (componente).

En el capítulo 2 se desarrolló el diseño conceptual de la polea agitador de una lavadora de plástico de tipo manual, así como algunos conceptos necesarios para el diseño de la misma, el cómo se puede elevar su rigidez o su momento de inercia mediante refuerzos con costillas y cartabones, algunas recomendaciones de diseño, finalmente el modelado geométrico y selección de material.

En el capítulo 3 se analizó estructuralmente la polea mediante el método de elementos finitos con un software comercial, así como sus condiciones de frontera y requerimientos funcionales que se apeguen en lo posible a la realidad, obteniendo resultados tangibles, tales como sus desplazamientos y esfuerzos a los que es sometida la polea agitador de una lavadora de tipo manual.

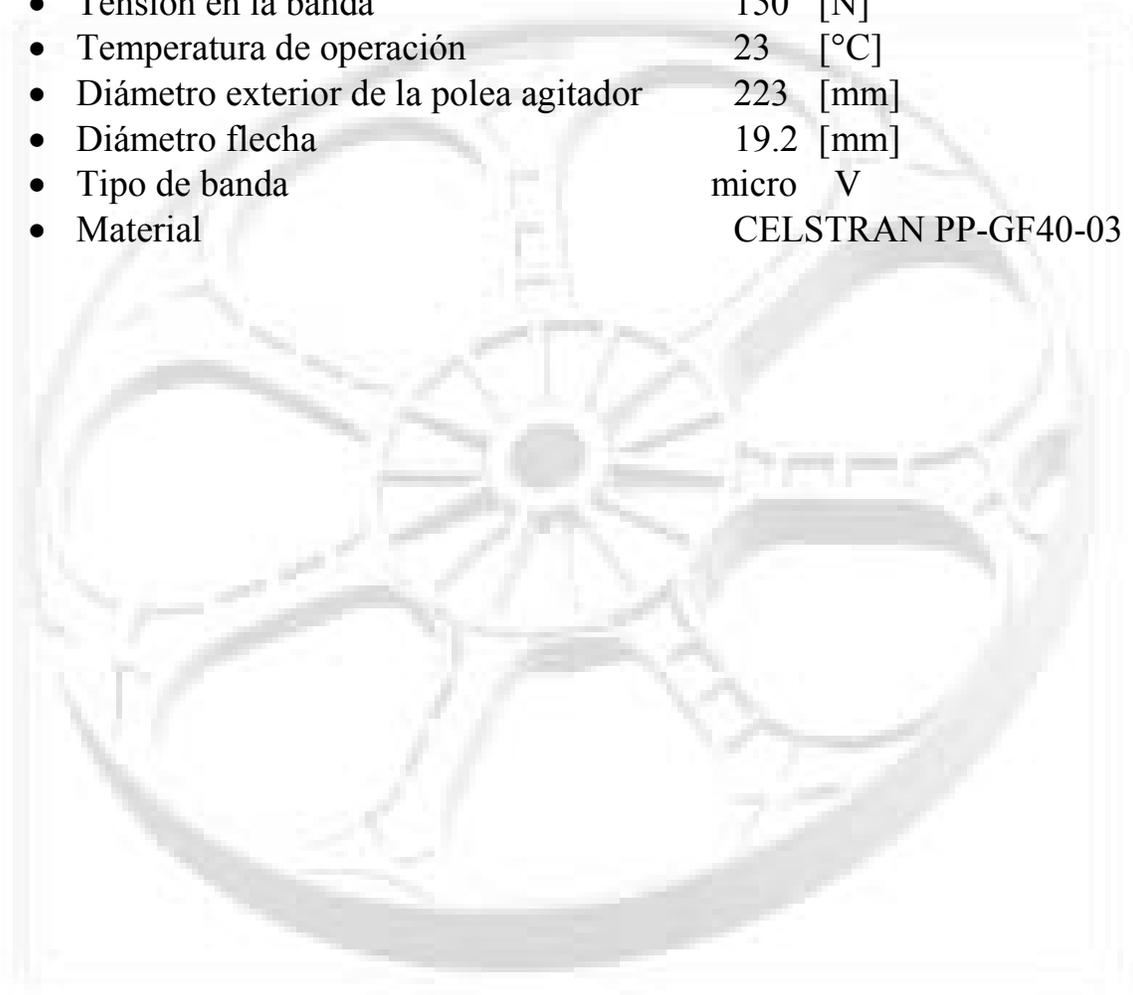
En el capítulo 4 se podrá observar la moldeabilidad e inyección mediante la simulación del análisis de flujo asistido por computadora, obteniendo algunos parámetros tales como tiempo de inyección, distribución de temperaturas y presión, líneas de unión, aire atrapado y el índice de calidad.

Para con estos valores modificar la presión, temperatura y tiempo de inyección en la maquina según sea requerido para lograr una pieza con gran calidad y resistencia.

OBJETIVO.

Rediseñar la patea agitador de una lavadora de ropa manual para ser fabricada con un material plástico, que cumpla con los requerimientos establecidos por un fabricante de electrodomésticos nacional, los cuales son mostrados a continuación:

- Par máximo 37.3 [N-m]
- Tensión en la banda 150 [N]
- Temperatura de operación 23 [°C]
- Diámetro exterior de la patea agitador 223 [mm]
- Diámetro flecha 19.2 [mm]
- Tipo de banda micro V
- Material CELSTRAN PP-GF40-03



CAPÍTULO 1.

MARCO TEÓRICO.

Introducción.

En este capítulo se describe la estructura y el funcionamiento de una lavadora de ropa de tipo manual, así como su operación y la interconexión con sus subsistemas, destacando la necesidad de sustitución de un componente metálico (polea agitador) del sistema de transmisión por otro de material plástico.

1.1 Producto.

Para efectos del siguiente trabajo la definición de García al producto como “un conjunto de atributos (características, funciones, beneficios y usos) que dan la capacidad para ser intercambiado o usado. Usualmente, es una combinación de aspectos tangibles e intangibles. Así, un producto puede ser una idea, una entidad física (un bien), un servicio o cualquier combinación de los tres [2].

1.1.1 Electrodomésticos.

Un electrodoméstico es un aparato eléctrico o electrónico que utiliza sistemas mecánicos, térmicos, hidráulicos o una combinación de estos con el fin de facilitar las actividades rutinarias del hogar tales como son la limpieza de la casa y el vestido; la preservación de los alimentos, además de proporcionar un ambiente agradable por medio del acondicionamiento del aire en el hogar [1].

La lavadora de ropa se encuentra dentro del grupo de los enseres mayores por su volumen.

Para obtener la limpieza de un textil (ropa), el lavado depende de múltiples variables, en las cuales el detergente cumple con una tarea esencial, este se disocia y separa la mugre de la ropa; pero esto no sucedería sin una acción mecánica. Este conjunto de funciones la desarrolla una lavadora de ropa de tipo manual.

1.1.2 Lavadora.

Una lavadora es un electrodoméstico que realiza el proceso de lavado de un textil con las funciones de tallar, enjuagar y exprimir [2].

La lavadora realiza una acción mecánica a través del movimiento, proporcionando un lavado con ayuda del detergente.

1.1.3 Lavado.

El proceso de lavado en una lavadora [3], se realiza de la siguiente forma:

- Se introduce la ropa en la tina, pieza por pieza.
- La tina de lavado se llena con agua hasta la mitad del nivel marcado en el interior de la tina.
- Se pone detergente en proporción a la carga de ropa y el grado de suciedad de la misma.
- Se disuelve el detergente haciendo funcionar la lavadora.
- Se selecciona el ciclo de lavado para indicar el tiempo deseado para la carga de ropa que se va a lavar.
- Se agrega agua a la tina hasta la señal que indica el nivel máximo.
- Se inicia el lavado haciendo funcionar la lavadora. La lavadora suspenderá la acción de lavado al terminar el tiempo del ciclo indicado.
- Finalmente la ropa se ha lavado.

1.1.4 Clasificación de las lavadoras.

Las lavadoras se clasifican de la siguiente manera:

- De acuerdo a la acción mecánica.
 - Lavadoras de disco, propulsor o propela
 - Lavadoras de agitador
 - Lavadoras de tambor

- De acuerdo a su capacidad

La Norma Oficial Mexicana vigente el 19 de enero del 2010 [12], con nombre “Eficiencia energética de lavadoras de ropa electromecánicas, límites, métodos de prueba y etiquetado” define una lavadora electromecánica como:

“La máquina para lavar por medio de trabajo mecánico, que utiliza energía eléctrica para su operación y permite el lavado de prendas (ropa) en el hogar, de acuerdo con lo especificado por el fabricante, puede estar constituidas de una o dos tinas y con o sin rodillos.”

1.1.5 Lavadora de ropa manual.

Es una lavadora donde la acción mecánica es producida por un dispositivo que se desplaza a lo largo o alrededor de su eje con un movimiento alternativo circular (cíclico o reversible).

En 1901, el norteamericano Alva Fisher inventa la primera lavadora eléctrica, acoplando a una de las ya existentes, un motor eléctrico que impulsaba un tambor. Un mecanismo automático invertía el sentido de giro en determinado tiempo para que la ropa no se apelmazara.

En 1960 se incorporaron temporizadores y, pocos años más tarde, microprocesadores. Fundamentalmente, la lavadora es una máquina que sirve para lavar la ropa ahorrando esfuerzo, tiempo y agua.

1.1.6 Partes de una lavadora manual.

Desde la primera lavadora manual hasta las actuales, se le han ido añadiendo distintos cambios que prácticamente la ha transformado:

- Motor eléctrico: incorporado en 1901.
- Desagües: permiten la salida del agua sucia y la entrada de la limpia sin necesidad de hacerlo manualmente como ocurría al principio.
- Puerta: actualmente las puertas tienen un mecanismo conectado al microprocesador que reduce riesgos ya que no comienza a funcionar hasta que la puerta no esté cerrada y no se puede abrir hasta que no ha terminado.

Otro de los cambios, es que la puerta permite ver lo que hay en el interior de la lavadora.

Materiales de fabricación: con anterioridad se usaban materiales como la madera, ahora se construyen con aluminio o metales esmaltados y en el caso que nos atañe, se utilizará plástico con propiedades similares a dichos materiales y con mayores ventajas.

- Microprocesador: es un dispositivo electrónico capaz de recibir datos del exterior y realizar su función empleando programas informáticos. Anteriormente llevaban dispositivos electromagnéticos y sensores.

1.2 Proceso de diseño de un componente.

Este proceso conlleva la realización de un conjunto complejo de actividades, en las que deben intervenir la mayoría de las áreas funcionales de la organización.

1.2.1 Proceso de diseño de una pieza de plástico.

Para poder comprender el diseño de una pieza o un producto empezaremos por definir las etapas de diseño de una pieza de plástico.

1.2.2 Etapas de diseño de una pieza de plástico.

Uno de los aspectos más importante para el desarrollo de un producto es su diseño. El diseño define y establece soluciones para problemas no resueltos con anterioridad o nuevas soluciones para problemas que previamente han sido resueltos por caminos diferentes [5].

La disciplina de diseño (que no es una técnica, ni un oficio) en tanto articuladora de lenguajes, funciones, formas, soportes, materiales, sistemas de producción, etc., está obligada a instalar una reflexión respecto al cómo, al qué, al para quién. La reflexión teórica surge desde los propios diseñadores que reconocen la complejidad de los procesos y el rol del diseño [24].

Diseñar debe ser ciencia y arte, la ciencia puede ser aprendida a través de técnicas y métodos, pero el arte únicamente se aprende haciendo diseño. Esta es una de las principales razones por las que en una formación de un diseñador debe incluirse la experiencia real [25].

También hay que tener la habilidad de realizar cálculos, y tanto como sea posible usar disciplinas propias de la ciencia y la ingeniería con el apoyo de herramientas computacionales.

El buen diseño requiere de los métodos de análisis y síntesis, el análisis generalmente involucra la simplificación del mundo real a través de modelos, esto concerniente al hecho de dividir el problema en partes que sean tratables; finalmente la síntesis involucra el unir elementos en un todo factible [25].

El tener que realizar una serie de pasos para hacer diseño, ha sido llamado durante bastante tiempo, el proceso de diseño de un nuevo componente plástico [13].

Mismo que se tomará como base y se desarrollará más adelante para diseñar una polea agitador de lavadora de tipo manual a partir de los requerimientos del cliente (figura 1).

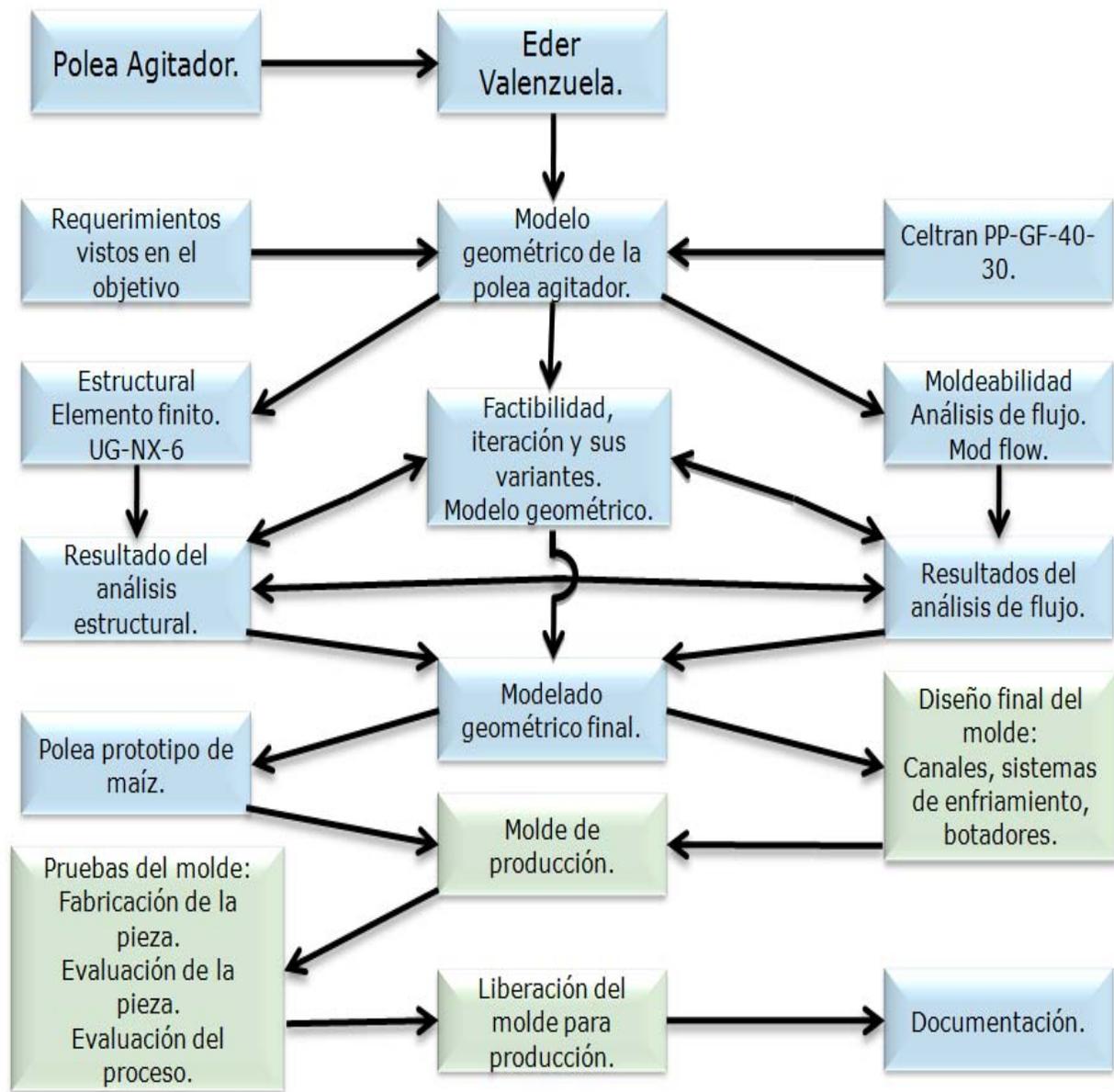


Figura 1. Proceso de diseño de un nuevo componente de plástico.

Cabe mencionar que en el presente trabajo no se desarrollo todo el proceso de diseño de un nuevo componente de plástico, ya que no se llego al molde de producción ni su diseño así como canales, sistemas de enfriamiento, botadores, pruebas del molde y por ende no se llego a la fabricación estos puntos se muestran en la figura 1 en color verde y en color azul son los puntos que si se desarrollaron en el presente trabajo.

1.2.3 Diseño.

Etimológicamente la palabra Diseño tiene varias acepciones del término anglosajón "design" (Del, referente al signo, signar, señalar, señal, indicación gráfica de sentido o dirección) representada mediante cualquier medio y sobre cualquier soporte analógico, digital, virtual en dos o más dimensiones[14].

Diseñar como prefiguración es el proceso previo en la búsqueda de una solución o conjunto de las mismas. Plasmar el pensamiento de la solución mediante esbozos, dibujos, bocetos o esquemas trazados en cualquiera de los soportes, durante o posteriores a un proceso de observación de alternativas o investigación, teniendo básicamente en cuenta los materiales empleados y su función; así, las formas resultantes responden, en principio, a los fines que deben cumplir y no a condicionamientos estéticos abstractos.

1.2.4 Diseño asistido por computadora.

Los sistemas de Diseño Asistido por Computadora (CAD, acrónimo de Computer Aided Design) pueden utilizarse para generar modelos con muchas, si no todas, las características de un determinado producto. Estas características podrían ser el tamaño, el contorno y la forma de cada componente, almacenada como dibujos bidimensionales y tridimensionales [15].

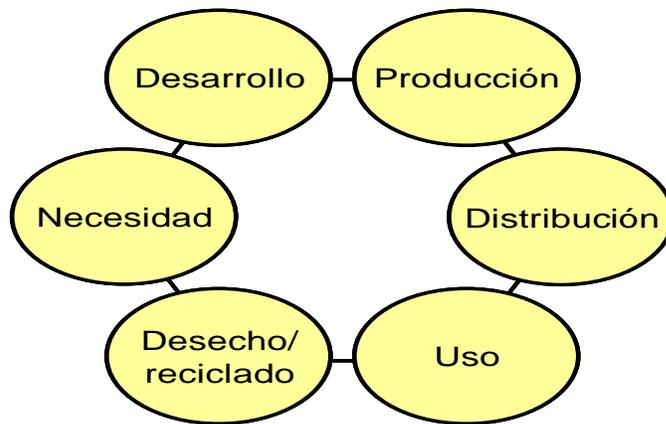
1.2.5 Ciclo de vida de componentes de plástico inyectados.

Los productos pasan por una serie de etapas desde que surgen como idea hasta que son desechados, ayuda a entender todos los aspectos que se deben considerar durante su desarrollo. A esta serie de etapas se les conoce como el ciclo de vida de los productos (figura 2) [16].

Las etapas del ciclo de vida son:

- Necesidad.- Cuando un cliente solicita un producto o bien la empresa identifica una oportunidad de negocio.
- Desarrollo.- Que comprende las actividades en que el producto y su sistema de producción son propiamente diseñados.
- Producción.- Etapa en la que el producto es manufacturado.

- **Distribución.-** Que incluye el almacenamiento, distribución y venta del producto.
- **Uso.-** Que incluye lo relativo a la instalación (cuando aplica); uso, operación o consumo del producto por el cliente; mantenimiento y reparación (cuando aplican).
- **Desecho o reciclado.-** Que considera aspectos relacionados con una destrucción apropiada del producto y, en caso de ser posible, el re-uso de sus materiales o componentes.



Ciclo de vida de productos
Figura 2. Ciclo de vida de un producto [16].

El tipo de producto a desarrollar, determina su proceso de innovación. Las etapas, su duración y los recursos requeridos varían dependiendo de ello. Cualquier producto pertenece a cuando menos uno de los siguientes tipos:

- Productos originados por el mercado (market-pull). La empresa responde a una solicitud expresa o detectada de sus clientes o bien a productos lanzados al mercado por sus competidores.
- Productos originados por la tecnología (technology-push). La empresa tiene una nueva tecnología y realiza un proyecto para lograr un producto exitoso en el mercado basado en ella.

- c) Productos basados en plataformas. En este caso, una serie de modelos o variantes de productos se basan en el mismo componente que incorpora la base de su tecnología.
- d) Productos que pueden ser el compuesto que determina el principio activo de una serie de fármacos, o el control de un sistema electrónico, o el componente que realiza proceso principal de una máquina.
- e) Productos determinados por su proceso de producción. Los productos de este tipo dependen totalmente de su proceso de producción, por lo que ambos tienen que ser desarrollados simultáneamente. Estos productos, por lo general, se producen en grandes volúmenes. Algunos ejemplos son resinas plásticas, láminas de acero, productos químicos, etc.
- f) Productos hechos bajo especificaciones del cliente. Estos productos son variantes de productos de línea que son realizados bajo una orden específica de un cliente. A este tipo pertenecen paquetes de cómputo, máquinas para empaque, motores y sus partes, piezas de plástico, etc.

Cuando tenemos un diseño o rediseño de un componente plástico de un electrodoméstico tenemos ganado un gran terreno por su bajo peso, costo y unas propiedades térmicas, eléctricas y sobretodo mecánicas en aparatos como lo son los electrodomésticos.

Los plásticos más utilizados en ingeniería son las poliamidas, poliacetales, policarbonato, poliéster termoplástico, polisulfuro de fenileno y polipropileno con fibras largas entre otros.

Para la inyección de plástico de una pieza de alta precisión, formas complejas y baratas es necesario el uso de mejores técnicas y métodos de diseño, así como de un buen control del proceso de fabricación para poder obtener los beneficios esperados.

1.2.6 Características mecánicas y termomecánicas de un polímero.

Las propiedades mecánicas de los polímeros se especifican con los mismos parámetros utilizados para los metales: módulo elástico y resistencias a la tracción, al impacto y a la fatiga.

El ensayo esfuerzo-deformación se emplea para caracterizar parámetros mecánicos de muchos materiales poliméricos [6].

La mayoría de las características mecánicas de los polímeros son muy sensibles a la velocidad de deformación, a la temperatura y a la naturaleza química del medio (presencia de agua, oxígeno, disolventes orgánicos, etc.).

En los materiales de alta elasticidad, como las gomas, conviene modificar las técnicas de ensayo a la forma de las probetas utilizadas para los metales.

Los materiales poliméricos presentan tres tipos distintos de comportamiento esfuerzo- deformación:

- Polímero frágil. Este se rompe cuando se deforma elásticamente.
- Polímero dúctil. Es parecido al de los metales: después de la deformación elástica inicial del material fluye y luego se deforma plásticamente.
- Polímero elástico. El comportamiento descrito es totalmente elástico.

La elasticidad de la goma (grandes deformaciones recuperables producidas por pequeños esfuerzos) es propia de los polímeros denominados elastómeros.

El módulo de elasticidad, la resistencia a la tracción y la ductilidad (en porcentaje de alargamiento) de los polímeros se determina como en los metales.

En la tabla 1, se dan los valores de estas propiedades mecánicas a varios materiales poliméricos.

Tabla 1. Características mecánicas a temperatura ambiente de los polímeros más comunes.

Material	Densidad	Modulo elastico [Psi X10 ³ (MPaX10 ²)]	Resistencia a la traccion [PsiX10 ³ (MPa)]	Alargamiento a la ruptura (%)	Resistencia al impacto (ft.-lb/in)
Polietileno (baja densidad)	0.917-0.932	.25-.41 (1.7-2.8)	1.2-4.6 (8.3-31.7)	100-650	no se rompe
Polietileno (alta densidad)	0.952-0.965	1.55-1.58 (10.6-10.9)	3.2-4.5 (22-31)	10-1200	.4-4.0
Cloruro de polivinilo	1.30-1.58	3.5-6.0 (24-41)	5.9-7.5 (41-52)	40-80	.4-22
Politetrafluoretileno	2.14-2.20	0.58-0.80 (4.0-5.5)	2.0-5.0 (14-34)	200-400	3
Polipropileno	0.90-0.91	1.6-2.3 (11-16)	4.5-6.0 (31-41)	100-600	.4-1.2
Poliestireno	1.04-1.05	3.3-4.8 (23-33)	5.2-7.5 (36-52)	1.2-2.5	.35-.45
Poli(metacrilato de metilo)	1.17-1.20	3.3-4.7 (22-32)	7.0-11.0 (48-72)	2.0-10	.3-.6
Fenol-formaldeido	1.24-1.32	4.0-7.0 (28-48)	5.0-9.0 (34-62)	1.5-2.0	.24-4
Nilon 66	1.13-1.15	2.3-5.5 (16-38)	11.0-13.7 (76-94)	15-300	.55-2.1
Poliester(PET)	1.29-1.40	4.0-6.0 (28-41)	7.0-10.5 (48-72)	30-300	.25-.70
Policarbonato	1.2	3.5 (24.0)	9.5 (60)	110	16

espesor de la probeta: 3.2 mmx1/8 de pulgada

En la figura 3, se muestra la curva de esfuerzo-deformación del polipropileno reforzado con 40 [%] de fibra de vidrio (Celtran PP-GF-40-30) a diferentes temperaturas. Como se puede observar en la gráfica la línea roja sometida a una temperatura de 80 grados centígrados [°C] el esfuerzo de dicho materia es de 62 mega-pascales [MPa]. En la línea verde el material se encuentra a 23 [°C], su esfuerzo es de 125[MPa] y por último se tiene en línea azul el material sometido en esta ocasión a -40 [°C] y el esfuerzo obtenido es de 165 [MPa].

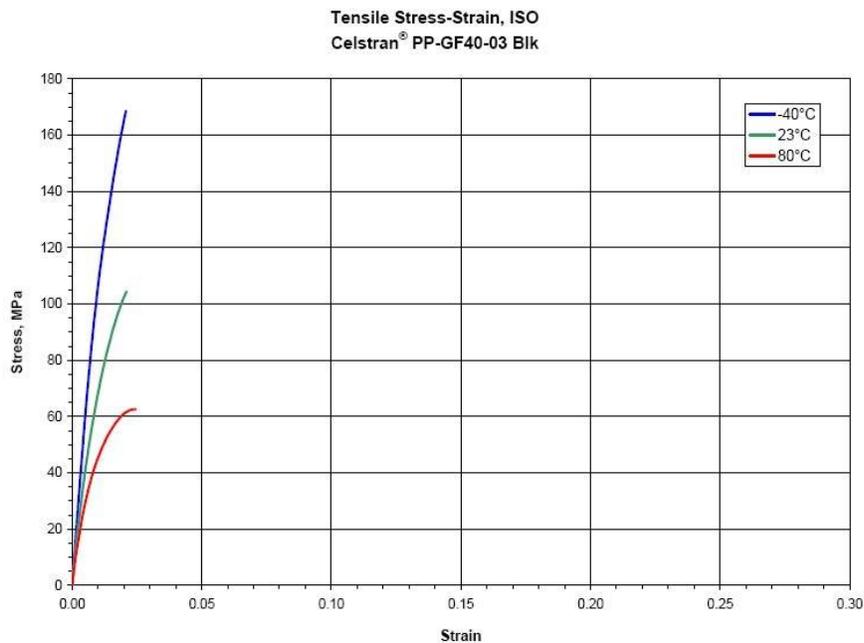


Figura 3. Influencia de la temperatura en las características esfuerzo-deformación del polímero (Celtran PP-GF-40-30).

Las características mecánicas de los polímeros son mucho más sensibles a las variaciones de temperatura como se observa en la gráfica anterior, el incremento de la temperatura produce disminución del módulo elástico.

La disminución de la resistencia a la tracción y aumento de la ductilidad: el polímero es más frágil a -40 [°C] mientras que a 23 y 60 [°C] experimenta una mayor deformación plástica.

Los polímeros son, en muchos aspectos, mecánicamente distintos de los metales. Por ejemplo el módulo elástico de los polímeros de alta elasticidad es del orden de 7 [MPa] a 4×10^3 [MPa]. Mientras que en los metales los valores del módulo elástico son mayores y el intervalo de variación es menor: de 48×10^3 a 410×10^3 [MPa].

La influencia de la velocidad de deformación puede también ser importante en el comportamiento mecánico. Generalmente la disminución de la velocidad de deformación tiene el mismo efecto que el aumento de la temperatura en el comportamiento esfuerzo-deformación, es decir, el material se comporta más blando y más dúctil.

El conocimiento de los mecanismos de la deformación contribuye a controlar las características mecánicas de estos materiales. En este sentido existen dos modelos de deformación diferente. Uno de ellos implica la deformación plástica que ocurre en los polímeros semicristalinos.

Cabe mencionar que los materiales plásticos reforzados con fibras son anisotrópicos¹ a diferencia de los metales que se les considera isotrópicos.

¹Anisótropo. Característica de un material que varían alguna de sus propiedades según la dirección en que se midan: el fenómeno de la anisotropía se debe a la ordenación particular de los átomos de la red cristalina.

1.3 Componente.

Este es el elemento (polea agitador) que forma parte de un sistema llamado lavadora de ropa manual.

1.3.1 Polea.

Para comenzar a hablar sobre la “polea”, debemos tomar en cuenta algunas situaciones cotidianas como por ejemplo, subir escaleras con „cargas’ puede ser un par de libros [17], que no nos causa mucho esfuerzo, pero en el momento en que requiera subir un “piano”, “un comedor” u otros objetos de mayor peso, se comienza a complicar un poco el panorama.

Debido a esta razón y otras, el hombre debió desarrollar un mecanismo para poder facilitar esta tarea. Para facilitar esta tarea están las maquinas simples.

Una máquina es cualquier artefacto capaz de aprovechar, dirigir o regular una forma de energía para aumentar la velocidad de producción de trabajo o para transformarla en otra forma energética.

Las máquinas son dispositivos usados para cambiar la magnitud y dirección de aplicación de una fuerza. La utilidad de una máquina simple (palanca, cable, plano inclinado, rueda) es que permite desplegar una fuerza mayor que la que una persona podría aplicar solamente con sus músculos, o aplicarla de forma más eficaz.

Algunas de las poleas más empleadas son:

- Rueda dentada, empleada principalmente para la transmisión del movimiento giratorio entre ejes.
- Rueda de transporte, empleada para reducir el rozamiento con el suelo (unas muy empleadas con las de cámara de aire).
- Polea que es el caso que nos atañe, es muy empleada tanto para la transmisión de movimientos como para la reducción del esfuerzo al elevar o mover pesos.

1.3.2 Partes de una polea.

Las poleas son ruedas que tienen el perímetro exterior diseñado especialmente para facilitar el contacto con cuerdas o bandas. En toda polea (figura 4) se distinguen cuatro partes:

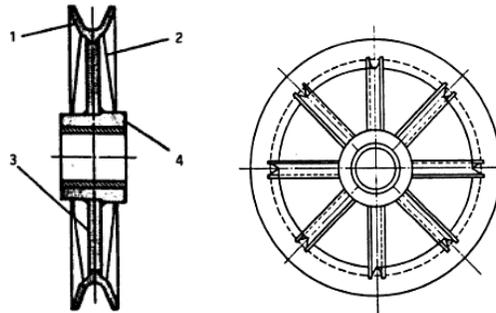


Figura 4. Partes principales de una polea[18].

1.- Llanta (garganta). 2.- Refuerzos (costillas). 3.- Brazos. 4.- Cubo (mamelón).

Los brazos son los elementos que une el cubo con la garganta. El cubo es la parte central que comprende el agujero, permite aumentar el grosor de la polea para aumentar su estabilidad sobre el eje. Suele incluir un chavetero que facilita la unión de la polea con el eje o estriado (para que ambos giren solidarios).

La garganta (o canal) es la parte que entra en contacto con la cuerda o la correa y está especialmente diseñada para conseguir el mayor agarre posible. La parte más profunda recibe el nombre de llanta. Puede adoptar distintas formas plana, semicircular, triangular como se muestra en la figura 5, la que se empleara en la polea agitador para lavadora de tipo manual es la de tipo micro V (estriado).

Para cuerdas	Para correas		
Semicircular	Trapezoidal	Plana	Estriada

Figura 5. Formas de la llanta [18].

Las poleas empleadas para tracción y elevación de cargas tienen el perímetro acanalado en forma de semicírculo (para alojar cuerdas), mientras que las empleadas para la transmisión de movimientos entre ejes suelen tenerlo trapezoidal o plano (en automoción también se emplean correas estriadas y dentadas).

Básicamente la polea se utiliza para dos fines: cambiar la dirección de una fuerza mediante cuerdas o transmitir un movimiento giratorio de un eje a otro mediante correas o bandas.

En el primer caso tenemos una polea de cable (figura 6) que puede emplearse bajo la forma de polea fija, polea móvil o polipasto. Su utilidad se centra en la elevación de cargas (grúas, ascensores...), cierre de cortinas, movimiento de puertas automáticas, etc.

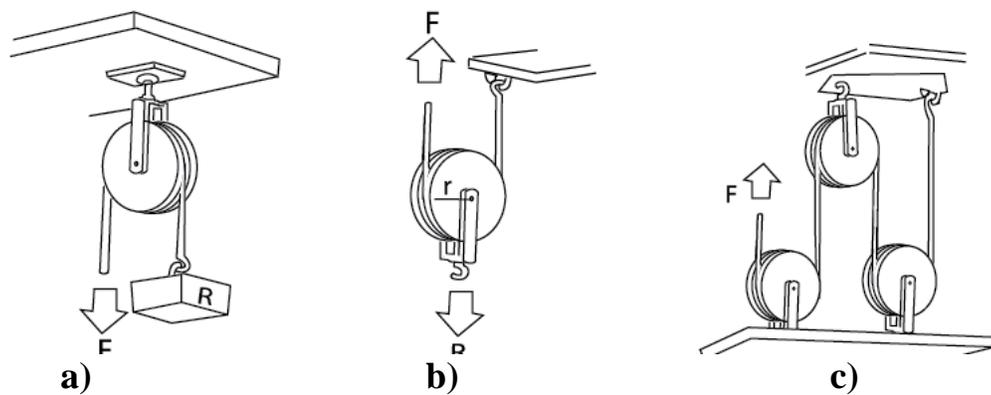


Figura 6. a) Polea fija. b) Polea móvil. c) Polipasto [17].

1.3.3 Polea fija.

Ésta consiste en una rueda que puede girar alrededor de un eje fijo, que pasa por un centro, debido a que por ella pasa una cuerda, de la que en uno de sus extremos se cuelga el objeto, el que se puede subir tirando (jalando) la cuerda con la mano desde el otro extremo (figura 6a).

1.3.4 Polea móvil.

A diferencia de la polea fija la polea móvil se apoya sobre la cuerda y debido a eso multiplica la fuerza ejercida, por lo que vendría siendo una palanca de segunda clase. También tiene un movimiento de rotación (sobre su eje) y otro de traslación, este es debido a que está en la cuerda. El peso del objeto se descompone entre las dos ramas del cordel; luego la fuerza aplicada será sólo la mitad de la resistencia. Esto en ausencia de roce (figura 6b).

1.3.5 Polipastos.

En una combinación de dos poleas móviles y una fija. Es decir, los polipastos son conjuntos de poleas fijas y móviles que están combinadas entre sí y además fijadas por una “armadura” (figura 6c).

En el segundo caso tenemos una polea de correa que es de mucha utilidad para acoplar motores eléctricos a otras máquinas tales como compresores, taladros, ventiladores, generadores eléctricos, sierras, etc, pues permite trasladar un movimiento giratorio de un eje a otro.

Con este tipo de poleas se construyen mecanismos como el multiplicador de velocidad, la caja de velocidad (figura 7) y el tren de poleas.

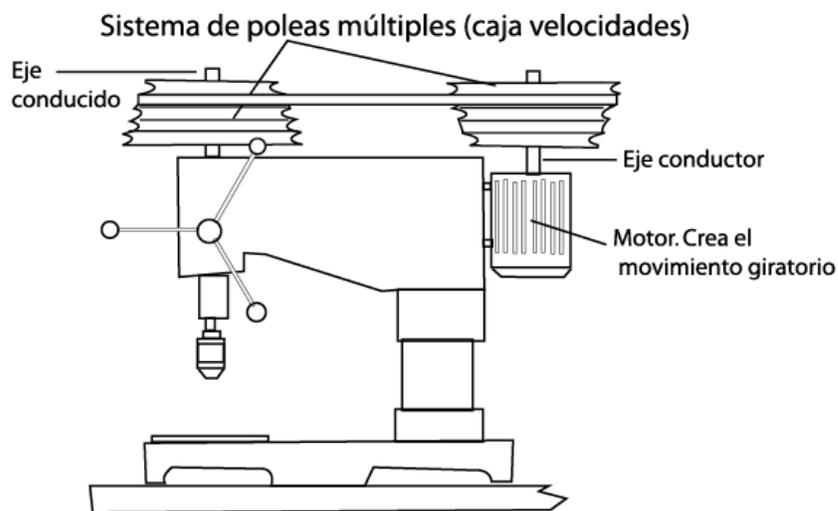


Figura 7. Caja de velocidades mediante poleas [17].

Las correas planas exigen poleas con el perímetro ligeramente bombeado o acanalado, siendo las primeras las más empleadas.

En algunas aplicaciones, como la polea agitador de lavadora, se emplean correas estriadas y de sincronización que exigen la utilización de sus correspondientes poleas. Su utilidad se centra en la transmisión de movimiento giratorio entre dos ejes distantes; permitiendo aumentar, disminuir o mantener la velocidad de giro, mientras mantiene o invierte el sentido.

Este tipo de polea la podemos encontrar en lavadoras, ventiladores, lavaplatos, pulidoras, videos, cortadores de carne, taladros, generadores de electricidad, cortadoras de césped, transmisiones de motores, compresores, tornos, etc, en forma de multiplicador de velocidad, caja de velocidades o tren de poleas.

Las poleas de fundición de dimensiones pequeñas son de alma llena, las de mayor diámetro tienen entre cuatro y seis radios. Las poleas de fundición no resisten bien el desgaste, por lo que en casos de servicio duro, se deben utilizar poleas de acero moldeado cuyo precio es bastante mayor.

1.3.6 Aplicación de una polea de plástico.

En la actualidad se realizan poleas de acero y de plástico, siendo estas últimas más utilizadas en aplicaciones navales ya que ha traído consigo la mejora de la vida de los cables metálicos, la reducción de peso y la corrosión de partes resistentes, las poleas se utilizan hoy en día, tanto en aparatos de elevación móviles como en equipos de elevación marítimos.

Para evaluar si es posible introducir una polea de plástico en un sistema de elevación es necesario considerar la capacidad de carga para cada operación específica, así como las condiciones ambientales bajo las cuales se utilizaran.

1.3.7 Estriado.

Cualquier dispositivo que transfiere el movimiento de rotación de un punto a otro, probablemente se basa en un estriado, por lo que es usada como base en diferentes dispositivos y maquinas. Los estriados se utilizan en sistemas de accionamiento mecánico. Se encuentran en los mecanismos de rotación que todos vemos a diario.

Cualquier dispositivo que transfiera el movimiento rotatorio de una entrada a una salida es más probable que utilice un estriado de algún tipo. Se transfiere el movimiento de rotación de una entrada a una salida a través de una conexión mecánica o eje ranurado.

Un eje estriado es uno que (por lo general) tiene dientes espaciados uniformemente alrededor de la circunferencia, que son más a menudo paralelos al eje de rotación.

Estos dientes pueden ser rectos, incluidos los de ángulo (estriás), los compañeros del eje estriado (macho) en el exterior con una “*spline*” entiéndase como el estriado (hembra) en la parte interna de la circunferencia que tiene ranuras o espacios, formado el reverso del eje de los dientes.

En matemáticas, una spline es lo suficientemente suave a trozos -polinomio función. En la interpolación de los problemas, interpolación spline se suele preferir la interpolación polinómica como se muestra en la figura A, ya que produce resultados similares, incluso cuando se utiliza bajo polinomios de grado, evitando al mismo tiempo fenómeno de Runge grados más altos[26].

Cabe mencionar que el significado o interpretación de un spline es se utiliza en relación con una aproximación suave, polinómica a trozos. Mismos trozos que nos ayuda a definir la curva suave que nos representa un estrido hembra como se definió anteriormente.

La rotación del eje ranurado se transfiere a los miembros internos ranurados, como una sola parte u otros dispositivos giratorios. La transferencia de esta rotación es en una proporción de 1:1. Los beneficios de utilizar un eje ranurado en el lugar de un eje con chaveta son muchos. La conexión proporciona una misma “*spline*” carga distribuida a lo largo de los lados de los dientes. Esta carga compartida proporciona una vida más larga que los ejes con chavetero.

Diferentes tipos de formas de dientes permiten unidades más fuertes, la transferencia de la concentricidad de rotación, indemnización por la desalineación y, en el caso de las unidades spline helicoidal, la transferencia de movimiento axial y gíatorio en el mismo tiempo.

Estrías: Este tipo de “*spline*” tiene una forma de diente de un ángulo incluido, con el filo hembra que tiene espacios del ángulo incluido, generalmente se

utilizan en las unidades de menor diámetro y más dientes se pueden utilizar en una circunferencia pequeña, proporcionando una mayor área de contacto.

En las unidades donde se emplea un eje de torsión “*spline*” puede llegar a ser “muy utilizada” (en aplicaciones de alto par), una “*spline*” recta podría conducir a la fractura del eje. Esto se debe a la carga a lo largo de la “*spline*” recta esto ocasiona que los esfuerzos se concentren en zonas distintas de la “*spline*”. Esta carga se distribuye en el par de rotación a lo largo de una mayor longitud del eje.

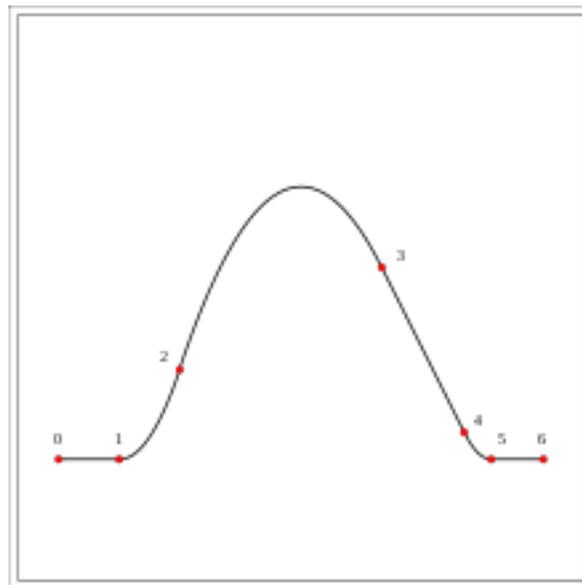


Figura A. Spline cuadrática.

Una spline cuadrática compuesta de seis segmentos de polinomio. Entre 0 puntos y 1 punto en línea recta. Entre los puntos 1 y 2 una parábola con la segunda derivada = 4. Entre el punto 2 y el 3, una parábola con la segunda derivada = -2. Entre el punto 3 y el punto cuatro una línea recta. Entre el punto 4 y el punto 5 una parábola con la segunda derivada = 6. Entre los puntos 5 y 6 una línea recta.

CAPÍTULO 2.

DISEÑO CONCEPTUAL.

2.1 Introducción.

En este capítulo se mostrarán recomendaciones para el diseño de costillas empleadas como refuerzos y que en ocasiones no cumplen con especificaciones ya pre-establecidas, sin embargo estas sirven para mejorar la productividad y calidad de las piezas de plástico fabricadas por inyección. Con dichas recomendaciones y el diseño de una polea fabricada de aluminio, toma como base para la realización del rediseño de ésta, que se fabricará con un material plástico polipropileno con 40[%] de fibra de vidrio larga.

2.2 Desarrollo de la polea agitador de una lavadora de ropa de tipo manual.

La nueva polea de plástico debe de poderse fabricar por el proceso de moldeo por inyección y tiene que cumplir con los requisitos antes mencionados en los objetivos de la presente tesis.

Además, deberán considerarse los siguientes puntos:

- Propuesta de diseño (modelado geométrico).
- Un buen acabado ya que deberá estar libre de rebabas, rechupes, y/o pandeo que afecten su funcionamiento.

Para poder llevar a cabo el objetivo propuesto en esta tesis se seguirá el modelo del proceso de diseño para un componente de plástico (figura 1) del capítulo 1, tomando en cuenta la literatura y recomendaciones de fabricantes de plástico.

2.3 Espesor de pared de una pieza de plástico.

Aumentar los espesores de pared para reforzar la pieza, es una solución que no se debe aplicar, ya que esto incrementa la posibilidad de contracción y pandeo de la pieza; entonces, para reforzar las piezas de plástico, se propone el diseño de refuerzos, para que el material inyectado cumpla con los requerimientos mecánicos, en conjunto, con una buena calidad dimensional.

Para lograr lo anterior, es necesario aumentar la rigidez está definida como la capacidad de un elemento a no deformarse, flexionarse o torcerse, al aplicar una carga externa.

2.4 Teoría de refuerzos.

Cuando se presenta una substitución de material (metal por plástico), o un cambio en el material (plástico por plástico) origina una gran variedad de problemas debido a los parámetros de inyección diseño y manufactura sin embargo, existen otras causas que provocan un mal funcionamiento en las piezas de plástico ya que aumentar los espesores para reforzar la pieza, es una solución que no se debe de aplicar, por que incrementa la posibilidad de encogimiento de la pieza, por tal motivo la solución que se propone es el diseño de refuerzos que ayudad a aumentar la rigidez.

Existen tres tipos de refuerzos:

- a) Costillas rectas. Elementos con ciertas características geométricas que se colocan en componentes plásticos, con el fin de obtener mayor rigidez.
- b) Costillas en forma circular. Se usan en conjunto con las costillas y puede servir como alojamiento de elementos de fijación.
- c) Cartabones. Elementos en forma de triangulo rectángulo isósceles que se utilizan para contrarrestar fuerzas laterales.

2.4.1 Costillas.

La ventaja del uso de costillas radica principalmente en el aumento de rigidez (colocadas a lo largo del eje de flexión, a fin de proporcionar la menor deformación [7]); reducción de masa; se acortan los tiempos de ciclos de moldeo e integridad estructural de la inyección de piezas de plástico moldeado sin crear paredes de gran espesor

2.4.2 Recomendaciones de diseño para una costilla.

En la tabla 2 se muestran los parámetros de costillas, donde empresas fabricantes de plásticos, proporcionan recomendaciones de acuerdo a su experiencia en el campo de estudio de materiales termoplásticos de ingeniería.

Los parámetros que se consideran de acuerdo a la geometría de la costilla se muestran en la figura 8 y son los siguientes:

T: Espesor de la pared.

\emptyset : Ángulos situados en la parte más alta de la costilla.

h: Altura.

t: Espesor de costillas.

r: Radio de filete en la base de la costilla.

S: Distancia entre costillas.

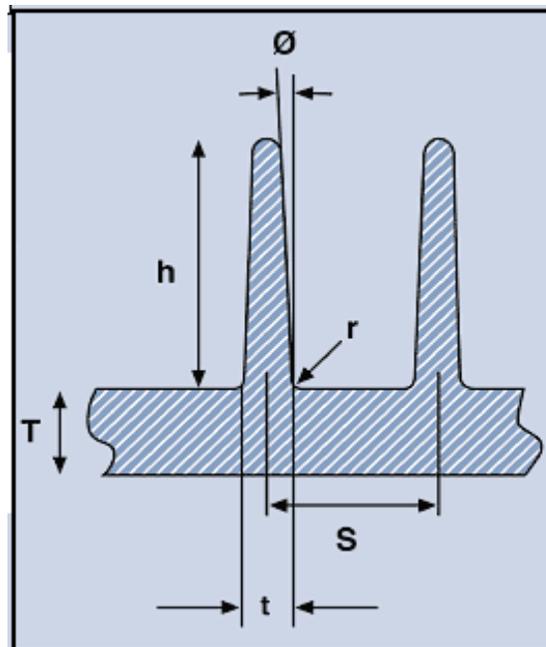


Figura 8. Parámetros de costillas [19].

Tabla 2. Parámetros de costillas.

Parámetro Empresa	Ángulo “ θ ” [°]	Altura “h” [número de veces el espesor de la pared]	Espesor de costilla “t” [% del espesor de pared nominal]	Radio del filete en la base de la costilla “r” [% de espesor de la pared nominal]	Distancia entre costillas “S” [número de veces del espesor de la pared]
TICONA	1.5-3*	1.5-5	50	NO ESPECÍFICADO	MÍNIMO 2
GE	1.5-3*	MÁXIMO 3	50-60	25-50	MÍNIMO 2
DUPONT	**	MÁXIMO 3	50***	50	NO ESPECÍFICADO
DSM	*	MÁXIMO 3	50	25-50	MÍNIMO 2
EFUNDA	NO ESPECIFICADO	MÁXIMO 3	40-60	MÍNIMO 25	MÍNIMO 2

*Ángulo mínimo de 0.5°.

**Se puede considerar los siguientes ángulos para las siguientes aplicaciones:

- a) Diseño por apariencia: $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ °.
- b) Diseño para estructura: $\frac{1}{4}$ - $\frac{1}{2}$ °.
- c) Diseño para moldeo de espuma: 1°.

***Se puede considerar los siguientes espesores de costillas en relación al espesor de la pared para las siguientes aplicaciones:

- a) Diseño por apariencia: 40%.
- b) Diseño para estructura: 60%.
- c) Diseño para moldeo de espuma: 100%.

2.4.3 Unión de costilla.

Para el rendimiento del uso de costillas, en la unión de estas con el perfil de la pared, se debe unir en el mismo punto como se muestra en la figura (9-A).

La violación de estos parámetros dará lugar a geometrías débiles [21]. Si las costillas diagonales se mueven ligeramente, la rigidez se reduce un 35% (figura 9-B) y si una costilla corta vertical, se añade a un costado de la pared de la pieza, la rigidez torsional se reduce un 5% adicional (figura 9-C).

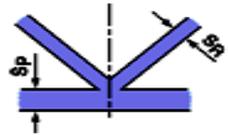
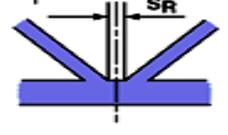
VARIANTES	RIGIDEZ EN %	RESISTENCIA DE ESFUERZO EN %
	100	100
	65	80
	60	82

Figura 9. Unión de líneas de costillas y perfil de pared [21].

Variante (A), configuración de costillas cruzadas con el máximo rendimiento torsional, variante (B), Configuración de costillas cruzadas con una reducción del 35% del rendimiento total, variante (C), configuración de costillas cruzadas con una reducción del 40% del rendimiento total

2.4.4 Cartabones.

Además de las costillas, existen otros métodos aceptables para el mejoramiento de propiedades en secciones de plástico, como las costillas en forma circular (que además sirven como alojamiento para elementos de fijación) y se utilizan en conjunto con las costillas cuando las fuerzas laterales son esperadas (figura 10).

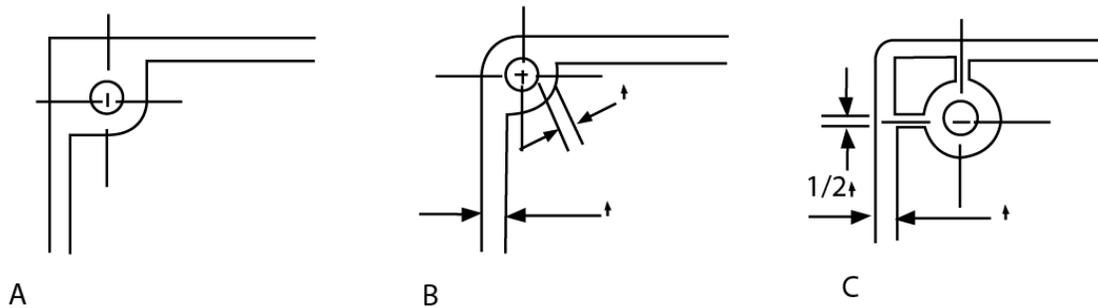


Figura 10. Diseño pobre no recomendado. B. Ubicación aceptable. C. Ubicación aceptable [22].

Los cartabones son elementos en forma de triángulo rectángulo isósceles que se utilizan para contrarrestar fuerzas laterales, en conjunto con las costillas de forma circular como se muestra en la figura 11.

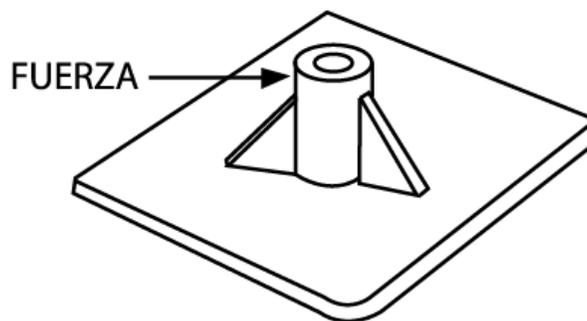


Figura 11. Ubicación y configuración de cartabones [22].

2.4.5 Recomendaciones de diseño para un cartabón.

En la tabla 3 se muestra las recomendaciones para las dimensiones de costillas en forma circular y cartabones, de acuerdo a la figura 12, donde empresas fabricantes de plástico, proporcionan parámetros de acuerdo a su experiencia en el campo de estudio.

t = Espesor de la pared.

w = Espesor de la costilla circular.

d = Diámetro del núcleo.

D = Diámetro exterior de la costilla circular.

h = Altura de la costilla circular.

θ = Angulo exterior de la costilla circular (“D”).

r = Radio de la base de la costilla circular (parte externa).

e = Altura máxima del cartabón.

f = Longitud del cartabón.

j = Espesor de la base del cartabón.

M = Radio del fondo de la cavidad.

S = Porción de la pared en el fondo de la cavidad.

t = Espesor de costillas.

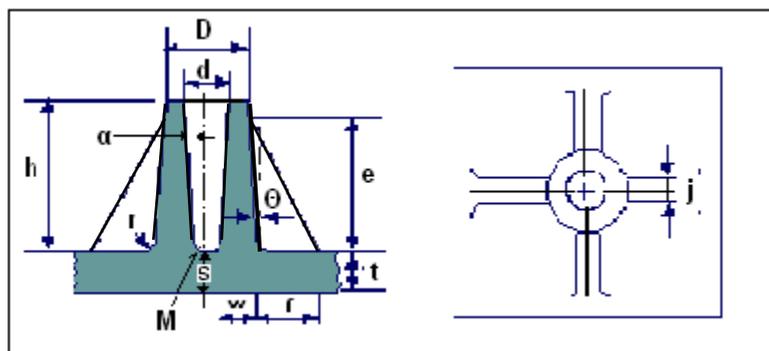


Figura 12. Parámetros de costillas circulares y cartabones [23].

Tabla 3. Parámetros de costillas circulares y cartabones [23].

PARÁMETRO/EMPRESA	DUPONT	GE	TICONA	DSM	EFUNDA
w [mm][Respecto al espesor de la pared "t"]	0.6t	Máximo 0.6t		Máximo 0.5t	Menor o igual de 0.6t
D [mm]	2d	2d			2D
h =Altura del boss	2.5d	Máximo 3D.		3t	Máximo 5t
Θ [°]		Mínimo 1/2°	1/2°	Mínimo 0.5°	Θ [°]
α [°]		1/4°	1/2°	Mínimo 0.5	
R	Radio de 0.08128-0.1574 mm	25-50t	Radio mínimo de 0.0127mm	0.25t	r
e[mm]		Máximo 4t Mínimo 2t		0.95t	E[mm]
f [mm]		1.5t		Mayor o igual a 2t	
j [mm]		0.5t		0.5-0.7t	
l (Respecto a t)		Mínimo 2t		2t	
S	0.6t		0.5t	0.5t	Menor de 0.7t
T	0.6t para t menor de 1/8" y 0.4t para t mayor de 1/8"		0.5t		
M	Radio de 0.08128-0.1574 mm	0.25t-50t Mín.0.381mm	0.5°		

Para configuraciones de costillas en forma circular cercanas a una pared, se utilizan los mismos parámetros de la tabla 3, pero considerando una distancia de la costilla circular a la pared de $g=0.5D$, donde D = diámetro exterior de la costilla circular con un mínimo de 3.175 [mm] como se muestra en la figura 13.

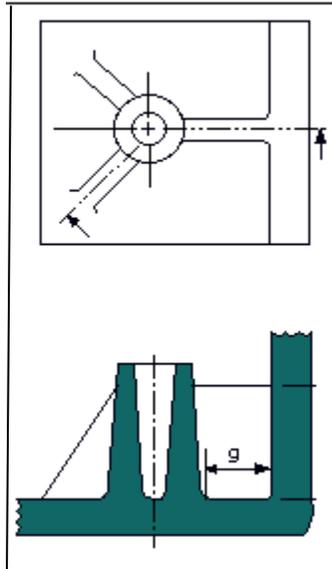


Figura 13. Distancia de la costilla circular a una pared [23].

2.5 Caso de estudio.

Un fabricante de electrodomésticos nacional al estar validando el diseño de una polea agitador fabricada de aluminio para una lavadora de tipo manual, se encontró problemas de fracturas en los brazos, por lo cual surge la necesidad de identificar muy bien el problema para que a su vez se pueda plantear la solución más adecuada para que el fabricante pueda garantizar que la lavadora no falle en el tiempo de su vida útil.

Una de las posibles soluciones para que la polea agitador no falle, es incrementar su momento de inercia aumentando el volumen y haciéndola más robusta, sin embargo esta solución no es la más adecuada porque esto hace que los costos aumenten en cada una de las poleas ya que aumentaría el material empleado para la fabricación de dicha polea.

Otra posible solución es modificando su geometría o la sección transversal de cada uno de los brazos que puedan soportar las condiciones de trabajo y por ende no falle la polea agitador.

Por último hay otra solución con la cual se puede reforzar la polea agitador mediante costillas y cartabones utilizados como refuerzos y así se aumentaría su momento de inercia y de esta manera evitar que la pieza falle.

En la figura 14, se muestra la polea agitador de 5 brazos en la cual se puede observar la fractura en uno de ellos.

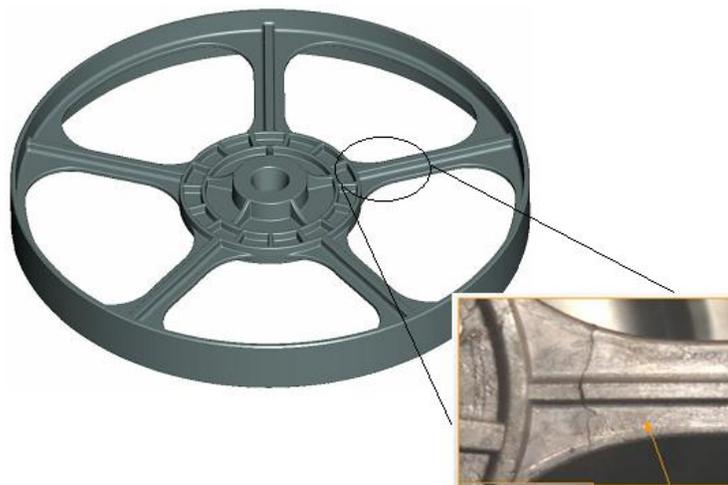


Figura 14. Fractura en uno de los brazos de la polea agitador de aluminio.

Después de analizar las posibles soluciones se propuso implementar el rediseño de la polea agitador y la sustitución de material (plástico) ya que es más económico, garantizando que dicha polea no falle y tenga una vida útil de 5 años, más adelante se verá y se analizará tres propuestas de rediseño de la polea agitador, el primer rediseño se propuso la implementación de 7 brazos y también se modifica su modelado geométrico, tomando como base la polea agitador del fabricante de electrodomésticos, siguiendo algunas recomendaciones, parámetros de diseño para una costilla que algunos fabricantes de plástico proporcionan.

El en segundo rediseño se propone por que el primer rediseño no es el más adecuado ya que es robusta y esto podría traer complicaciones al momento de la inyección de dicha polea, podría tener una contracción asimétrica y alabeo, además como ya se menciono anteriormente, se debe buscar el equilibrio costo beneficio para la optimización bajando los costos en lo mas que se pueda, en este segundo rediseño también se propone cambiar el estriado por un perno en el cubo de la polea agitador.

Por último se propone un tercer rediseño ya que los análisis que se muestran más adelante del segundo rediseño muestra esfuerzos en los brazos cercano al cubo y en la llanta y se propone una mejoría en este ultimo rediseño.

2.5.1 Modelado geométrico de la polea.

Como se pudo observar en el caso de estudio, la polea agitador fabricada con aluminio de 5 brazos (figura 14) se fractura, por tal motivo se propone un primer rediseño como se muestra en la figura 15, considerando en primera instancia la modificación de su geometría, aumentando dos brazos más y proponiendo dimensiones diferentes, tomando como base la polea agitador del fabricante de electrodomésticos nacional (cliente).



Figura 15. Rediseño 1, primera iteración del modelo geométrico.

Para poder rediseñar la polea agitador se tomo en consideración la literatura y poniendo en práctica algunas recomendaciones de fabricantes de plástico para poder reforzar la polea agitador implementando costillas y cartabones se llevo a esta primera propuesta que se muestra en la figura 15.

Analizando esta propuesta más a detalle se llega a la conclusión que es muy robusta y que se debe mejorar reduciendo su espesor en lo posible para utilizar la menor cantidad de material así como su geometría y refuerzos sin descuidar los requerimientos del fabricante mencionados en el objetivo del presente trabajo.

En la figura 16 se hizo un segundo rediseño de la polea agitador en los brazos y en la cual se muestra el cubo con un estriado y la otra con dos planos rectos en la parte del cubo donde se va a colocar la flecha que transmitirá el torque, con el objetivo de reducir costos y optimizar el proceso de inyección. Con el fin de reducir masa se suprimen algunas costillas y se disminuye el espesor, de esta manera se evita el alabeo, así como contracciones que pueden perjudicar a la pieza y su funcionamiento en dicha polea.



Figura 16. Segundo rediseño de la poea agitador (iteración 2 del modelo geométrico).

El tercer y último rediseño se muestra más adelante, en donde se podrá observar más a detalle análisis estructural mediante el software de Unigrafc en versión 6, también se muestra análisis de moldeabilidad para la inyección de la poea agitador utilizando el software de moldflow y por último los resultados que ayudaran a discernir si la poea resistirá las condiciones de trabajo a las que será sometida.

2.6 Material.

El material que se empleará a petición del cliente, es Celstran PPGF-40-30 polipropileno negro reforzado con 40% de fibras largas, con un coeficiente de poisson de 0.35, densidad de 1210 [Kg/m³], módulo de Young 7900 [MPa], el esfuerzo a la ruptura 100[MPa], especificaciones que se pueden encontrar en el apéndice A.

CAPÍTULO 3.

ANÁLISIS ESTRUCTURAL.

3.1 Introducción.

En el presente capítulo se describe el análisis y la metodología, para validar la rigidez en la polea agitador de material plástico mostrando las consideraciones, análisis, parámetros y resultados pertinentes.

Para poder verificar los resultados de la simulación de análisis de elemento finito, es necesaria la validación del software que es empleado. Esta validación se hizo para una barra en cantiléver y consta de valores teóricos, valores de software Nisa-Display, UG-NX-5 [7] y resultados obtenidos en una barra en cantiléver UG-NX-6 (software desarrollado para el diseño asistido por computadora CAD e ingeniería asistida por computadora CAE en su versión seis).

Ya que este software facilita en gran medida el cálculo para poder analizar la polea agitador con una gran rapidez, sin esta herramienta este tipo de análisis requerirían de mucho más tiempo y dinero.

3.2 Pasos básicos en el método de los elementos finitos mediante un software comercial.

- Fase de pre-procesado.

Crear y discretizar la solución dominio en elementos finitos, esto es, subdividir la geometría en nodos y elementos.

Asumir una función y representar el comportamiento físico de un elemento, que es, una función continua aproximada que se asume para la solución del elemento.

Desarrollar las ecuaciones para el elemento. Armar los elementos a representar en el problema completo, construir la matriz global de rigidez. Aplicar condiciones de contorno, condiciones iniciales y cargas.

- Fase de solución.

Resolver un conjunto de ecuaciones algebraicas lineales o no lineales simultáneas para obtener resultados nodales, tal como valores de desplazamientos en diferentes nodos o valores de temperaturas en diferentes nodos en un problema de transferencia de calor.

- Fase de post-procesado.

Obtener más información, en este punto se puede estar interesado en valores de tensiones o flujos de calor.

En general hay diversos modos de enfocar el problema con los elementos finitos: formulación directa, formulación usando la mínima energía potencial y ponderando las formulaciones residuales.

Es importante notar que los pasos básicos que se usan en el análisis por elementos finitos, sin tener en cuenta como se genera el modelo de elementos finitos es el mismo.

3.3 Validación del software.

Para validar y verificar la convergencia de los resultados en el software a utilizar en este trabajo es UG-NX-6, se realizó una comparación de resultados, entre los valores teóricos, los valores proporcionados por el software Nisa-Display, UG-NX-5 y los valores obtenidos en UG-NX-6.

En la Tabla 4 se muestran los resultados del análisis de viga en cantiléver, sujeta a una fuerza puntual de 1000 [N]. Las dimensiones de la viga fueron (figura 17) de 1000 x 30 x 30 milímetros [mm], considerando un modulo de elasticidad del acero “E=207” giga pascuales [GPa] y un coeficiente de Poisson de 0.3 [7].

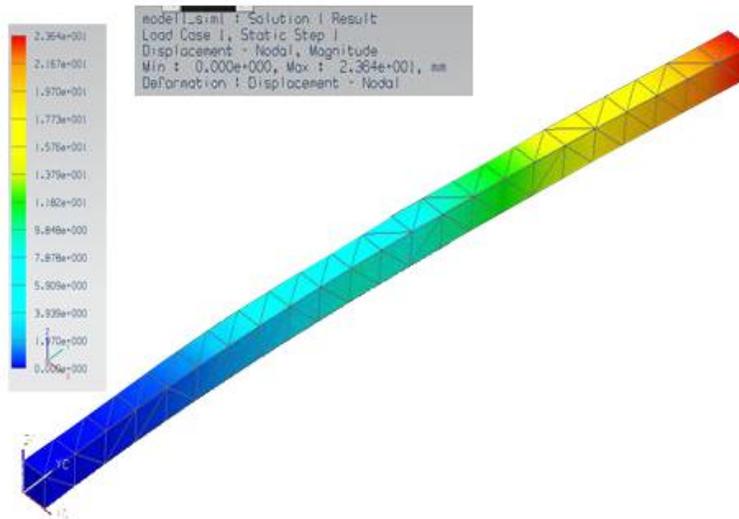


Figura 17. Barra en cantiléver.

Se debe tomar en cuenta que estos resultados se tomaron para facilitar la validación ya que se contaba con valores teóricos de otro software para un acero, este material presenta propiedades homogéneas en toda su geometría y en todas direcciones.

Tabla 4. Relación de resultados y porcentajes de error [7].

	ESFUERZO [N/MM2]	% ERROR	DEFLEXIÓN [MM]	% ERROR
Teóricos	222.22		23.85638	
Nisa Display	222.22	.00099	23.8564	0.0005
UG-NX-5	223.698	.66	23.823	.13992
UG-NX-6	223.452	.55	23.640	.907

Por otro lado es necesario mencionar que los resultados proporcionados por Nisa- Display se utilizó un elemento unifilar mientras que en UG-NX-5 se utilizo un elemento tetraédrico con 10 nodos al igual que en UG-NX-6, ya que se obtiene mayor numero de nodos y por ende la solución será más precisa.

Los resultados muestran que los valores obtenidos en UG-NX-6 tiene un error mayor (de 0.907% en el caso de los desplazamientos) que en los resultados de Nisa-Display, sin embargo, se considera que los resultados convergen y no est n alejados del valor teórico, por lo que en este trabajo se consideró que los resultados del sistema UG-NX-6 son confiables.

3.4 Requerimientos funcionales.

Para que la polea agitador sea funcional debe cumplir parámetros como un par máximo de 37.3 [N-m], así como una tensión en la banda 150 [N], una temperatura de operación de 23 [°C], por otra parte deberá de contar con diámetro exterior de la polea agitador 223[mm], un diámetro de flecha de 19.2 [mm], y con una banda micro V, con la cual se transmitirá un movimiento circular reversible.

3.5 Condiciones de frontera.

Para estos análisis las cargas se distribuye en 260° grados como se puede observar en la figura 18, representando la superficie y las condiciones de frontera que tiene contacto la banda, donde se transmitirá el par mecánico de 37.3 [N-m] y la tensión de 150[N]. La flecha se fija y no hay desplazamientos en las caras de la flecha.

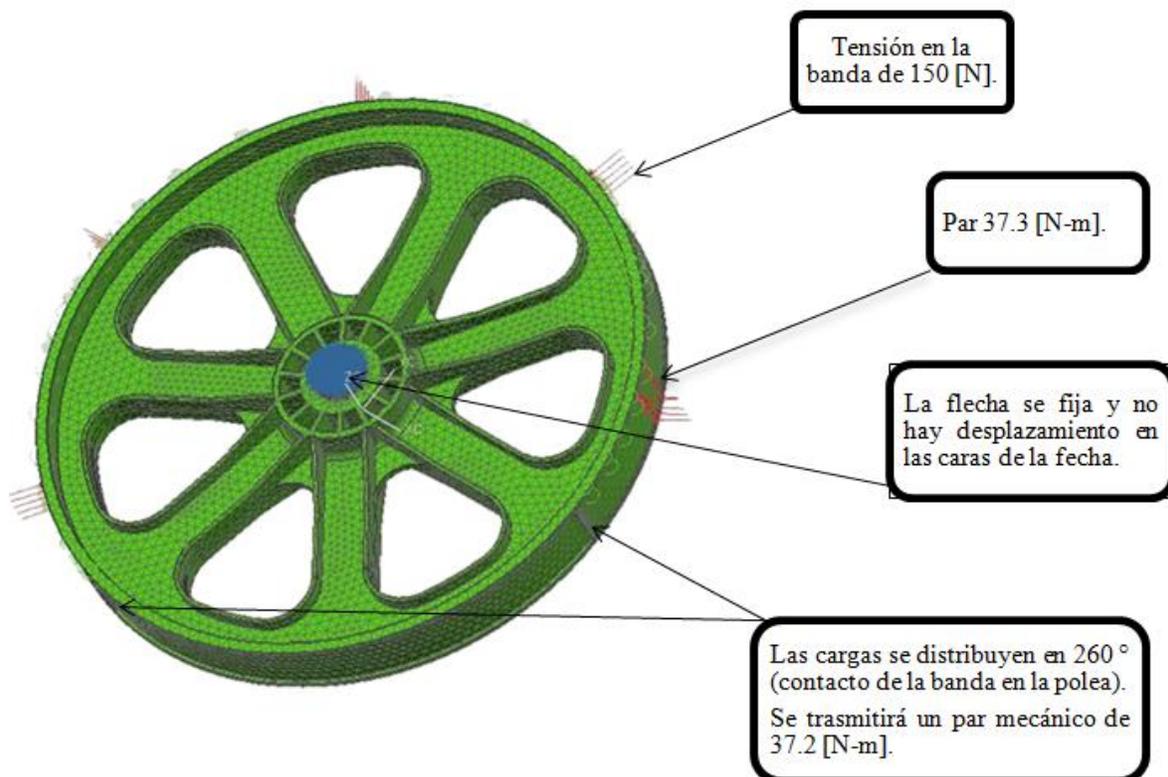


Figura 18. Condiciones de frontera de la polea agitador.

3.6 Análisis estructural del segundo rediseño.

Para poder elegir la geometría más adecuada y funcional, se realizaron varios análisis estructurales mediante el software de UG-NX-6 a estos rediseños (figura 16), una con estriado y la otra con perno respectivamente, se escogió la de estriado ya que las cargas se distribuyen mucho mejor por tener mayor superficie de contacto.

La figura 19 corresponde al estado de esfuerzos que presenta el diseño con estriado, el color rojo representa el mayor esfuerzo con una magnitud de 31.34 [MPa] y el color azul representa el menor esfuerzo con una magnitud de 4.7 [MPa] como se puede apreciar en la parte inferior de la izquierda de la figura así como la gama de colores y su respectivo valor de esfuerzos.

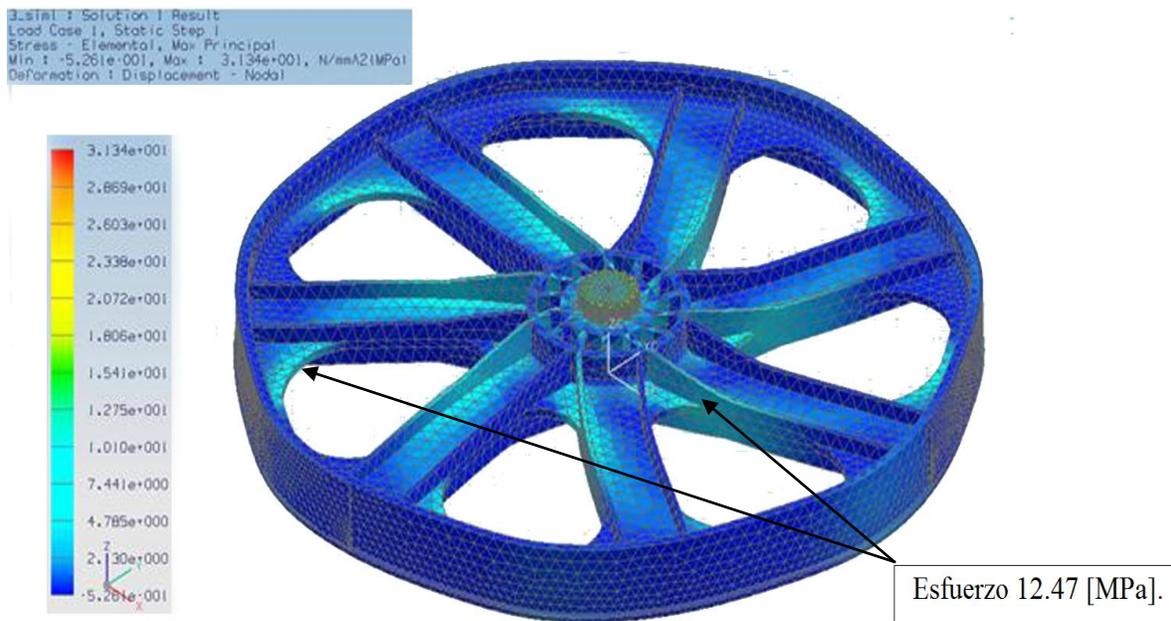


Figura 19. Esfuerzos en la polea agitador.

Analizando esta polea agitador en la figura 19 se puede observar que entre el color azul claro y verde tenemos un esfuerzo de 14.47 [MPa] que corresponde a los brazos y se puede ver esta zona como crítica, estos puntos son de gran interés para este análisis, porque ahí se tiene una gran concentración de esfuerzos.

Después de analizar estos modelos y tomando en cuenta algunas otras consideraciones tales como los desplazamientos en la polea agitador y el material que se va a emplear, observando sus propiedades, se opto por el rediseño de la polea agitador reforzando los brazos donde se presenta concentración de esfuerzos.

Destacando la implementación de costillas en los brazos modificando su geometría como ya se había mencionado ya que la otra opción de incrementar el espesor de estos puntos conduciría a mayor masa y costo de cada polea ya que se tendría que utilizar mayor material.

Como se quiere garantizar su funcionalidad y fiabilidad al menor costo posible, se realizó un tercer rediseño de la polea agitador como podemos observar en la figura 20.



Figura 20. Tercer rediseño, polea agitador reforzada con costillas en los brazos.

3.7 Análisis estructural del tercer rediseño.

Después de rediseñar la polea agitador, reforzándola con costillas y cartabones se sometió a las mismas condiciones de frontera que a la rediseños anteriores como se puede observar en la figura 18.

Cabe mencionar que el mallado de la polea en el software se optó por utilizar el que da en forma automática el número de nodos en la malla, porque si se aumentaba este numero la máquina se trababa y no era posible obtener resultados, esto se debe a que se necesita mayor capacidad para el procesamiento de datos para realizar este tipo de análisis.

3.8 Resultados.

3.8.1 Desplazamientos.

En la figura 21 se representan los desplazamientos en la polea agitador rediseñada y reforzada con cartabones y costillas teniendo un valor de desplazamiento de 0.53 [mm] en la llanta y de 0.39 [mm] en el brazo, así mismo podemos observar la gama de colores que representa los diferentes desplazamientos sobre la polea agitador.

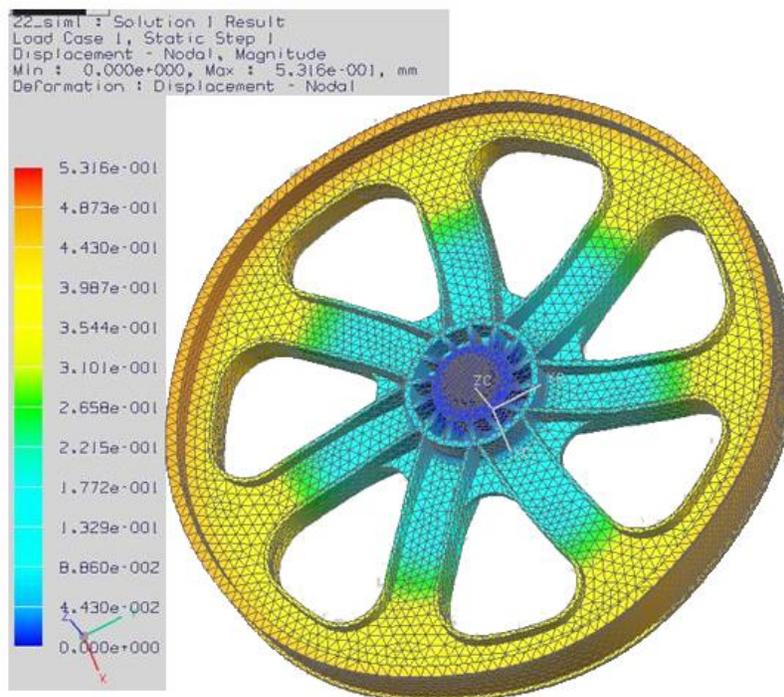


Figura 21. Representación de los desplazamientos de la polea agitador reforzada.

En la figura 22, se observa un acercamiento de la polea agitador en la parte del cubo de la polea agitador, donde su desplazamiento es de 0.044[mm] y en la flecha en el estriado no presenta desplazamiento.

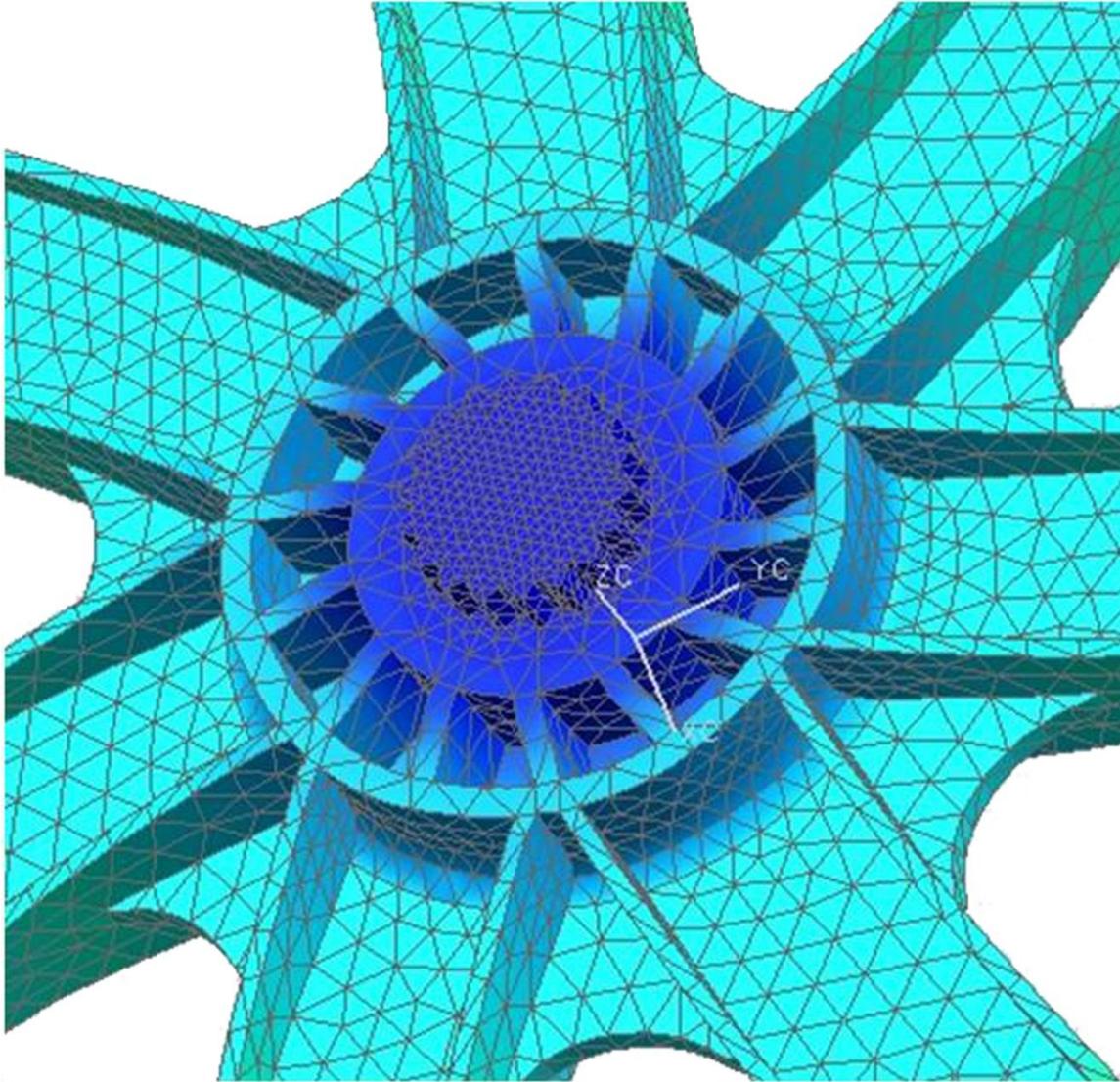


Figura 22. Acercamiento de la polea agitador en la parte del cubo y la flecha.

3.8.2 Esfuerzos.

La figura 23 corresponde al estado de esfuerzos que presenta el rediseño reforzado con costillas y cartabones, el color rojo representa el mayor esfuerzo con una magnitud de 31 [MPa] y el color azul representa el menor esfuerzo, como se puede apreciar en la parte inferior izquierda de la figura así como la gama de colores y su respectivo valor de esfuerzos, analizando el nivel de esfuerzos de la polea agitador en los brazos se puede observar una disminución de los esfuerzos ya que en los brazos se tiene un nivel de esfuerzos de 12.47 [MPa], en el análisis del segundo rediseño los brazos son la parte crítica de la polea agitador.

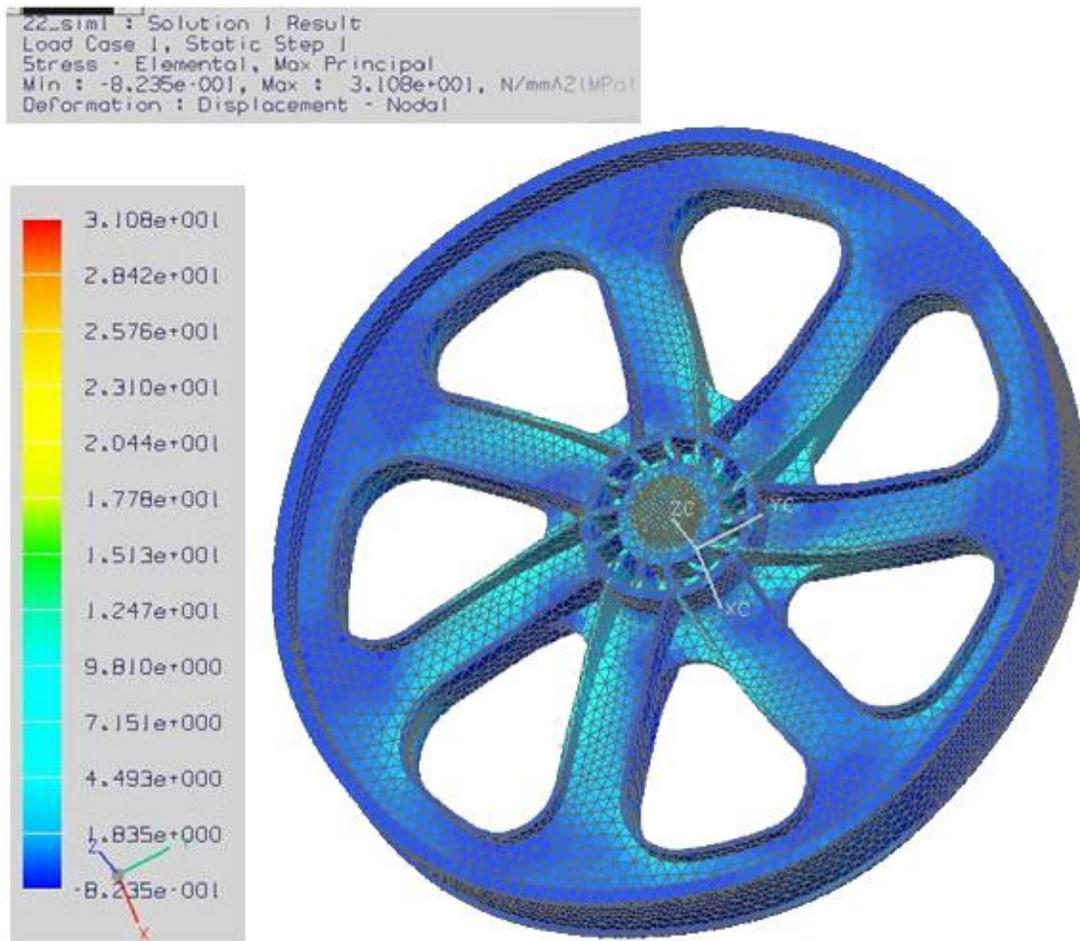


Figura 23. Representación del estado de esfuerzos de la polea agitador.

En la figura 24 corresponde al estado de esfuerzos en la parte del cubo y la flecha en donde se puede observar que la gama de color representa los máximos esfuerzos sobre la flecha que transmite las fuerzas por medio del estriado la polea agitador.

Los puntos donde se puede observar el color rojo representa un nivel de esfuerzos de 31 [MPa] en la flecha de la polea.

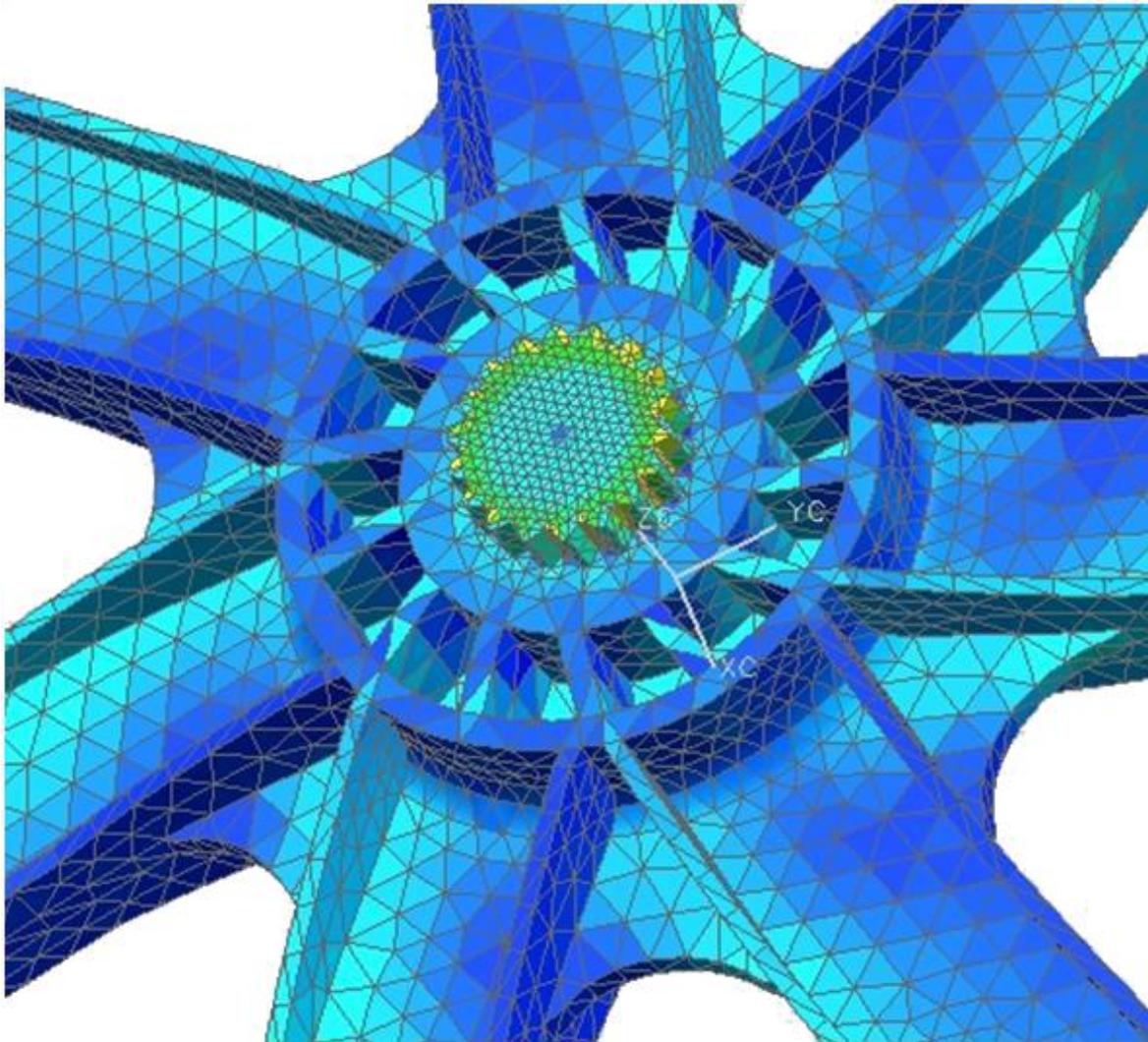


Figura 24. Acercamiento de la polea agitador con sus niveles de esfuerzos

3.9 Análisis de resultados.

Teniendo el análisis de esfuerzo y deformación en la polea agitador para lavadora de ropa manual, se concluye que resiste las condiciones de torque, tensión a los cual será sometido sin que el material falle.

Se debe considerar que la hoja técnica de especificaciones del material Celstran PPGF-40-30 nos indica que su módulo de elasticidad es de 7900 [MPa] y su esfuerzo máximo a la fluencia es de 100 [MPa] a una temperatura de 23 [°C].

Ya que el máximo esfuerzo representado en los brazos de la polea es de 12.47 [MPa], considerando que el material soporta 100 [MPa], el factor de seguridad que se obtiene es de 8.01 y con esto podemos garantizar que la polea agitador es funcional y no se rompe.

Pero debemos considerar que este material reforzado con un 40 [%] de fibra de vidrio no es isotrópico, esto quiere decir que no es homogéneo en todas sus direcciones, además que al inyectar el materia la fibra de vidrio se rompe, por tal motivo se considerará una reducción de sus propiedades del 30 [%] por recomendaciones del fabricante del plástico, por lo tanto los valores empleados en dichos análisis son de 70 [MPa] para esfuerzo máximo de ruptura y su módulo de elasticidad es de 5530 [MPa], para poder discernir si la polea agitador resistirá a tales condiciones.

Teniendo en cuenta que se tiene un factor de seguridad de 5.61 el cual sigue siendo elevado y por tal motivo se puede considerar que la polea agitador resistirá el trabajo del movimiento reversible soportando 150 [N] en la tensión de la banda y el torque de 37.3 [N-m].

Considerando lo antes mencionado y después de analizar las gráficas de esfuerzo deformación así como sus desplazamientos de 0.39 [mm], dado que también se debe considerar que su desplazamiento no sea significativo, ya que esto provocaría un desbalanceo y propiciaría que fallará la polea agitador así como cualquier otro componente de la lavadora de ropa manual.

CAPÍTULO 4.

MOLDEABILIDAD.

4.1 Introducción.

Es frecuente que las piezas moldeadas no cumplan con las especificaciones pre-establecidas de diseño, en este capítulo se estudiarán las causas y posibles soluciones de problemas que pueden surgir durante el proceso de inyección. Para mejorar la productividad y calidad de las piezas se deben considerar los siguientes puntos: el molde, el medio ambiente, la máquina de inyección, mano de obra y las variables de proceso presión, tiempo, temperatura y velocidades.

4.2 Simulación y procesos de inyección.

En México, desde hace 22 años, se han aplicado [4] los sistemas de simulación de flujo en plásticos de ingeniería, pero principalmente por los fabricantes de materias primas, debido al alto costo de este tipo de sistemas y a la preparación técnica que se requiere del personal.

Actualmente, los fabricantes de electrodomésticos cuentan ya con este tipo de sistemas, debido al desarrollo de programas de menor costo y a que se integran a los sistemas de CAD y CAM con los que actualmente cuentan.

Los programas de simulación que existen para el proceso de moldeo por inyección se pueden dividir en dos grupos generales: los programas que permiten hacer análisis simples y rápidos y los sistemas complejos, que llevan a soluciones en tres dimensiones.

Así mismo, ya se cuenta con sistemas de control de procesos de producción que operan con base en los programas de simulación.

Dentro de los programas de simulación rápida encontramos Part Adviser de Moldflow Corporation; FaMold y MCO de Plastics & Computer; Miniflow de The Madison Group y Quickflow de RJG Associates.

En este tipo de sistemas, se toma el modelo tridimensional y se define el punto o puntos de inyección, se selecciona el material, se definen los parámetros de inyección y se realiza el análisis.

Los sistemas complejos los podemos dividir en sistemas de plano medio y sistemas tridimensionales.

Los sistemas de plano medio fueron los primeros en desarrollarse y al paso del tiempo se han empleado más para realizar la simulación del proceso de inyección.

En estos sistemas, como su nombre lo indica, se hace uso de un plano medio de la pieza y se considera que los planos superiores e inferiores de la cavidad del molde son las únicas fuentes de generación de esfuerzos cortantes y de calor.

Los sistemas tridimensionales aparecieron en 1998. Se considera su uso sólo cuando se presentan paredes gruesas en la pieza y no se cuenta con un plano medio obvio dentro de la misma y no pueden ser representados de una manera exacta por la mayoría de los programas de simulación de plano medio.

Dentro de los programas de simulación complejos encontramos a MPI de Moldflow.

4.2.1 Diez criterios en el análisis de resultados.

El análisis de resultados de cada uno de estos sistemas, se basa en la aplicación de diez principios [5].

1.- Patrón de flujo controlado y unidireccional.

El principio de flujo direccional establece que el plástico deberá fluir en una sola dirección con un flujo frontal recto hasta la última zona en llenarse. Esto da un patrón de flujo unidireccional.

2.- Flujo balanceado.

Este principio establece que las trayectorias del flujo dentro de un molde, deberán llenar todas las trayectorias de recorrido del material plástico en el mismo tiempo y con la misma presión.

3.- Gradiente de presión constante.

La mejor eficiencia de llenado se realiza cuando el gradiente de presión se mantiene constante, esto quiere decir que la caída de presión por unidad del recorrido, es constante a lo largo de la trayectoria del flujo.

4.- Máximo esfuerzo cortante.

El esfuerzo cortante durante el llenado deberá ser menor que el nivel crítico. El valor de este nivel crítico depende del material que se esté usando así como la aplicación de la pieza.

5.- Tiempo de enfriamiento uniforme.

El tiempo de enfriamiento deberá ser uniforme en toda la pieza para evitar alabeo.

6.- Localización de las líneas de unión y fusión.

La mejor localización de las líneas de unión y fusión será en las áreas menos sensibles, dónde los esfuerzos mecánicos sean menores o dónde, desde el punto de vista estético, no sean visibles.

7.- Evitar el efecto duda.

El “efecto de duda” ocurre cuando el flujo disminuye su velocidad o se para a lo largo de una trayectoria particular.

Si el plástico dentro de la cavidad tiene dos opciones entre una sección delgada y una sección gruesa, el plástico tiende a llenar la sección gruesa primero, porque esta ruta ofrece menos resistencia al flujo.

8.- Evitar el choque de flujos.

Este principio establece que se deben colocar los puntos de inyección de tal manera que los flujos frontales se encuentren al final del llenado de la pieza.

9.- Balancear con flujos líderes y deflectores de flujo.

Usar flujos líderes, incremento local en el espesor para un decremento en el flujo en una dirección particular, o deflectores de flujo, reducción local en el espesor para desviar el flujo, para obtener un flujo balanceado.

10.-Contracciones térmicas controladas.

Se necesita diseñar adecuadamente los sistemas de distribución para controlar las contracciones térmicas, para lo cual se requiere incrementar la temperatura del material en la cavidad.

Esto hace que en la pieza predominen bajos niveles de esfuerzo, sin causar degradación en el material debido a los largos tiempos de exposición a temperaturas elevadas.

El uso de los principios anteriores permite obtener piezas de calidad, mejores moldes y establecer las condiciones de inyección preliminares para la inyectora.

4.3 Análisis de flujo asistido por computadora.

La manufactura de la polea agitador, se considera en base al proceso de inyección del material Cestran PPGF-40-30 mediante el uso de un molde de tres placas. Este tipo de molde se adecua para la inyección de diseño, para lo cual se consideran 7 puntos de inyección, uno por cada brazo a diferentes distancias con respecto al centro de la flecha para poder obtener un balance, considerando los diez criterios de análisis de resultado para obtener una inyección adecuada.

4.4 Influencia de la presión, temperatura y tiempo de inyección.

Las variables que intervienen en el proceso de inyección son: la presión de inyección, velocidad de inyección y tiempo de enfriamiento. En la literatura podemos encontrar la influencia de una variable, mientras las demás permanecen constantes.

La Tabla 5 describe las causas de los problemas más comunes y con ello, la variable a la que está asociada a dicho problema. El signo “+” representa el incremento del valor de dicha variable y el signo “-” representa disminuir el

valor de dicha variable. Sin embargo, existen otras causas que provocan un mal funcionamiento en las piezas de plástico [7].

Tabla 5. Causas de problemas en piezas de moldeo referidas a una variable.

<i>CAUSA DEL PROBLEMA</i>	<i>VARIABLES QUE INFLUYEN (PRINCIPALMENTE)</i>
Excesivo empaquetamiento (dificultad de extracción de la pieza) (+).	<i>PRESIÓN</i>
Llenado lento del molde (+).	
Mala distribución en el premezclado (+ contrapresión).	
Plástico del molde insuficiente para impedir una contracción producida por bordes (+).	
Presión elevada (rebaba) (-).	
Maquina no adecuada para la presión necesaria de la pieza.	
Baja presión de inyección (+).	
Insuficiente carga del material (+)	
Plástico demasiado frío (+).	
Choque de dos o más frentes de flujo (+).	
El material no llena el molde en el tiempo establecido (+).	
Disminuye el volumen a medida que se enfría y cristaliza el plástico, para encogimiento excesivo (+) y contracción insuficiente (-).	
La contracción térmica del plástico no puede ser compensada en ciertas zonas (+).	
Encogimiento de la pieza (+ la segunda presión).	<i>VELOCIDAD DE INYECCIÓN</i>
Entrada o boquilla estrecha (-).	
Inyección lenta (+).	
Alta velocidad de enfriamiento (+).	
La contracción térmica del plástico no puede ser compensada en ciertas zonas (-).	<i>TIEMPO DE ENFRIAMIENTO</i>
Temperaturas de procesamiento inadecuadas ocasionando deformación (+).	
Por no enfriar completamente la pieza antes de liberarla del molde (encogimiento excesivo (+) y encogimiento insuficiente (-)).	

4.5 Resultados

4.5.1 Simulación del proceso de inyección.

Se realizó la simulación del proceso de inyección de la patea agitador con el material propuesto por el proveedor, mediante el programa Part Adviser de Moldflow.

Se elaboró un modelo tridimensional de la pieza, para representar una cavidad del molde, como se muestra en la figura 25, los conos color amarillo representa los puntos de inyección.

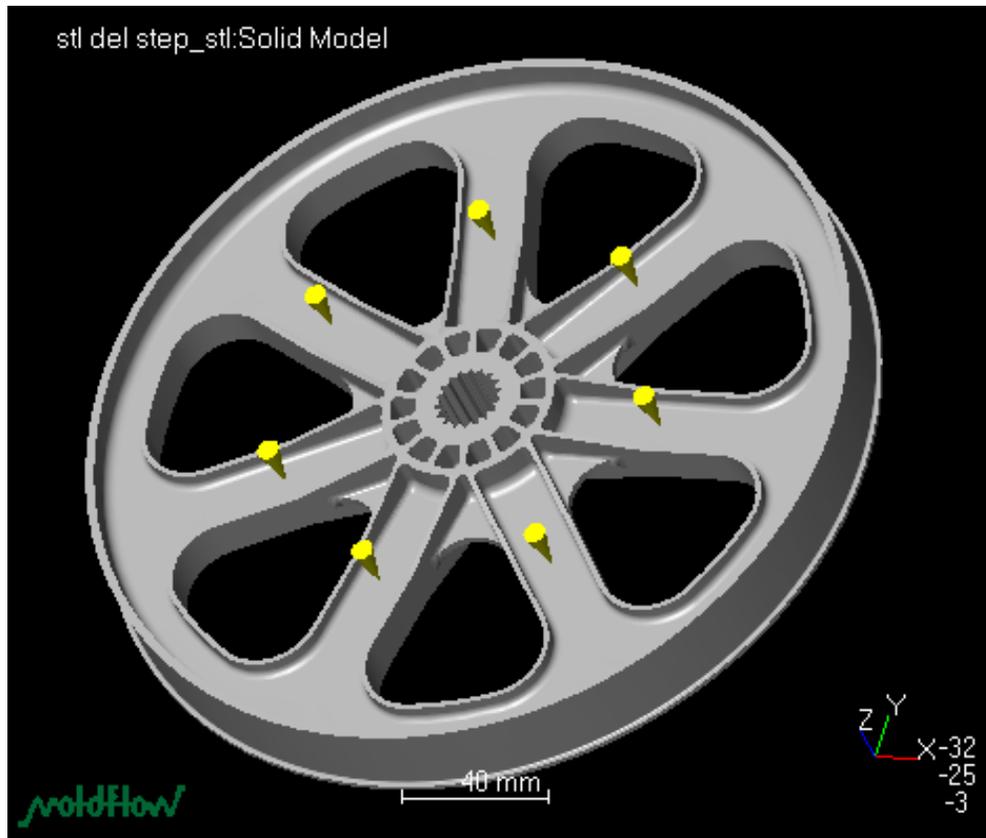


Figura 25. Modelo tridimensional.

Las condiciones de procesamiento para el polipropileno obtenidos del reporte de análisis de moldflow son:

Tiempo de llenado en segundos (s): 6.04

Temperatura del molde (°C): 55

Temperatura de la masa fundida (°C): 275

4.5.2 Tiempo de llenado.

A continuación se presentan los resultados de simulaciones de inyección de la polea agitador con 7 puntos de inyección a diferentes distancias del centro del eje para el modelo.

Las representaciones de los tiempos de llenado de la polea se muestra en las figuras 26a, 26b, 27a, 27b, 28a, 28b, 29a, 29b, con puntos de inyección a diferentes distancias, respectivamente.

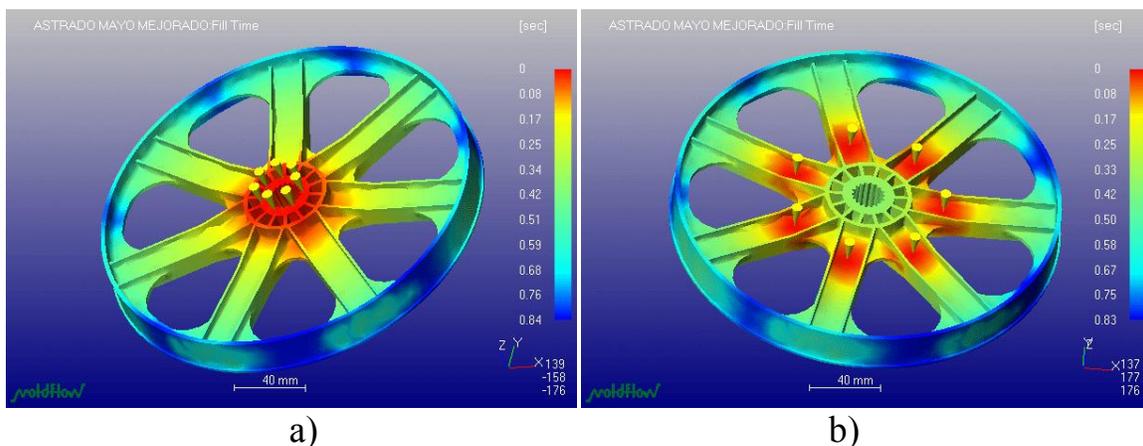


Figura 26. Tiempo de llenado.

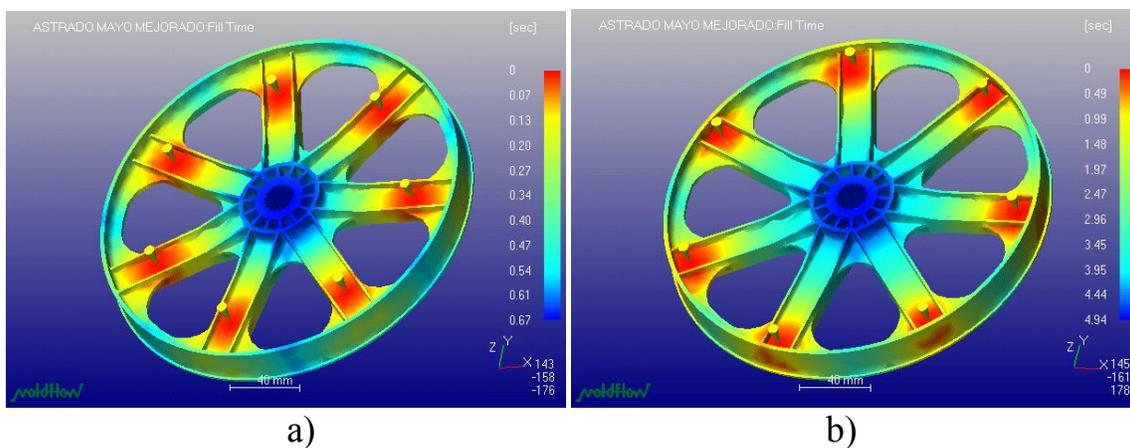
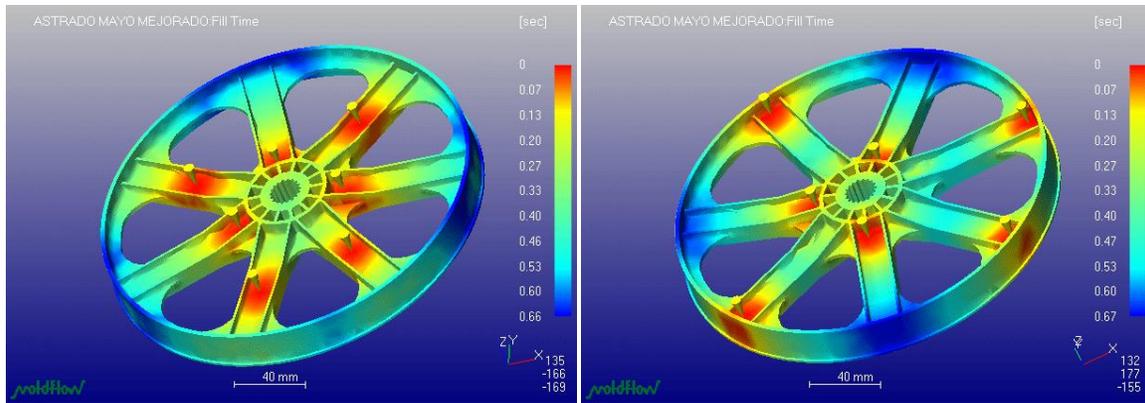


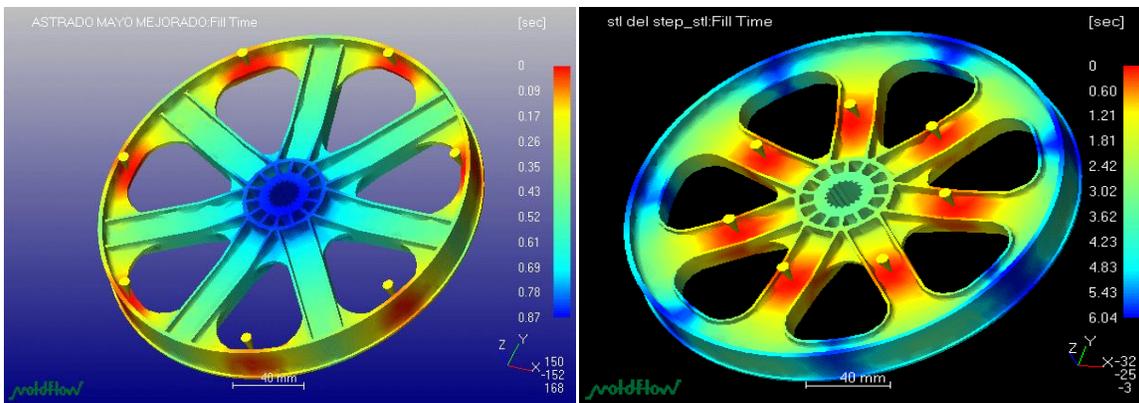
Figura 27. Tiempo de llenado.



a)

b)

Figura 28. Tiempo de llenado.



a)

b)

Figura 29. Tiempo de llenado.

Como se puede observar en la gama de colores a la derecha de las figuras, el color rojo representa al material en esa posición al estar llenando la cavidad aumentando gradualmente hasta los tiempos que se muestra en la tabla 6, que es representado con color azul y que indica el momento en que se llena completamente la cavidad del molde. Como se puede observar el tiempo de llenado más corto lo muestra la (figura 28a) y el más largo es el de la (figura 29 b).

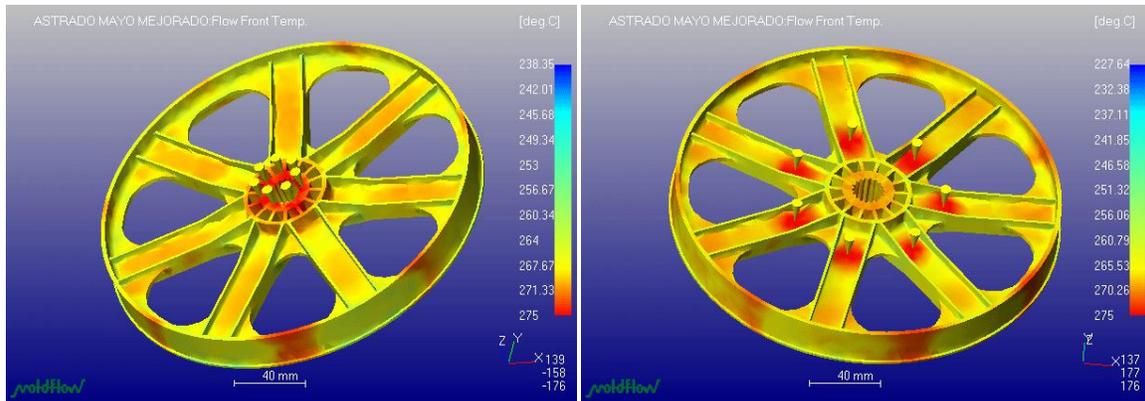
Tabla 6. Tiempos de llenado.

Figura	Tiempo de inyección [s]
26 a	0.84
26 b	0.83
27 a	0.67
27 b	4.49
28 a	0.66
28 b	0.67
29 a	0.87
29 b	6.04

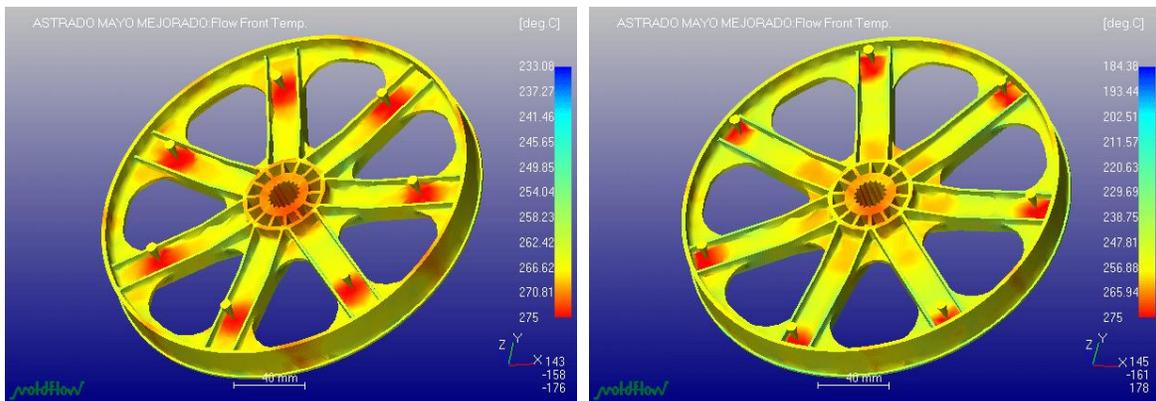
4.5.3 Distribución de temperatura.

En el punto de inyección se tiene la mayor temperatura y en la zona de refuerzos la menor.

En las figuras 30a, 30b, 31a, 31b, 32a, 32b, 33a, 33b, se muestra el gradiente de temperatura que se tiene al finalizar el llenado de la cavidad con las diferentes posiciones de los 7 puntos de inyección.



a) b)
Figura 30. Distribución de temperatura.



a) b)
Figura 31. Distribución de temperatura.

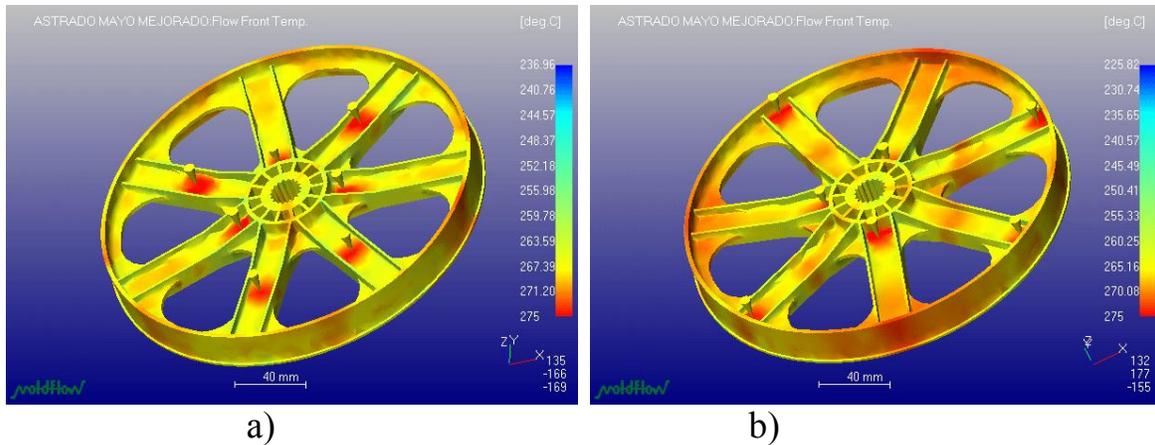


Figura 32. Distribución de temperatura.

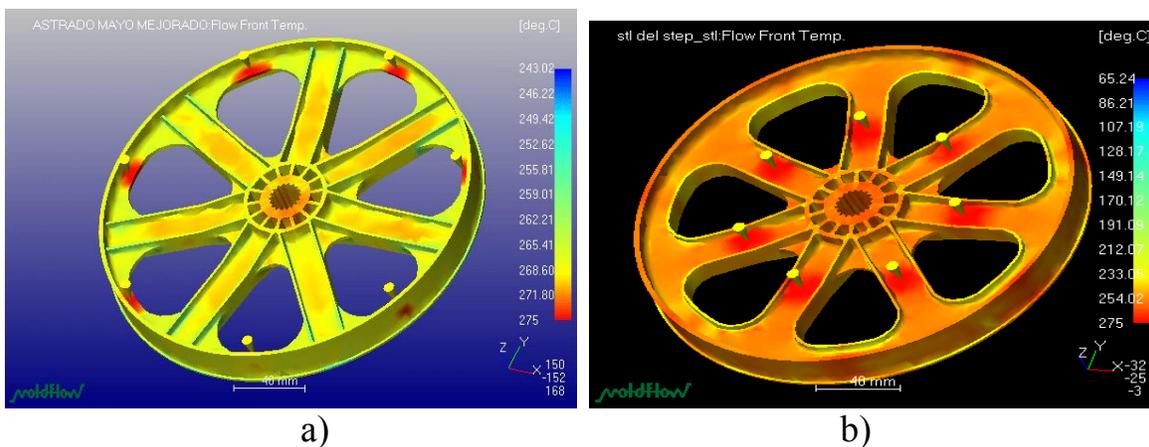


Figura 33. Distribución de temperatura.

Se recomienda que el gradiente de temperatura no exceda los 20 [°C], para que no se presenten problemas de pandeo debida a la diferencia de temperaturas y contracción del material.

Tabla 7. Gradiente de temperatura.

Figura	Gradiente de temperatura. °[C]
30 a	22
30 b	10
31 a	19
31 b	37
32 a	20
32 b	5
33 a	20
33 b	12

En la tabla 7 se muestra la temperatura en la polea agitador, las figuras que cumplen con el gradiente de temperatura no mayor a 20 [°C] son: 30b,31a,32a, 32b, 33a y 33b.

Como ya se sabe que los gradientes de temperatura no deben ser mayores a los 20 [°C], ya que si es mayor se puede presentar pandeo en las piezas inyectadas, por tal aseveración los mejores gradientes de temperatura son los de las figuras 30b y 32b.

4.5.4 Distribución de presión.

La caída de presión máxima corresponde a la última zona en llenar, ver figura 34a, 34b, 35a, 35b, 36a, 36b, 37a, 37b, en las figuras se muestra la caída de presión que se tiene conforme avanza el fluido.

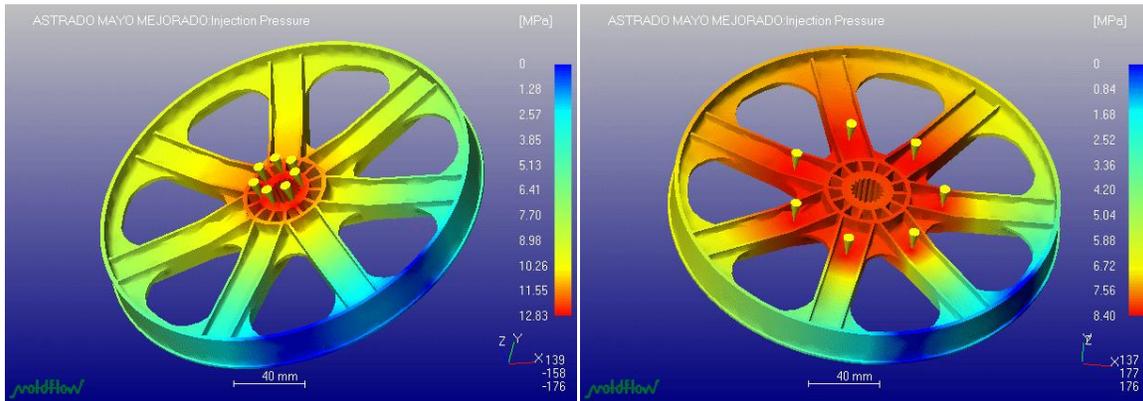


Figura 34. Distribución de presión.

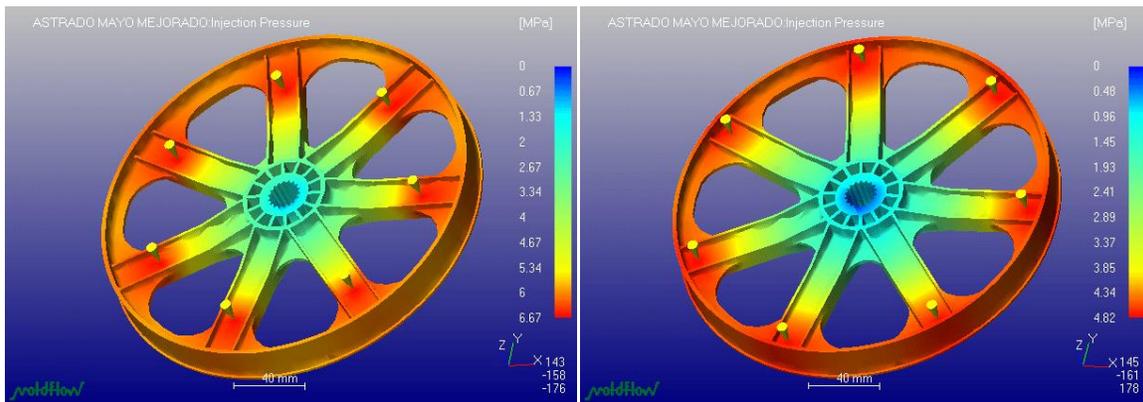
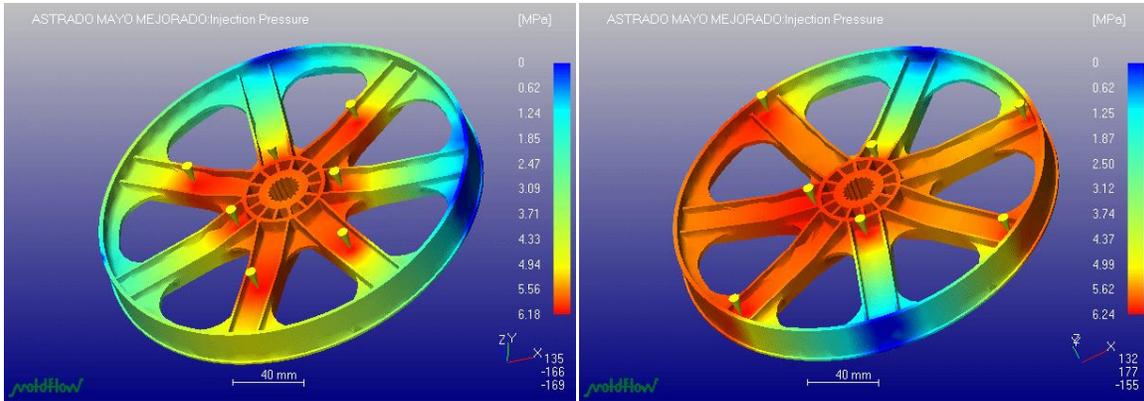
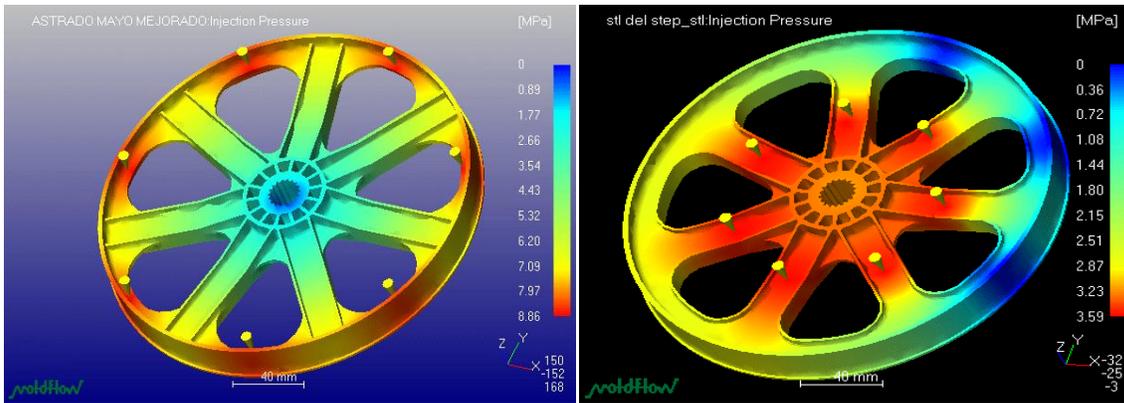


Figura 35. Distribución de presión.



a) b)
Figura 36. Distribución de presión.



a) b)
Figura 37. Distribución de presión.

En la tabla 8 esta la distribución de presión de las figuras anteriores.

Tabla 8. Distribución de presión.

Figura	Distribución de presión [MPa]
34 a	12.83
34 b	8.40
35 a	6.67
35 b	4.82
36 a	6.18
36 b	6.24
37 a	8.86
37 b	3.59

La caída de presión máxima corresponde a la última zona en llenar, las figuras 35 b y 37 b tienen una presión máxima menor comparadas con las otras figuras.

En la polea de la figura 34 a, se tiene una caída de presión de 12.83 [MPa], lo que representa un mayor consumo de energía en la máquina de inyección.

4.5.5 Líneas de unión.

Las líneas de unión se forman en las ranuras de la pieza principalmente y siendo las más críticas las que se ubican en el lado opuesto al punto de inyección, ver figuras 38a, 38b, 39a, 39b, 40a, 40b, 41a, 41b, en las figuras se muestra las líneas de unión que se tiene conforme avanza el fluido.

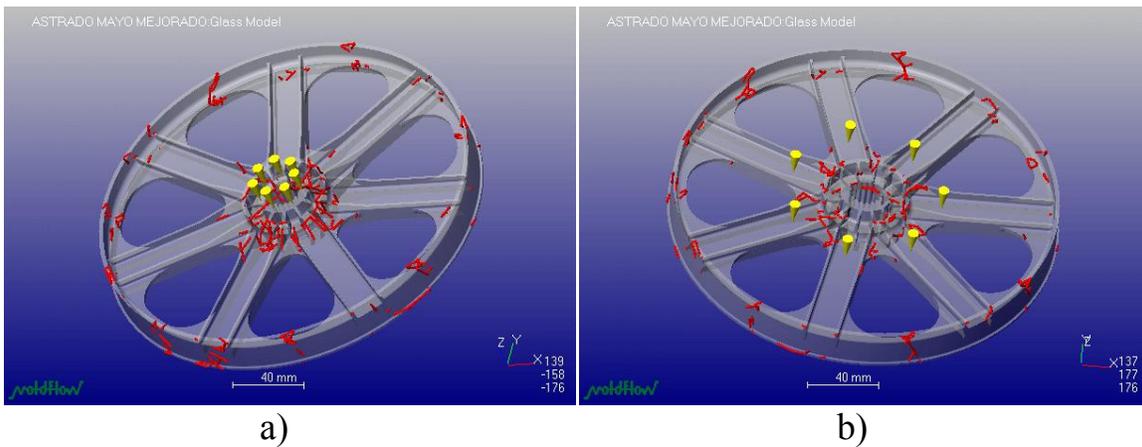


Figura 38. Líneas de unión.

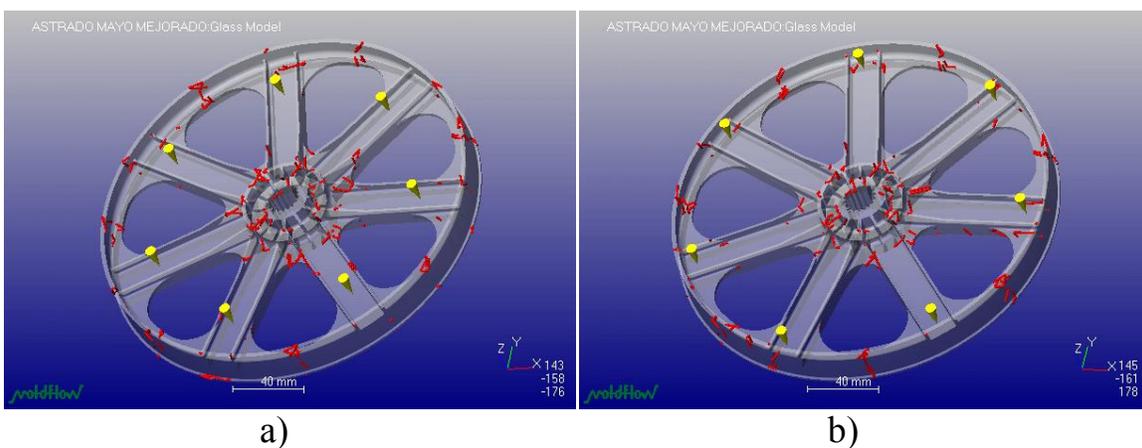


Figura 39. Líneas de unión.

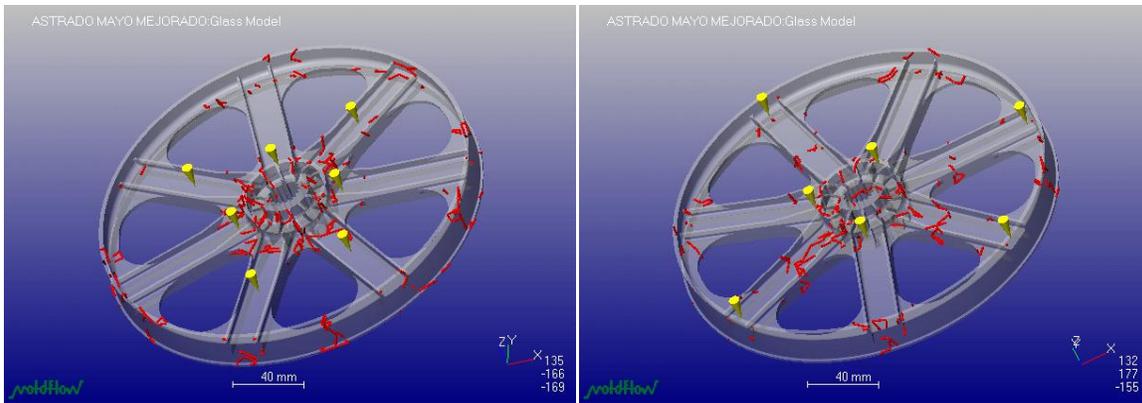


Figura 40. Líneas de unión.

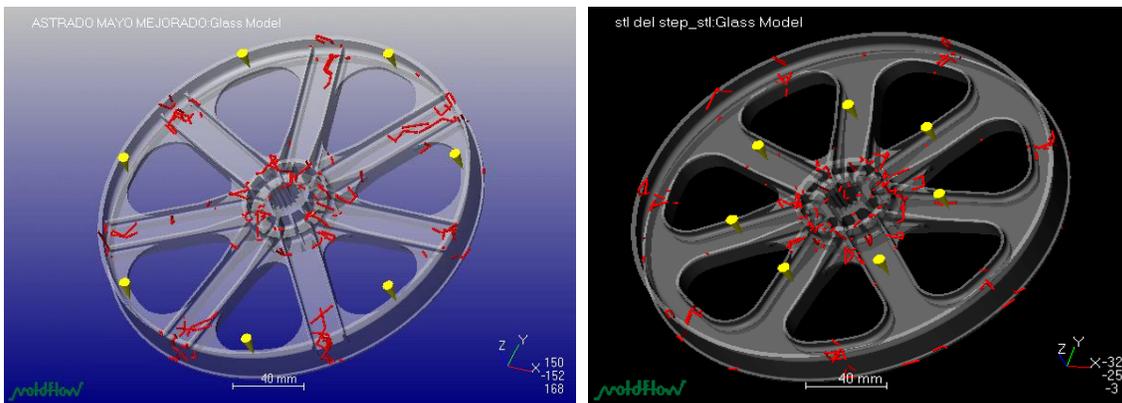


Figura 41. Líneas de unión.

Las líneas de unión de la polea se encuentran precisamente entre los brazos y en la parte superior. Cabe hacer notar que las líneas de unión llegan al cubo o mamelón, la cual es una zona crítica desde el punto de vista de funcionamiento de la polea.

Se sabe que las propiedades del material pueden disminuir en las líneas de unión y considerando nuestros modelos, se observa que la polea que tiene más líneas de unión se considera más crítico el diseño.

4.5.6 Aire atrapado.

El propósito de obtener una grafica con los puntos donde queda el aire atrapado, figuras 42a, 42b, 43a, 43b, 44a, 44b, 45a, 45b, es para conocer donde se deben colocar venteos para la salida de aire que desplaza el material fundido al estar avanzando y no quede atrapado dentro del molde para que no dañe el molde y la pieza moldeada.

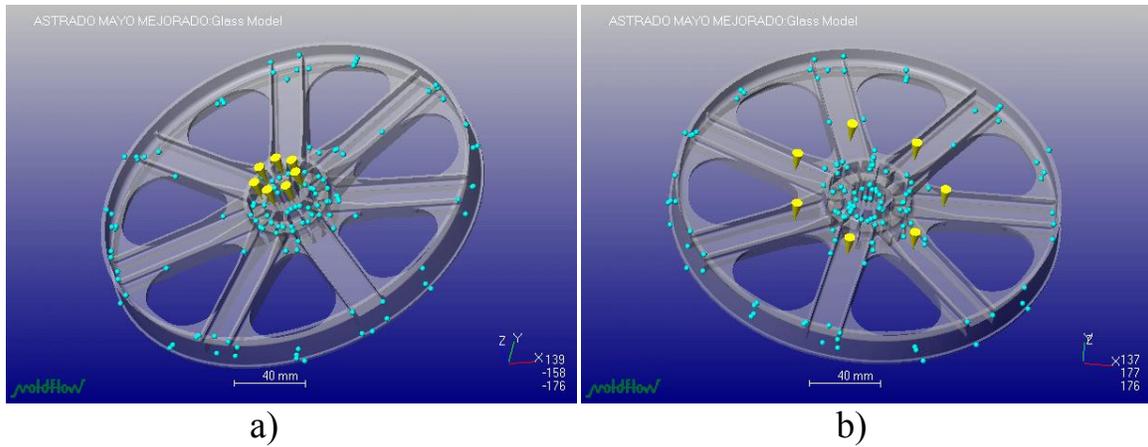


Figura 42. Aire atrapado.

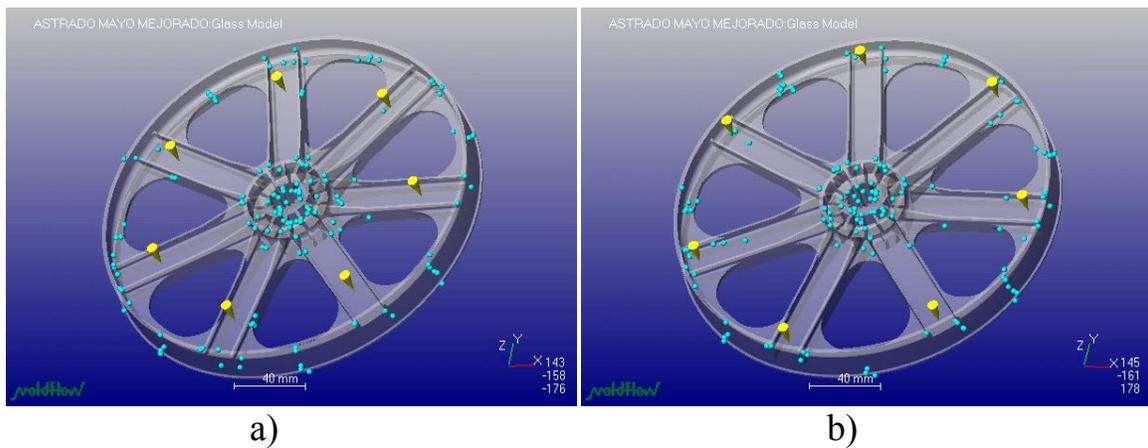


Figura 43. Aire atrapado.

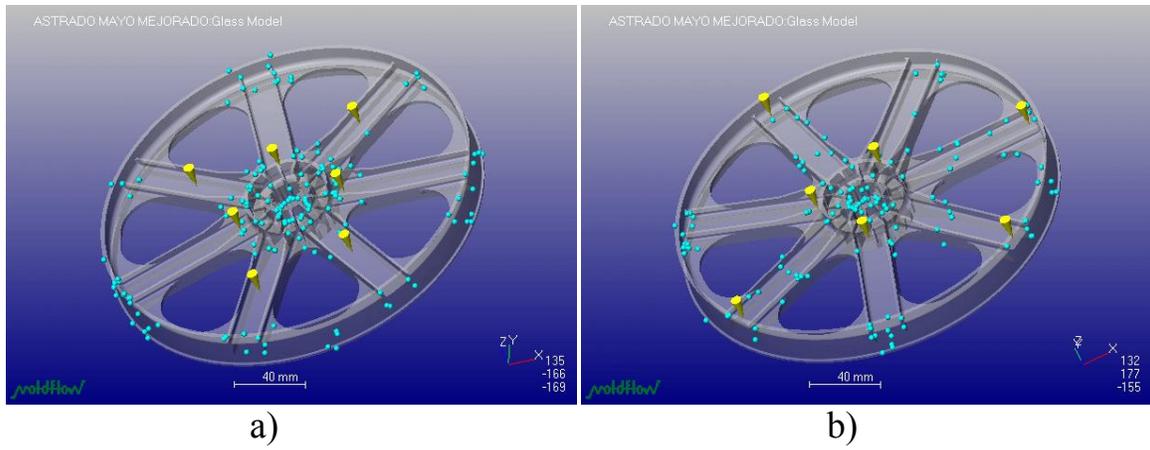


Figura 44. Aire atrapado.

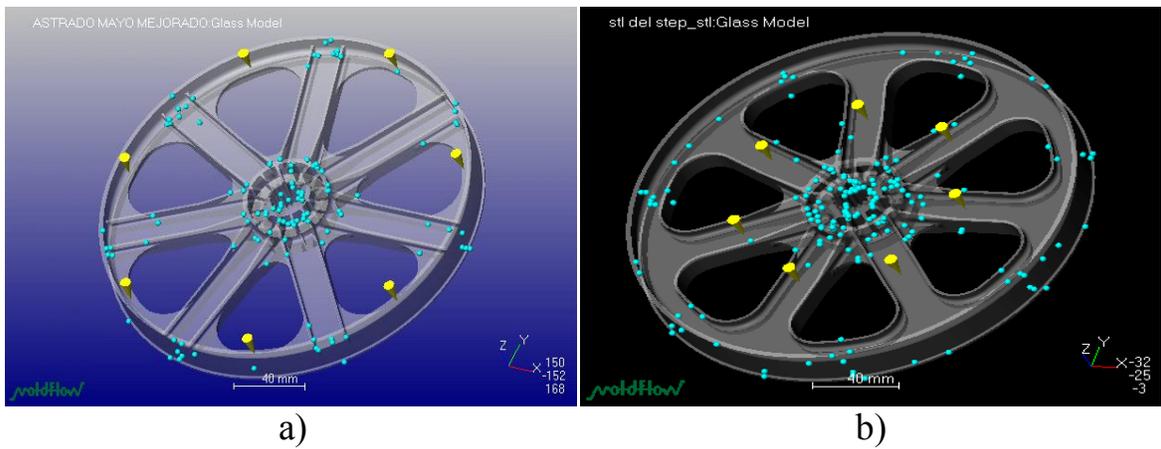


Figura 45. Aire atrapado.

El aire atrapado en la polea es en la parte superior de los orificios, en algunas partes del cubo y en la parte inferior de los tres orificios.

4.5.7 Índice de calidad.

Este índice se obtiene de la evaluación conjunta de los resultados de temperatura, presión, esfuerzo cortante, velocidad de corte y tiempo de enfriamiento. Cuando una de estas variables está fuera de los rangos permitidos se obtiene un índice de calidad medio y un índice bajo, cuando es mayor a dos ver figuras 46a, 46b, 47a, 47b, 48a, 48b, 49a y 49b.

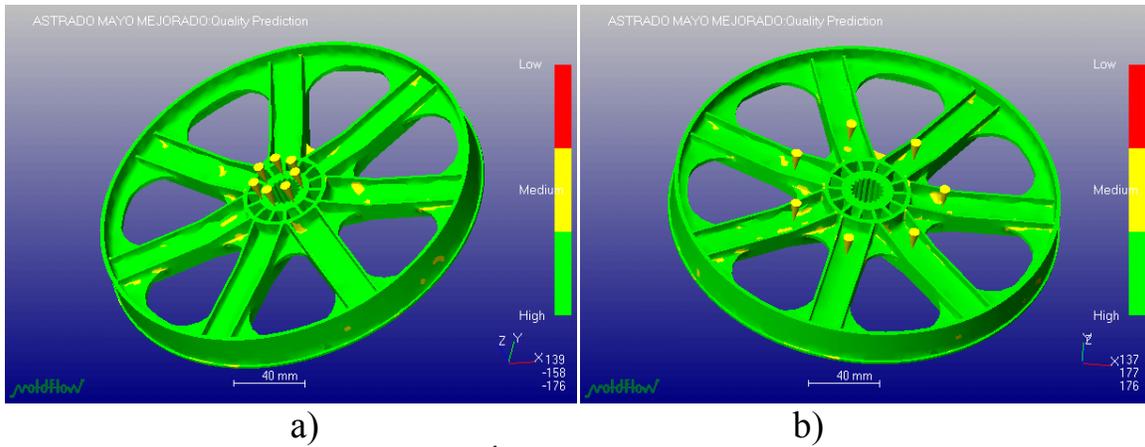


Figura 46. Índice de calidad.

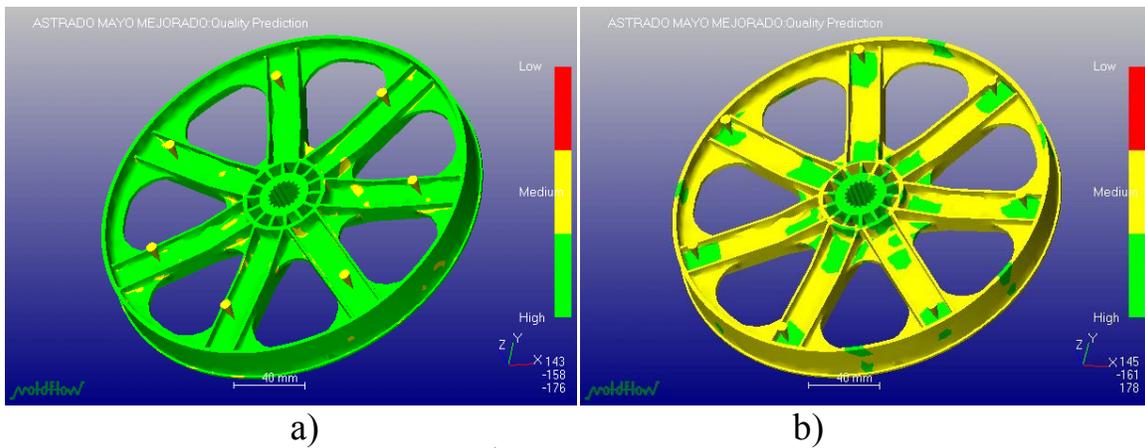
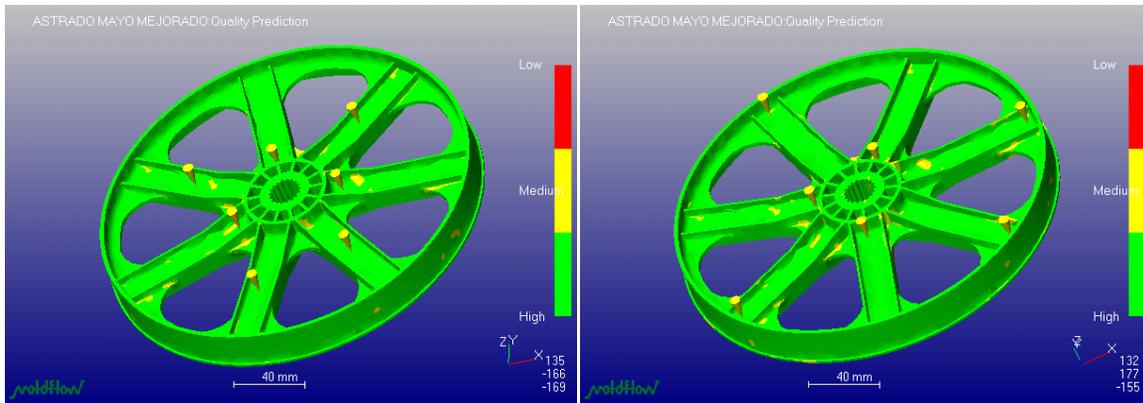
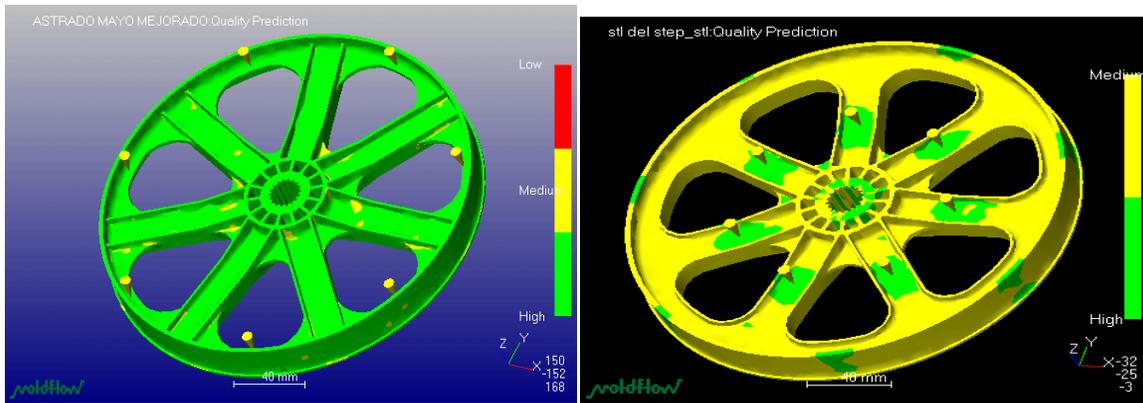


Figura 47. Índice de calidad.



a) b)
Figura 48. Índice de calidad.



a) b)
Figura 49. Índice de calidad.

Finalmente el índice de calidad se obtiene en gran medida el resumen de todos los parámetros relacionados con la moldeabilidad de la polea agitador y con estas graficas puedes ver que tan factible es inyectar dicha pieza.

El color verde representa una alta probabilidad de que se llene el molde y pueda inyectarse la pieza.

El color amarillo representa una probabilidad media de que se llene el molde y pudiera ser que no se pueda inyectar la pieza de plástico.

Por último el color rojo representa una probabilidad baja de que el molde se llene y no se pueda inyectar la pieza.

4.6 Análisis de resultados.

Para el caso particular de la polea agitador, la sustitución de material es factible desde el punto de vista reológico. Se obtuvieron las condiciones de inyección preliminares del polipropileno para con estas, ajustar los parámetros en la máquina de inyección por parte del fabricante del componente.

Por las características de procesamiento de este material, se reduce el tiempo de fabricación, los costos de energía de la inyectora y en consecuencia el costo total de producción del dispositivo de arranque.

El sistema empleado en este trabajo para la simulación del flujo, se recomienda para los diseñadores de componentes, no así para los fabricantes de moldes, los cuales requieren de sistemas más complejos.

En la tabla 9 se muestra el resumen de ocho diferentes análisis de moldeabilidad de los puntos de inyección, para poder discernir cual configuración es la mejor para realizar la inyección de la polea agitador cumpliendo con los parámetros adecuados de llenado.

Como se puede observar la mejor configuración de los puntos de inyección en el análisis de moldeabilidad número 5 y 8, ya que cumplen con la mayoría de los parámetros de moldeabilidad, gradiente de temperatura, distribución de presión, líneas de unión y aire atrapado aceptable.

Finalmente el análisis numero 8 muestra un gradiente de temperatura es de 12 [°C] y su distribución de presión es de 3.59 [MPa] valores que son más favorables en comparación con el análisis numero 5, por lo tanto la mejor configuración que garantiza la inyección de la polea agitador es el análisis número ocho como se muestra en la tabla 9.

Tabla 9. Relación de parámetros de inyección de la polea agitador.

Análisis de moldeabilidad.	Figura	Tiempo de inyección [s]	Figura	Gradiente de temperatura [°C]	Figura	Distribución de presión [MPa]	Figura	Líneas de unión	Figura	Aire atrapado	Figura	Índice de calidad	Parámetros favorables
1	26a	0.84	30a	22	34a	12.83	38a		42a		46a		2
2	26b	0.83	30b	10	34b	8.4	38b		42b		46b		4
3	27a	0.67	31a	19	35a	6.67	39a		43a		47a		4
4	27b	4.49	31b	37	35b	4.82	39b		43b		47b		3
5	28a	0.66	32a	20	36a	6.18	40a		44a		48a		5
6	28b	0.67	32b	5	36b	6.24	40b		44b		48b		4
7	29a	0.87	33a	20	37a	8.86	42a		45a		49a		3
8	29b	6.04	33b	12	37b	3.59	41b		45b		49b		5

CONCLUSION GENERAL.

En el presente trabajo se diseñó la polea agitador de una lavadora de ropa manual fabricada con un material plástico que sustituye a una de aluminio cumpliendo satisfactoriamente los requerimientos, establecidos por un fabricante de electrodomésticos nacional mencionados en el objetivo del presente trabajo.

En el diseño de piezas de plástico se busca la integridad estructural sin crear paredes de gran espesor, para lograr lo anterior es necesario aumentar la rigidez de la pieza o el valor del momento de inercia.

Podemos observar el análisis de esfuerzo y deformación de la polea agitador para lavadora de ropa manual, resiste a las condiciones de torque, tensión y ciclos a los que serán sometido sin que falle el material.

Se debe considerar que la hoja técnica de especificaciones del material Celstran PPGF-40-30 nos indica que su módulo de elasticidad es de 7900 [MPa] y su esfuerzo máximo a 23 [°C] es de 100 [MPa].

Ya que el esfuerzo representado en los brazos de la polea es de 12.47 [MPa], considerando que el material soporta 100 [MPa], el factor de seguridad que se obtiene es de 8.01 y con esto podemos garantizar que la polea agitador es funcional y no se rompe bajo las condiciones preestablecidas.

Se debe considerar que este material reforzado con un 40 [%] de fibra de vidrio no es isotrópico, esto quiere decir que no es homogéneo en todas sus direcciones, además que al inyectar el materia la fibras de vidrio se rompe, por tal motivo se considerará una reducción de sus propiedades del 30 [%] por recomendaciones del fabricante del plástico, por lo tanto los valores empleados en dichos análisis son de 70 [MPa] para esfuerzo máximo y su módulo de elasticidad es de 5,530 [MPa], para poder discernir si la polea agitador resistirá a tales condiciones.

Teniendo en cuenta que se tiene un factor de seguridad de 5.61 el cual sigue siendo elevado y por tal motivo se puede considerar que la polea agitador resistirá el trabajo del movimiento reversible soportando 150 [N] en la tensión de la banda y el torque de 37.3 [N-m].

Considerando lo antes mencionado y después de analizar las gráficas de esfuerzo-deformación, así como sus desplazamientos de 0.39 [mm], dado que también se debe considerar que no se debe desplazar ya que esto provocaría un desbalanceo y propiciaría que fallará la polea agitador así como cualquier otro componente de la lavadora de ropa manual.

Por tal motivo, para el caso particular de la polea agitador la sustitución de material es factible desde el punto de vista estructural.

Por otro lado, también es factible desde el punto de vista reológico ya que se obtuvieron las condiciones de inyección preliminares del polipropileno para con estas, ajustar los parámetros en la máquina de inyección por parte del fabricante del componente.

Por las características de procesamiento de este material, se reduce el tiempo de fabricación, el costo total de producción.

En general, el diseño y rediseño de componentes de plástico involucra a todos los participantes dentro del concepto de trabajo de la ingeniería concurrente y permite el incremento de la calidad del diseño y la disminución del costo y tiempo de desarrollo.

El sistema para la simulación del flujo empleado en este trabajo se recomienda como esencial para los diseñadores de componentes, no así para los fabricantes de moldes, los cuales requieren de los sistemas más complejos.

El área de la simulación de los procesos de manufactura de plásticos es de gran desarrollo, y requiere de personal capacitado para mejorar los procesos de producción de componentes de plástico en México.

RECOMENDACIÓN.

Cabe destacar que en la realización de este trabajo se presentaron algunos inconvenientes ya que al realizar la primera iteración del modelado geométrico de la polea agitador siguiendo la literatura y diseñando en base a algunas recomendaciones de fabricantes de plástico, se obtenía una pieza muy robusta, pesada y no estética, por ejemplo el ángulo situado en la parte mas alta de la costilla debe de ser como mínimo $0.5[^\circ]$ y la altura debe ser de 1.5 a 5 veces el espesor de pared entre otras recomendaciones, estas no se cumplen para la polea agitador sin embargo después de algunos análisis estructurales mediante paquetería de elemento finito (UG NX6) y análisis de flujo mediante el software (moldflow) se puede concluir que es factible producir la polea agitador.

Por otro lado, se puede decir que la polea agitador rediseñada utilizando el material plástico polipropileno reforzado con fibras largas de fibra de vidrio (Celtran PP-GF-40-30) puede sustituir a la polea agitador de aluminio cumpliendo con las características o requerimientos proporcionados por el cliente.

Además, en la realización de este trabajo me pude dar cuenta, que es necesario conjuntar varios conocimientos adquiridos en mi formación profesional dentro y fuera de las aulas, para poder diseñar un componente, ya que este proceso fue de mucha retroalimentación, a lo largo de este proyecto y me dí cuenta que es muy importante la teoría, pero no lo es todo, la experiencia complementa los elementos y argumentos que requiere un diseñador, se necesita de muchos años de diseño a veces incluso cometiendo ciertos errores para llegar ser un buen diseñador.

Finalmente, este trabajo me ayudó a darme cuenta que muchas de las veces uno se subestima y tiende a pensar que las cosas que uno hace están mal en gran parte por no tener la certeza y la seguridad de que las cosas son correctas o no, tuve la oportunidad y la satisfacción de comparar mis resultados preliminares con otros análisis que el cliente mando hacer en otra entidad de manera independiente y estos fueron muy similares a los que se obtuvieron.

Es de gran alegría para un servidor poder ver que el trabajo realizado, cumpliendo con el objetivo de diseñar la polea agitador de una lavadora de ropa manual fabricada con un material plástico, es un trabajo real de aplicación en la ingeniería.

Apéndice A.

CELSTRAN® PP-GF40-03 | PP | Glass Reinforced

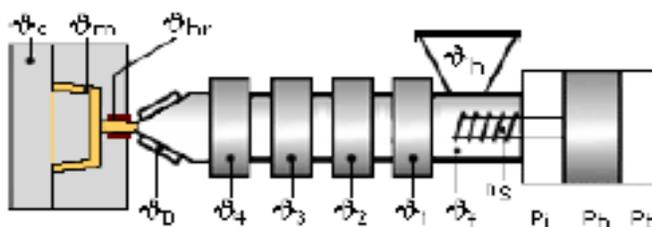
Description

40% long glass fiber reinforced, chemically coupled, heat stabilized, Polypropylene BLACK

Physical properties	Value	Unit	Test Standard
Density	1210	kg/m ³	ISO 1183

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile modulus (1mm/min)	7900	MPa	ISO 527-2/1A
Tensile stress at break (5mm/min)	100	MPa	ISO 527-2/1A
Tensile strain at break (5mm/min)	2	%	ISO 527-2/1A
Flexural modulus (23°C)	8000	MPa	ISO 178
Flexural strength (23°C)	175	MPa	ISO 178
Charpy notched impact strength @ 23°C	20	kJ/m ²	ISO 179/1eA

Typical injection moulding processing conditions



Pre Drying:

Necessary low maximum residual moisture content: 0.2%

It is normally not necessary to dry CELSTRAN PP. However, should there be surface moisture (condensate) on the molding compound as a result of incorrect storage, drying is required.

The product can then be stored in standard conditions until processed.

Drying time: 2.00 h

Drying temperature: 90 - 100 °C

Temperature:

	ϕMold	ϕMelt	ϕNozzle	ϕZone4	ϕZone3	ϕZone2	ϕZone1	ϕFeed
min (°C)	40	230	230	230	230	220	210	20
max (°C)	70	250	250	250	240	230	220	50

Injection Molding

Celstran can be processed on a standard injection molding unit.

A general purpose metering screw is recommended with a zone distribution of 40% feed, 40% transition, and 20% metering.

CELSTRAN® PP-GF40-03 | PP | Glass Reinforced

A free flowing check ring assembly is recommended.

Melt Temp: 215-225°C.

Mold Temp: 65- 75°C.

Contact Information

Americas

Ticona
Product Information Service
8040 Dixie Highway
Florence, KY 41042
USA
Tel.: +1-800-833-4882
Tel.: +1-859-372-3244
email: prodinfo@ticona.com
Ticona on the web: www.ticona.com

Customer Sales Support

Tel.: +1-800-526-4960
Tel.: +1-859-372-3214
Fax: +1-859-372-3125

Europe

Ticona GmbH
Information Service
Tel.: +49 (0) 180-5842662 (Germany)*
+49 (0) 69-30516299 (Europe)
Fax: +49 (0) 180-2021202 (Germany & Europe)**
email: Infoservice@ticona.de
Internet: www.ticona.com

*starting 01.01.2007 0,14€/minute + local landline rates

**0,06€/Call + local landline rates

General Disclaimer

NOTICE TO USERS: Values shown are based on testing of laboratory test specimens and represent data that fall within the standard range of properties for natural material. These values alone do not represent a sufficient basis for any part design and are not intended for use in establishing maximum, minimum, or ranges of values for specification purposes. Colorants or other additives may cause significant variations in data values.

Properties of molded parts can be influenced by a wide variety of factors including, but not limited to, material selection, additives, part design, processing conditions and environmental exposure. Any determination of the suitability of a particular material and part design for any use contemplated by the users and the manner of such use is the sole responsibility of the users, who must assure themselves that the material as subsequently processed meets the needs of their particular product or use.

To the best of our knowledge, the information contained in this publication is accurate; however, we do not assume any liability whatsoever for the accuracy and completeness of such information. The information contained in this publication should not be construed as a promise or guarantee of specific properties of our products. It is the sole responsibility of the users to investigate whether any existing patents are infringed by the use of the materials mentioned in this publication.

Moreover, there is a need to reduce human exposure to many materials to the lowest practical limits in view of possible adverse effects. To the extent that any hazards may have been mentioned in this publication, we neither suggest nor guarantee that such hazards are the only ones that exist. We recommend that persons intending to rely on any recommendation or to use any equipment, processing technique or material mentioned in this publication should satisfy themselves that they can meet all applicable safety and health standards.

We strongly recommend that users seek and adhere to the manufacturer's current instructions for handling each material they use, and entrust the handling of such material to adequately trained personnel only. Please call the telephone numbers listed (+49 (0) 69 30516299 for Europe and +1 859-372-3244 for the Americas) for additional technical information. Call Customer Services for the appropriate Materials Safety Data Sheets (MSDS) before attempting to process our products.

The products mentioned herein are not intended for use in medical or dental implants.

© Copyright 2007, Ticona, all rights reserved. (Pub. 26-Jan-2009)

BIBLIOGRAFIA.

- [1] Krishnamachari s.i.. Applied stress analysis of plastics. editorial van nostrand reinhold nuevayork 1993.
- [2] García Pantoja Hernández Topete, “Diseño evolutivo de componentes de plástico para electrodomésticos” Tesis profesional, Facultad de ingeniería UNAM, 2002.
- [3] Ralt Leo Ruiz Sayago, “Diseño para una transmisión para una lavadora automática de ropa.” Tesis profesional, Facultad de ingeniería UNAM, 2002.
- [4] Álvaro Ayala Ruiz, Miguel Angel Cruz Morales, “ Los sistemas CAD en lavadoras” Tesis profesional, Facultad de ingeniería UNAM, 1990.
- [5] Miguel Ángel Cruz Morales “Análisis De Flujo En El Diseño De Componentes De Plástico En Electrodomésticos *Grupo Celanese, S.A. Departamento de Ingeniería Mecánica, Facultad de Ingeniería, UNAM.
- [6] Luis Ballesteros, Antonio Dorantes, Oscar Barrios, Jorge Vega y Gerardo Braham. “Tecnicas Numericas Y Experimentales Aplicadas Al Desarrollo De Nuevos Productos. Mabe Tecnología y Desarrollo Acceso B # 406, Parque Industrial Jurica, Querétaro, Qro. C.P. 76120.
- [7] Ramón Flores Gómez “ Evaluación de la Geometría-Rigidez en Piezas de Material Plástico.” Ciudad Universitaria, México DF 2009.
- [8] http://www.iesmarenostrium.com/departamentos/tecnologia/mecaneso/mecanica_basica/operadores/ope_polea.htm
- [9] <http://www.gearsolutionsonline.com/articles/splines0105.html>
- [10] Ricardo Mejía González “Ingeniería concurrente en el proceso de diseño de productos de plástico” Tesis profesional, Facultad de ingeniería UNAM, 1994.
- [11] Robert A. Malloy “Plastic part design for injection holding” Munich; Vienna; new York 1994.
- [12] <http://www.dof.gob.mx/documentos/3958/sener/sener.htm>

[13] Miguel Ángel Cruz Morales “Introducción al diseño y manufactura asistido por computadora” Presentación, Facultad de ingeniería UNAM, 2006.

[14] <http://www.marindela fuente.com.ar/diseño-web/>

[15] <http://www.elprisma.com/apuntes/ingenieria-industrial/diseñoasistido/>

[16] Vicente Borja Ramírez, Alejandro C. Ramírez Reivich “Innovación de producto, Premio Nacional de Tecnología, México.

[17] <http://personales.ya.com/casanchifispalancas.pdf.pdf>

[18] <http://books.google.com/support/bin/answer.py?answer=91570&hl=e>

[19] DSM: http://www.dsm.com/en_us/htm/home/dsm_home.cgi

[20] http://www.efunda.com/designandars/plastic-design/plastic_intro.cfm

[21] Manual de Diseño de TICONA. Engineering Plastics.C.3.4 Guidelines for the design of moldings in engineering plastic.

[22] Manual de Diseño de TICONA. Designing with Plastics.

[23] http://www.scudc.scu.edu/cmdoc/dg_doc/develop/design/part/33000003.htm

[24] <http://foroalfa.org/articulos/cuales-son-las-teorias-propias-del-diseno.>

[25] Luis Ballesteros, Antonio Dorantes “Técnicas numéricas y experimentales aplicadas al desarrollo de nuevos productos” Mabe Tecnología y Desarrollo.

[26] http://translate.google.com/translate?hl=es&langpair=en|es&u=http://en.wikipedia.org/wiki/Spline_%28mathematics%29