

20
24



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTONOMA
DE MEXICO

FACULTAD DE INGENIERIA

ANALISIS DE FALLA DE UNA CUBIERTA
DE PLASTICO

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TITULO DE
INGENIERO MECANICO ELECTRICISTA
P R E S E N T A N
MOISES / BARRON ARELLANO
OSCAR MARTINEZ SOTO

DIRECTOR DE TESIS: M. EN I. MIGUEL ANGEL CRUZ MORALES



MEXICO, D. F.

1997

TESIS CON
FALLA DE ORIGEN



Universidad Nacional
Autónoma de México



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

Expresamos nuestro reconocimiento al director de esta tesis M. en I. Miguel Angel Cruz Morales por todas las facilidades prestadas para el desarrollo de la presente, por transmitirnos su experiencia, conocimientos y por el apoyo brindado a lo largo de este trabajo.

A MIS PADRES.

MOISES Y ROSA LUZ

**PORQUE EN LOS MOMENTOS BUENOS Y
MALOS SIEMPRE ME DEMOSTRARON SU
APOYO, GUIANDOME PARA SEGUIR POR
EL CAMINO CORRECTO Y PODER LLEGAR
AL FINAL DE ESTE TRABAJO**

A MIS HERMANOS.

MARU, CECI E ISAAC

**POR LO QUE REPRESENTAN PARA MI Y
SER PARTE IMPORTANTE DE ESTA
FAMILIA.**

**A MIS AMIGOS Y COMPAÑEROS POR
HACER MAS AGRADABLE LA ESTANCIA
EN ESTA UNIVERSIDAD.**

MOISES

A mis padres:

Por su profundo interés y confianza que siempre depositaron en mí. Porque gracias a su ayuda y apoyo que en todos los aspectos siempre me han brindado logre salir adelante de este compromiso conmigo, mi admiración y eterno agradecimiento.

A mis hermanas:

Edwin, Mirna, Irma y Humberto por la ayuda que me brindaron desde el inicio hasta el final de mi carrera; como una muestra de agradecimiento.

A mis amigos y compañeros:

Por su sincera amistad, por su apoyo y consejos que de una u otra manera han contribuido para terminar esta profesión.

OSCAR

ANALISIS DE FALLA DE UNA CUBIERTA DE PLASTICO.

INDICE

INTRODUCCION	i
I. ANALISIS DE FALLA	
1.1 Introducción.	1
1.2 Cuando se presentan fallas.	1
1.3 Clasificación de las causas que producen falla.	2
1.3.1 Diseño.	2
1.3.1.1 Especificaciones de operación.	3
1.3.1.2 Consideraciones de diseño.	4
1.3.1.3 Rediseño.	5
1.3.2 Material.	5
1.3.2.1 Clasificación de los polímeros.	5
1.3.2.2 Materiales amorfos y semicristalinos.	6
1.3.2.3 Selección del material.	7
1.3.3 Manufactura.	8
1.3.3.1 Viscosidad.	9
1.3.3.2 Fluidos Newtoniano y no Newtoniano.	11

1.3.3.3 Modelos de viscosidad para análisis de flujo.	11
1.3.3.4 Requerimientos del modelo de viscosidad.	16
1.3.3.5 Orientación.	17
1.3.3.6 Principales parámetros de control de proceso.	18
1.3.4 Servicio.	23
1.4 Proceso de análisis de falla.	25
1.4.1 Recopilación de antecedentes e historia de servicio.	26
1.4.2 Examen preliminar de la parte que presentó la falla.	27
1.4.3 Selección e identificación de todas las piezas.	28
1.4.4 Análisis de los mecanismos de falla.	28
1.4.5 Determinación de los mecanismos de falla.	29
1.4.6 Pruebas en simuladores de condiciones de servicio.	29
1.4.7 Análisis de todas las evidencias, formulación de conclusiones y un reporte escrito.	29

II. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA DE SEGURIDAD Y DE LA PIEZA QUE LO CUBRE.

2.1 Introducción	31
2.2 Sistemas de seguridad en automóviles.	32
2.3 Funcionamiento del sistema de seguridad bolsa de aire.	33
2.4 Inconvenientes en el uso de la bolsa de aire.	34

IV. ANALISIS DEL PROCESO DE MANUFACTURA.	
4.1 Introducción.	57
4.2 Historia del proceso de manufactura.	57
4.3 Mecanismos que causaron la falla.	59
4.4 Simulación de condiciones de prueba	60
4.5 Variables de proceso.	62
4.6 Simulación en el paquete MOLDFLOW.	66
4.6.1 Simulación de flujo con las condiciones iniciales del proceso.	66
4.6.2 Simulación de flujo variando la temperatura.	70
4.7 Prueba en la máquina con los nuevos parámetros de proceso propuestos.	82
4.8 Alternativas para aumentar la rigidez.	85
CONCLUSIONES.	89
REFERENCIAS.	

INTRODUCCION

En los Estados Unidos los automóviles cuentan con sistemas de seguridad entre los cuales se encuentran las bolsas de aire las cuales funcionan cuando el automóvil se impacta, sin embargo, este sistema tiene el inconveniente de que funciona solamente una vez. En México tomando en cuenta la crisis económica por la cual se atraviesa y la poca regulación de sistemas de seguridad exigida a los fabricantes de vehículos por parte del gobierno, el añadir este sistema tiene un costo relativamente alto, por lo que, se ha optado por eliminarlo y así reducir el costo final del automóvil. En algunas ocasiones esto es posible sin alterar el funcionamiento y la estética del automóvil, pero en otras ocasiones esto puede llevar a modificar algunas partes para cumplir con dicho propósito. El retirar este sistema trajo como consecuencia el modificar la cubierta, la cual cubría dicho sistema. El diseño original consiste de una pieza de plástico (TPO) reforzada con una placa de lámina de acero, después, se fabricó otra cubierta de plástico (NYLON 6/6) sin ningún refuerzo metálico con el fin de reducir costos y procesos de manufactura, sin embargo, ésta presentó una deformación debida al aumento de temperatura dentro del vehículo.

En base a la información proporcionada por el fabricante de la pieza y del material, así como las técnicas de análisis de falla para materiales plásticos y de las diferentes herramientas de diseño y análisis asistido por computadora, en esta tesis se realiza el análisis de falla con especial énfasis en el proceso de manufactura de una cubierta de

plástico para bolsa de aire, con el fin de eliminar la deformación que se presenta en la pieza al someterla a un gradiente de temperatura de 120°C, así mismo servir de base para futuros desarrollos en los cuales se puedan prever situaciones similares.

CAPITULO I

ANALISIS DE FALLA

1.1 INTRODUCCION.

Este capítulo está orientado principalmente a la presentación de los procedimientos generales y las precauciones empleadas en la investigación y análisis de fallas de elementos fabricados con materiales termoplásticos semicristalinos moldeados por inyección. Las etapas de investigación serán discutidas así como las características de las fallas que más comúnmente se presentan.

La investigación de la falla y el subsecuente análisis deberá llevar a la determinación de las causas de la falla, y conocido esto será factible establecer las acciones correctivas que eviten que dicha falla se vuelva a presentar.

1.2 CUANDO SE PRESENTAN FALLAS.

Una pieza de plástico habrá fallado:

- Cuando la parte llega a ser completamente inoperable.
- Cuando la parte esta aún en operación pero no estará durante mucho tiempo funcionando satisfactoriamente.
- Cuando serios deterioros han hecho a la parte inconfiable ó insegura para uso continuo y por lo tanto es necesario removerla inmediatamente de servicio para repararla o cambiarla.

- Cuando por alguna causa no cumpla con los requerimientos para los cuales fue creada, por ejemplo requerimientos estéticos.

1.3 CLASIFICACION DE LAS CAUSAS QUE PRODUCEN FALLA.

Las fuentes fundamentales de falla incluyen diversos aspectos tales como el diseño, la selección del material, las imperfecciones del mismo, el proceso de fabricación, el montaje, revisión, almacenamiento, transporte, condiciones de servicio y mantenimiento, entre otros. Pero, los factores más importantes que provocan una falla se clasifican de la siguiente forma [AF]:

- 1) Diseño
- 2) Material
- 3) Manufactura
- 4) Servicio

1.3.1 DISEÑO.

En el diseño de cualquier pieza moldeada por inyección, hay ciertas metas deseables las cuales debe esforzarse en cumplir el diseñador:

Maximizar la funcionalidad.- Debido a que el costo de los moldes de inyección son elevados, el ingeniero debe realizar moldes multifuncionales, cuando sea posible, en cada parte. Eso significa que una sola parte debe tomar el lugar de muchas piezas

individuales separadas, lo que elimina las operaciones de ensamble, reduce el peso y muchas veces aumenta la integridad estructural completa.

Optimizar la selección del material.- Con base en la funcionalidad deseada de la pieza, las condiciones de operación y cualquier requerimiento especial, se deben seleccionar varios materiales disponibles para la parte propuesta.

Minimizar el uso de material.- Normalmente, la mejor elección es el volumen mínimo de plástico que satisfaga los requerimientos estructurales, funcionales, de apariencia y moldeabilidad de la aplicación.

En la fase de diseño se debe tener cuidado para que la falla inesperada de una pieza en servicio sólo quede en la fase de diseño y no llegue a realizarse físicamente.

Existen otros puntos que deben considerarse para elaborar las piezas, estos son: especificaciones de operación, consideraciones de diseño y rediseño.

1.3.1.1 Especificaciones de operación.

Implica definir las condiciones de funcionamiento de la pieza. No se puede permitir que el producto tenga un pequeño riesgo de falla adjudicando que tiene un menor costo, pero ese inevitable riesgo de falla tendrá un rango mayor o menor dependiendo de la importancia que pueda provocar la falla de una pieza en servicio de acuerdo a su aplicación, ya que si este rango de falla se hace más estrecho entonces implicará un alto costo en la pieza final.

No existen reglas establecidas que seguir en la fijación de factores de seguridad para piezas plásticas. Sin embargo, la consideración más importante, es la consecuencia de

falla. Por ejemplo, una pequeña deflexión en una pared externa podría no tener importancia, pero la falla de un recipiente a presión o válvula de agua tendría implicaciones graves de seguridad o confiabilidad del producto.

1.3.1.2 Consideraciones de diseño.

En este punto se evalúa la respuesta del material para soportar los esfuerzos y cargas bajo las cuales está sometido por lo que deben considerarse en este punto las propiedades mecánicas que el material seleccionado posee.

Igual que los metales, los materiales termoplásticos se expanden al calentarse y se contraen cuando se enfrían. Generalmente, para un mismo cambio de temperatura, los materiales plásticos presentan un cambio mucho mayor en dimensiones que los metales.

El coeficiente de expansión térmica lineal (CETL), es la relación de cambio en una dimensión lineal respecto a la dimensión original del material cuando se incrementa una unidad de temperatura. Esa es una consideración importante cuando hay que ensamblar materiales diferentes.

Cuando una pieza ó estructura es sometida a una carga, ocurrirá una deformación correspondiente previsible. Si la deformación sigue aumentando sin un incremento de la carga ó esfuerzo, se dice que el material está experimentando un flujo en frío ó cedencia elástica (CREEP). La cedencia elástica puede ser definida como una deformación creciente en el tiempo en presencia de un esfuerzo constante. La velocidad de cedencia elástica para cualquier material dado depende del esfuerzo aplicado, la temperatura y el tiempo.

Las fallas de las piezas plásticas muchas veces se deben a las excesivas deformaciones permanentes que les son impuestas por largos períodos de tiempo. Un ejemplo podría ser la hendidura de un tubo plástico montado a presión sobre una varilla de acero [DP].

1.3.1.3 Rediseño.

Resulta muy importante, hacer revisiones de las condiciones en las que se opera el producto para reducir costos y esto puede ocurrir durante las diferentes etapas del diseño.

La estandarización y la simplificación del diseño permiten mantener las condiciones del producto reduciendo costos. La sustitución de materiales que puedan dar las mismas opciones de operación pueden llegar a ofrecer grandes ventajas de costos a través del rediseño.

1.3.2 MATERIAL.

Un polímero es una sustancia cuyas moléculas forman cadenas largas, por lo común de varios millares de átomos de longitud. Las cadenas largas y delgadas son flexibles, fácilmente se repliegan y se enredan una con otra y sus propiedades físicas básicas resultan de esta masa enmarañada.

1.3.2.1 Clasificación de los polímeros.

La clasificación de los polímeros puede ser muy amplia, sin embargo, se pueden identificar dos grupos principales: los termoplásticos y los termofijos.

Los termoplásticos, a diferencia de los termofijos, son resinas a las que se les puede procesar repetidamente si son sometidas a calor y presión. Cuando son sometidas al calor, las cadenas individuales se deslizan ocasionando un flujo plástico. Cuando se enfrían, las cadenas de átomos y moléculas se mantienen firmes nuevamente. Con el calor subsecuente, nuevamente ocurre el deslizamiento.

Los plásticos termofijos sufren un cambio químico durante su procesamiento por lo que no pueden reprocesarse directamente los desperdicios. Las termofijos reaccionan en su elaboración formando redes de cadenas macromoleculares química y fuertemente reticuladas.

1.3.2.2 Materiales amorfos y semicristalinos.

El enlace entre átomos a lo largo de la cadena molecular principal es flexible en el sentido de que los segmentos de la cadena pueden rotar alrededor de los lazos. En estado fluido, las moléculas incrementan la movilidad y tienden a adoptar una configuración enmarañada y desordenada. Si la temperatura es disminuida y no existen fuerzas externas la configuración molecular permanecerá desordenada, entonces se dice que el material es amorfo.

Mientras que para polímeros amorfos las moléculas se mantienen enmarañadas mientras se enfría el fluido, es posible que las moléculas en otros polímeros puedan alinearse en forma regular, a tales materiales se les conoce como cristalinos. Estos materiales frecuentemente poseen regiones amorfas y cristalinas, por lo que son llamados semicristalinos. Como una generalización, el ordenamiento molecular en los

termoplásticos semicristalinos los hace más rígidos, más fuertes y menos resistentes al impacto que sus similares amorfos [KP].

1.3.2.3 Selección del material.

La amplia variedad de materiales termoplásticos moldeables por inyección muchas veces hace difícil la selección de una resina plástica.

El diseñador debe tomar en cuenta algunos de los aspectos siguientes, no necesariamente en orden de importancia:

Temperatura.- Probar la capacidad del material plástico para resistir la temperatura normal, así como la temperatura extrema de operación del producto. Informarse sobre las temperaturas de embarque, fuentes de calor internas y cualquier operación de montaje o acabado y tener en mente que las propiedades mecánicas usualmente dependen de la temperatura.

Medio ambiente.- Cualquier sustancia, sólido, líquido o gas, que puede entrar en contacto con la pieza plástica en su periodo de vida esperado, debe ser tomada en cuenta para efectos de compatibilidad química.

Ensamble.- Tratar de asegurarse que el material propuesto se presta a las operaciones de ensamble esperadas. Por ejemplo, ciertas clases de materiales son difíciles para el pegamento con solvente, mientras que otras pueden no funcionar bien con los métodos de soldadura.

Acabado.- Determinar si la resina plástica puede ser moldeada fácilmente en el producto propuesto con la apariencia final deseada.

Costo.- Para determinar el ahorro en el uso de una resina en particular, se debe considerar el costo por kilogramo en el color aplicable y volumen de adquisición. También se debe considerar la gravedad específica y ciclos normales de moldeo del grado particular de resina, ya que estos afectan al costo final de la pieza moldeada.

Disponibilidad.- Se tiene que verificar si la resina seleccionada estará disponible en cantidades suficientes y en el tiempo requerido cuando se la necesite para producción.

En algunos casos deberá ser necesario hacer un balance o intercambio entre las características o propiedades de los materiales y entre los factores tales como costo, facilidad de fabricación, disponibilidad y vida de servicio esperada en la aplicación específica (DP).

Con frecuencia, el material elegido es el que ya ha sido usado antes o el que recomienda el moldeador, el fabricante del herramental o el proveedor del material. Desafortunadamente, el personal que hace la selección puede no entender los requerimientos de la aplicación o de las propiedades del plástico. De esta manera, el material seleccionado no siempre es el mejor.

1.3.3 MANUFACTURA

Las moléculas de un polímero son largas y forman cadenas que dan lugar a su morfología especial. Las propiedades que se observan y utilizan de estas moléculas, aunque no son de origen químico, provienen de su forma característica. Estas

propiedades controlan el comportamiento durante el proceso de fabricación y en la calidad funcional de los polímeros.

Cuando se comparan las propiedades del polímero con los procedimientos que se usan para obtener productos, se halla que para los sistemas de baja viscosidad, como las pinturas y los sistemas de resinas, se necesitan plantas simples de bajo consumo de energía, pero otros como las técnicas de extrusión e inyección de plástico requieren maquinaria muy potente. Para conocer las razones de esta situación hay que examinar las propiedades reológicas de los estados líquidos de dichos sistemas [MJ].

1.3.3.1 Viscosidad.

La viscosidad de una masa depende fundamentalmente de la temperatura y de la presión. Considérense dos placas (figura 1.1), separadas por una distancia r . El espacio entre ellas está ocupado por el fluido. Una placa se mueve en relación con la otra a una velocidad U_x en la dirección X debido a la aplicación de la fuerza F . Al movimiento se opone la reacción viscosa del fluido. Ya que el movimiento es de corte, la reacción es la viscosidad cortante. Este flujo es llamado flujo cortante simple continuo. Se puede encontrar la viscosidad cortante a partir de la fuerza F , que actúa sobre la placa en movimiento y su área, A .

$$\text{Esfuerzo de corte, } \tau = F/A \quad (\text{N/m}^2) \quad (1.1)$$

Se ha determinado empíricamente que el esfuerzo cortante es proporcional al gradiente de velocidad del fluido, dU_x/dz . Esto es,

$$\tau_{zx} = \eta (dU_x/dz) \quad (1.2)$$

El gradiente de velocidad dU_x/dz es llamado velocidad de corte y se denota por $\dot{\gamma}$. Este tiene unidades de segundos recíproco (s^{-1}). Si pensamos que el flujo está compuesto de diferentes capas cada una moviéndose a diferente velocidad, el esfuerzo cortante es una medida de que tan rápido las capas se deslizan una sobre otra. Por lo tanto

$$\tau_{zx} = \eta \dot{\gamma} \quad (1.3)$$

La constante de proporcionalidad η , es la viscosidad del fluido. Para flujos más complejos es necesario utilizar el tensor de esfuerzos ($\underline{\tau}$) y el tensor razón de deformación ($\underline{\dot{\gamma}}$) en la definición de un fluido Newtoniano. Entonces, la ecuación (1.3) se convierte en,

$$\underline{\tau} = \eta \underline{\dot{\gamma}} \quad (1.4)$$



Figura 1.1 Flujo cortante simple continuo.

1.3.3.2 Fluidos Newtoniano y no Newtoniano.

Los fluidos en los cuales el esfuerzo es directamente proporcional a la velocidad de corte son llamados Newtonianos y están dados por la ecuación (1.3). Para estos fluidos la viscosidad es constante a una temperatura dada. Sin embargo, la viscosidad puede variar con la temperatura.

Los fluidos para los cuales no se cumple la ecuación (1.3) son llamados no Newtonianos. Para poder modelar el flujo de polímeros fundidos es necesario modificar la ecuación (1.3), esto hace que la viscosidad esté en función de la velocidad de corte. Por lo tanto, la ecuación (1.4) se convierte en:

$$\tau = \eta(\dot{\gamma}) \dot{\gamma} \quad (1.5)$$

Donde $\eta(\dot{\gamma})$ es llamada función de viscosidad, pero en general será llamada simplemente viscosidad.

1.3.3.3 Modelos de viscosidad para análisis de flujo.

Para modelar el proceso de moldeo por inyección, se requiere una función o modelo de viscosidad, para lo cual se dispone de diversos modelos. Es importante elegir el modelo adecuado para poder obtener resultados más precisos y exactos.

Algunas funciones de viscosidad más comunes son [KP] :

- Modelo de primer orden Moldflow.
- Modelo de segundo orden Moldflow.

- El modelo Ellis.
- El modelo Carreau.
- Modelo Cross.

Algunos diagramas de viscosidad contra velocidad de corte a diferentes temperaturas se muestran en la figura 1.2.

Estas curvas son típicas de materiales que comúnmente se usan en moldeo por inyección. Se notan que en algunos materiales, en particular los polímeros cristalinos y algunas mezclas ingenieriles muestran diferentes características. El propósito del modelo de viscosidad es conocer el comportamiento de los materiales lo más apegado a la realidad.

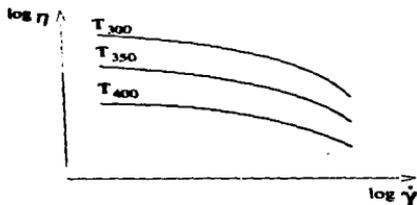


Figura 1.2 Gráfica de viscosidad contra velocidad de corte a diferentes temperaturas.

Modelo de primer orden Moldflow.

Este modelo tiene la forma:

$$\eta = m \dot{\gamma}^{n-1} \quad (1.6)$$

donde m y n son constantes. Cuando $m = \eta$ y $n = 1$ obtenemos la relación para un fluido Newtoniano (ecuación 1.4). Para polímeros, fundidos la constante n tiene un rango entre 0 y 1.

Tomando logaritmos naturales de ambos lados tenemos:

$$\ln(\eta) = (n - 1) \ln(\dot{\gamma}) + \ln(m) \quad (1.7)$$

El diagrama de $\ln \eta$ contra $\ln \dot{\gamma}$ nos muestra que esta relación es lineal (figura 1.2). Por lo tanto el modelo de primer orden Moldflow puede representar el comportamiento del polímero fundido en las regiones altas de velocidades de corte.

La principal desventaja del modelo está en el rango de bajas velocidades de corte. En este lugar es incapaz de predecir la viscosidad newtoniana η_0 , la cual es definida como la viscosidad en la velocidad de corte 0. A pesar de esta desventaja, el modelo ha sido ampliamente utilizado para el modelado de flujo de moldeo por inyección.

Particularmente en la fase de llenado, la velocidad de corte es frecuentemente alta, suficiente para justificar la utilización de la ecuación de primer orden Moldflow.

Usualmente se incluye la temperatura para multiplicar la ecuación (1.6) por un término exponencial. Esto es,

$$\eta = m \dot{\gamma}^{n-1} \exp(cT) \quad (1.8)$$

donde c es una constante y T es una temperatura. La ecuación (1.8) es el modelo de viscosidad de primer orden disponible en Moldflow para análisis de flujo.

Modelo de segundo orden Moldflow.

Para mejorar el modelado de la viscosidad en regiones de baja velocidad de corte el siguiente modelo ha sido utilizado por Moldflow.

$$\ln \eta = A_0 + A_1 \ln \dot{\gamma} + A_2 T + A_3 (\ln \dot{\gamma})^2 + A_4 T \ln \dot{\gamma} + A_5 T^2 \quad (1.9)$$

donde A_i son constantes.

Este modelo ha sido criticado en el fundamento que está basado en observaciones empíricas. Sin embargo es de poca relevancia para nuestros propósitos. En particular, el modelo de segundo orden puede modelar las siguientes características de los polímeros fundidos:

- a. Convergencia de isothermas con incremento de velocidad de corte.
- b. Disminución de la viscosidad con el incremento de la velocidad de corte.
- c. Disminución de la viscosidad con el incremento de la temperatura.

Hay sin embargo algunas desventajas de este modelo. La más importante es concerniente al hecho de que aunque son muy flexibles, el modelo puede presentar un comportamiento que no es reológicamente sensible. Por ejemplo es posible que $\partial\eta/\partial\dot{\gamma} > 0$. Esto significa que el incremento de la viscosidad con el incremento de la velocidad de corte no sea tan clara.

El modelo Ellis.

El modelo Ellis expresa la viscosidad como una función del esfuerzo cortante τ . Este tiene la forma:

$$(\eta_0 / \eta) = 1 + (\tau / \tau_*)^{\alpha - 1} \quad (1.10)$$

donde τ_* es el valor del esfuerzo cortante para el cual la $\eta = \eta_0 / 2$, y $\alpha - 1$ es la pendiente de la gráfica $\ln [(\eta_0 / \eta) - 1]$ contra $\ln(\tau / \tau_*)$.

El modelo Carreau.

El modelo Carreau es de la siguiente forma.

$$(\eta - \eta_\infty) / (\eta_0 - \eta_\infty) = [1 + (\lambda \dot{\gamma})^2]^{(n-1)/2} \quad (1.11)$$

donde η_∞ es la viscosidad de la velocidad de corte al infinito, η_0 es la viscosidad de la velocidad de corte cero, η es una constante con la misma interpretación que tiene la ecuación (1.6) y λ es una constante de tiempo.

Modelo Cross

El modelo Cross tiene la forma:

$$\eta = \eta_{10} / [1 + (\eta_{10} \dot{\gamma} / \tau^*)]^{1-n} \quad (1-12)$$

donde τ^* es el esfuerzo cortante en la transición entre Newtoniano y el modelo de primer orden Moldflow.

1.3.3.4 Requerimientos del modelo de viscosidad

El requerimiento más importante de un modelo de viscosidad es que en éste se observe la representación del comportamiento del polímero fundido. En particular, en un modelo de viscosidad se deben conocer las siguientes características:

- En viscosidad / temperatura:
 - a) La viscosidad debería disminuir con el incremento de temperatura.
 - b) Las curvas de iso-velocidad de corte deberán ser tales que la viscosidad disminuya o decrezca con el incremento de la temperatura.
 - c) Las curvas de iso-velocidad nunca deberán cruzarse.
- En viscosidad / velocidad de corte:
 - a) La viscosidad debería disminuir con el incremento de la velocidad de corte.
 - b) Las isoterms deberán ser tales que la viscosidad disminuya cuando la velocidad de corte se incremente.

c) Las isotermas nunca deberán cruzarse.

1.3.3.5 Orientación.

Uno de los aspectos más importantes en el moldeo por inyección, es la orientación del polímero al entrar en la cavidad del molde y después cuando solidifica. En los productos obtenidos por extrusión, por lo común, se desea esta orientación que intensifica las propiedades, pero en el moldeo por inyección es un problema. Entonces, lo normal es minimizar la orientación, pero esto tiene que balancearse contra el factor económico de utilizar ciclos rápidos de moldeo, lo cual a su vez representa un enfriamiento rápido de las piezas moldeadas y la consiguiente congelación de las distribuciones orientadas. Si la orientación es marcada, en especial con polímeros cristalinos, quedan esfuerzos que podrían provocar la deformación de las piezas moldeadas, ya sea con lentitud, si los esfuerzos se alivian espontáneamente, o con rapidez, si el material se somete a temperaturas de servicio elevadas.

Un ejemplo simple sería una pieza moldeada rectangular con compuerta terminal. En la figura 1.3 se muestra el patrón de orientación.

1. Cuando el material fundido entra al molde hay poca orientación conforme el material se pone en contacto con la pared del molde; esto genera una capa de baja orientación.
2. La mayor parte del flujo es laminar y altamente orientado; dentro de la capa delgada aparece una capa de alta orientación.

3. El centro puede estar menos orientado debido a que permanece caliente, aislado por las capas externas que son muy grandes para reconocerse.

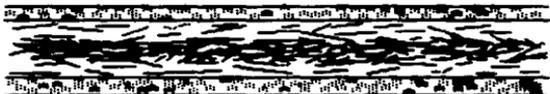


Figura 1.3 Patrón de orientación en una pieza moldeada.

En la elaboración de los termoplásticos mediante la variación de la velocidad de corte puede lograrse una orientación de las cadenas macromoleculares (sin orientación u orientada).

Lo anterior, en el proceso de inyección tiene las siguientes consecuencias:

Por medio de un rápido enfriamiento en la pared del molde, esta orientación puede quedar fija. Tal orientación depende de la temperatura de la masa, de la velocidad de inyección y de la temperatura de la pared del molde. La orientación es bastante diferente en la sección transversal de la pieza con respecto a la longitudinal.

La orientación es especialmente identificable en la zona del punto de inyección y en la capa externa de las piezas. Existe una mayor resistencia a la tracción y al impacto en dirección de la orientación (Anisotropía) [MJ].

1.3.3.6 Principales parámetros de control de proceso.

La susceptibilidad a fallar de los materiales, también está relacionada a los procedimientos de manufactura impropios, de que estos sean incompletos, de cambios

hechos en los procedimientos sin una evaluación completa. fallas al seguir el proceso especificado, errores humanos o daños accidentales.

El proceso de inyección consiste en transformar el material termoplástico en una masa "plástica" por medio de un husillo y cilindro de plastificación, para después inyectarlo en la cavidad del molde en donde tomará la forma.

Sin embargo, no se debe olvidar que para obtener una pieza excelente y con calidad intervienen muchas variables, como son [IP]:

- El molde.
- Perfil de temperaturas.
- Perfil de inyección.
- Velocidad de inyección.
- Velocidad de giro del husillo.
- Tiempo de residencia del material.
- Tiempo de sostenimiento.

Si se hace un uso correcto de estas variables y se conocen las condiciones de operación de cada material, se puede optimizar el ciclo de moldeo.

Molde.- El molde de inyección es un conjunto de platos de acero y otros componentes que al estar ensamblados en forma adecuada e instalados en la prensa de inyección, pueden producir la pieza deseada a partir de un material plástico.

Es importante considerar los aspectos esenciales para la producción de un molde rentable.

Uno de los puntos, es el material del molde para la elaboración de piezas de plástico por el proceso de inyección. Son indispensables moldes de buena calidad, con precisión y deben presentar una larga vida útil.

Las funciones del molde dentro del proceso de inyección son:

- Proporcionar forma al producto con las dimensiones adecuadas.
- Solidificar la pieza mediante enfriamiento.
- Expulsar la pieza de las cavidades del molde.

Los termoplásticos inyectados se contraen, es decir, al entrar el plástico fundido en forma disgregada al molde frío, disminuye su volumen durante el enfriamiento. Esta contracción influye directamente en las dimensiones finales de la pieza, por ello hay que tomarla en cuenta en el diseño del molde. Esta contracción es característica de cada material y cuando se diseña el molde es indispensable saber que material se va a inyectar, para poder considerar la contracción en ese material.

Algo que se debe considerar en el diseño de un molde es el punto de inyección, éste debe ser lo más pequeño posible y de fácil desmoldeo, eligiendo que su posición en la pieza no origine marcas. También es de importancia considerar la dirección del flujo de la masa fundida, ya que debido a la orientación molecular del material, los valores máximos de resistencia al impacto y a la tensión se alcanzan en dirección del flujo. Por tal razón, antes de construir el molde, se debe tener el concepto de los esfuerzos a los que va a estar sometida la pieza.

Perfil de temperaturas.- Es una variable importante que proporciona el rango de temperatura a lo largo del cilindro y ayuda a la plastificación del material por medio de calor generado por resistencias eléctricas.

Se utilizan altas temperaturas de masa fundida para permitir que el plástico al ser inyectado fluya rápidamente en el molde con el mínimo esfuerzo posible. El perfil de temperaturas varía de acuerdo al índice de fluidez y al grado del material utilizado. Las altas temperaturas proporcionan máxima claridad y reducen alabeos en la pieza moldeada.

Perfil de inyección.- El proceso de inyección se divide en fase de llenado y fase de empacamiento.

El llenado depende de la velocidad; idealmente, llenar debería ser rápido, para permitir que la válvula de no retroceso funcione rápida y positivamente. Una máquina moderna que se puede programar permite variar la velocidad, por ejemplo:

- Llenar rápido el sistema del canal de alimentación y bebedero.
- Retardar para evitar que haya chorros a través de la compuerta.
- Una vez que se empieza a llenar la cavidad principal, incrementar de nuevo la velocidad hasta que esté llena.
- Disponer de posteriores variaciones de la velocidad para equilibrar los núcleos u otros estrechamientos en el molde.

Esta parte del programa relaciona velocidad con distancia. En este punto, se empieza a empujar. El programa cambia a presión contra tiempo. Se usa la presión correcta para

llenar uniformemente el molde, pero evitar rellenar de más, que generaría piezas moldeadas con esfuerzos residuales y sobre peso. La presión con que se empaqueta puede variar a través del ciclo para evitar la fuga del material antes de que solidifique la superficie de la pieza moldeada, luego se incrementa para comprimir y eliminar los huecos y se baja para evitar los esfuerzos hasta que el material solidifique en la compuerta.

Velocidad de inyección.- Esta basada en el avance o carrera axial del husillo durante la etapa de inyección. La velocidad y el tiempo de inyección están relacionadas, ya que varían en razón inversa.

Las altas velocidades de inyección facilitan el llenado del molde cuando se están moldeando piezas de paredes delgadas, ya que cuando el tiempo de inyección es corto, el molde se llena antes de que solidifique el material del bebedero deteniendo el flujo. Además las velocidades disminuyen la pérdida de presión en el bebedero.

Velocidad del husillo.- La velocidad del husillo tiene gran importancia en el proceso de inyección, ya que intervienen en la generación de calor por fricción, que si no es debidamente controlado, puede llegar a degradar al material.

Todo este conjunto de factores, desde el punto de vista matemático se resume en las siguientes expresiones de acuerdo a Moldflow [KP] :

- Ecuación de presión para la cavidad.

$$\partial/\partial x (S_2 \partial p/\partial x) + \partial/\partial y (S_2 \partial p/\partial y) = 0$$

donde $S_2 = \int_0^h (z^2/\eta) dz$

- Ecuación de energía para la cavidad.

$$\rho C_p (\partial T/\partial t + v_x \partial T/\partial x + v_y \partial T/\partial y) = \eta \dot{\gamma}^2 + k \partial^2 T/\partial z^2$$

- Ecuación de presión para canales circulares.

$$\partial/\partial x (r + S_1 \partial p/\partial x) = 0$$

donde $S_1 = 1/2r^2 [\int_0^{r^+} (r'^3/\eta) dr']$

- Ecuación de energía para canales circulares.

$$\rho C_p (\partial T/\partial t + v_r \partial T/\partial r) = \eta \dot{\gamma}^2 + k/r [\partial/\partial r (r \partial T/\partial r)]$$

1.3.4 SERVICIO.

En muchos casos cuando se ensamblan partes de plástico, éstas son colocadas en una condición de deflexión permanente. Pueden ser ejemplos de ello los pernos a presión, los montajes atornillados y algunos resortes de plástico. Las fallas de las piezas plásticas muchas veces se deben a las excesivas deformaciones permanentes que les son impuestas por largos periodos de tiempo durante su servicio [DP].

Generalmente, un material está sujeto a fatiga cuando es sometido a esfuerzos repetidos. Ejemplos de ello pueden ser un cerrojo plástico de muelle que es constantemente abierto y cerrado; un diente de engrane; un buje; cualquier pieza sujeta a impactos repetidos. Esa carga cíclica puede causar un deterioro mecánico y una fractura progresiva del material, que conduce a una falla en la etapa de servicio.

Otro de los factores que afectan a los plásticos durante su servicio es la temperatura ya que cuando esta cae por debajo de la temperatura ambiente pierden mucho de su resistencia al impacto.

Por lo tanto, el diseñador debe hacer uso de varios conceptos para llevar a cabo pruebas que se encuentren cercanos o por encima de los valores más altos esperados en el uso final. Los resultados pueden ser utilizados para estimar el comportamiento a largo plazo de una pieza por periodos de tiempo mucho más largos de los que sería razonablemente usados para el servicio.

Tanto en el manejo como en el mantenimiento de la pieza debe tomarse en cuenta si hay una sobrecarga de esfuerzos o de temperatura.

También puede haber otros contratiempos imprevistos tales como: problemas externos (un golpe), almacenaje, transporte, cambio de material, etc.

En el siguiente diagrama (figura 1.4) se pueden observar los requerimientos de una pieza y las diferentes etapas que se deben de realizar para cumplir estos requerimientos y en caso de no cumplirse satisfactoriamente llevar a cabo el análisis de falla, teniendo en cuenta que no es necesario llevar un orden ya que todas las etapas están interactuando.

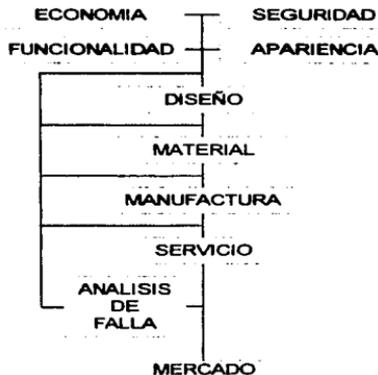


Fig. 1.4 Relación de análisis de falla con el diseño.

1.4 PROCESO DE ANALISIS DE FALLA.

Aunque la secuencia está sujeta a variaciones que dependen de la naturaleza de falla específica, los principales pasos que comprende la investigación y el análisis de una falla son como sigue [AF]:

- 1.- Recopilación de antecedentes e historia de servicio.
- 2.- Examen preliminar de la parte que presentó la falla (examen visual).
- 3.- Selección e identificación de todas las piezas.

- 4.- Análisis de los mecanismos de falla.
- 5.- Determinación de los mecanismos de falla.
- 6.- Pruebas en simuladores de condiciones de servicio.
- 7.- Análisis de todas las evidencias, conclusiones, y un reporte escrito (incluyendo recomendaciones).

El tiempo invertido para la investigación de todas las circunstancias de una falla es tiempo bien empleado. Cuando un componente se deforma y es recibido para examen, el investigador algunas veces se inclina a preparar los especímenes inmediatamente sin desviarse de un procedimiento de investigación. Dicha actitud se debe evitar; con el fin de ahorrar tiempo y esfuerzo, se deben revisar los antecedentes de falla y las fallas generales, por lo que se iniciará con un procedimiento más informativo.

1.4.1 RECOPIACION DE ANTECEDENTES E HISTORIA EN SERVICIO.

Inicialmente, la investigación se puede enfocar directamente hacia el conocimiento de todos los detalles que permitan relacionarlos con la falla, recopilar la información aprovechable relativa a la manufactura, procesos e historia en servicio de los componentes de falla y la reconstrucción lo más precisa posible de la secuencia de eventos hasta llegar a la falla. La recolección de datos, antecedentes e historia de fabricación de los componentes se usa para obtener las especificaciones, y englobar todos los aspectos del diseño.

Obtener la historia completa de servicio, con detalles, tiene prioridad en la ocurrencia de falla, por la simplificación del análisis se le da especial atención a los detalles del medio ambiente, tales como cargas, variación en la temperatura, y operación en medio ambiente corrosivo.

Es necesario comparar los componentes que se encontraron contra similares que no fallaron, para determinar si la falla ocurrió por las condiciones de servicio o fue el error en la manufactura. Posiblemente la precaución más importante que se debe observar en el análisis es la posición de cada una de las piezas y de los restos que pueden recolectarse de cualquiera de ellas. Tales registros normalmente requieren de un extenso número de fotografías, la toma y tabulación de mediciones apropiadas de cada pieza.

1.4.2 EXAMEN PRELIMINAR DE LA PARTE QUE PRESENTO LA FALLA.

El examen preliminar se puede empezar con una inspección visual sin más ayuda. La vista depende de los focos de acción, ya que los expertos aprovechan las condiciones de iluminación cualesquiera que sea y de la habilidad para examinar áreas grandes rápidamente, para detectar cambios de color y textura. Algunas de estas ventajas se pierden cuando usamos la óptica y la electrónica óptica. Una particular atención se debe dar a la superficie de la deformación y a las partes de esta que reporten indicios de condiciones anormales o abusos en el servicio. Todas las fallas importantes deben

anotarse, incluyendo dimensiones, se deben comparar, tanto en planos como contra una pieza en buen estado o a través de la fotografía.

1.4.3 SELECCION E IDENTIFICACION DE TODAS LAS PIEZAS.

Esto se hace con el fin de llevar a cabo un análisis de las propiedades de la pieza que fallo, es por esto necesario la toma de muestras representativas del material y de la propia falla.

1.4.4 ANALISIS DE LOS MECANISMOS DE FALLA.

En este punto se estudiaron y analizaron todos y cada uno de los mecanismos que posiblemente fueron la causa de que ocurriera la falla. A cada mecanismo se le dio la misma importancia.

Realizando un análisis en el diseño se observó que el punto de inyección no era el adecuado para la pieza debido a que no se encontraba en el centro de masa, lo que hacía que el llenado de la pieza no fuera uniforme lo que en parte provocó la deformación. Debido a que no se podía modificar la posición del punto de inyección se propusieron refuerzos estructurales (costillas) con el fin de aumentar la rigidez de la pieza y así evitar la deformación.

Con respecto al material utilizado se pudo verificar que este cumplía con los requerimientos de proceso y de servicio a que se iba a someter ya que la temperatura mínima y máxima en el proceso va desde 270 hasta 320 °C, según las especificaciones del proveedor.

1.4.5 DETERMINACION DE LOS MECANISMOS DE FALLA.

Este punto es tal vez uno de los más importantes ya que aquí se va a determinar el o los mecanismos que provocaron la falla y de aquí es donde se parte para buscar la solución. Por lo anteriormente mencionado, uno de los mecanismos de falla de esta pieza es el diseño pero debido a que el dueño del molde no permitió hacerle ninguna modificación sólo nos queda enfocar el estudio al proceso de manufactura, por lo que se tuvo que hacer visitas a la empresa para verificar las condiciones de proceso.

1.4.6 PRUEBAS EN SIMULADORES DE CONDICIONES DE SERVICIO.

En las etapas finales de una investigación sobre análisis de falla puede ser necesario el realizar pruebas en las que se intenten simular las condiciones bajo las cuales se supone o se estima ocurrió la falla. Frecuentemente, estas pruebas no son practicables debido a lo complejo del equipo que se requiere, y aún cuando son realizadas no es posible que se sometan a todas las condiciones de servicio a las que existen en la realidad. Errores serios se cometen cuando se hacen intentos para reducir el tiempo requerido de una prueba al incrementar artificialmente en forma severa algunos de los factores.

1.4.7 ANALISIS DE TODAS LAS EVIDENCIAS, FORMULACION DE CONCLUSIONES Y UN REPORTE ESCRITO.

Si la causa probable de falla es aparente en las primeras etapas del análisis, las investigaciones subsecuentes se dirigirán y ampliarán hacia la confirmación de las

causas probables y la eliminación de otras posibilidades. Como vayan apareciendo nuevos hechos que modifiquen las primeras impresiones se irán desarrollando nuevas hipótesis de falla y deberán consolidarse o abandonarse de acuerdo a los nuevos hechos que se vayan encontrando.

Algunos de los trabajos ejecutados durante el curso de una investigación puede pensarse que sean innecesarios. Es importante distinguir entre el trabajo que es innecesario y aquel en el cual no brinden resultados fructíferos. Durante un análisis debe esperarse que parte del trabajo realizado no ayude a determinar la causa de la falla, pero cuando menos una evidencia "negativa" puede reorientar y obligar al análisis de algunas otras hipótesis que no fueron consideradas inicialmente.

En trabajos realizados anteriormente [AF] se ha propuesto que el reporte del análisis de falla se divida en las siguientes secciones principales:

1. Descripción del componente que ha fallado.
2. Condiciones de servicio en el momento de falla.
3. Historia de los procesos de manufactura del componente.
4. Resumen de los mecanismos que causaron la falla.
5. Recomendaciones para prevenir fallas similares o para corregir componentes similares que aún se encuentran en servicio.

En los siguientes capítulos se procederá a realizar el análisis de falla para una cubierta de plástico de la bolsa de aire de un vehículo comercial.

CAPITULO II

DESCRIPCION DEL SISTEMA DE SEGURIDAD Y DE LA PIEZA QUE LO CUBRE.

2.1 INTRODUCCION.

No todos los elementos de seguridad que tiene un automóvil son igual de eficaces, pero prácticamente todos son recomendables, por lo que es necesario elegir los elementos necesarios y algún criterio específico con el cual se pueda decir que ciertos elementos son necesarios y otros no. Para realizar esta elección; lo más adecuado sería tener en cuenta ciertas variables en el uso del automóvil, tales como el tipo de carretera, el número de pasajeros, la época del año en que se utilice más el coche y uno muy importante que es el presupuesto con que se cuenta para elegir o desechar ciertos elementos en el momento de adquirir un automóvil.

La pieza denominada cubierta a la cual se le hizo el estudio de Análisis de Falla es una de las partes que conforman el tablero de instrumentos de un vehículo comercial, la cual cubre el sistema de seguridad bolsa de aire por lo que para el usuario es de gran importancia que ésta no presente alteraciones o modificaciones estéticas que puedan repercutir en la apariencia del tablero.

2.2 SISTEMAS DE SEGURIDAD EN AUTOMOVILES.

Entre los fabricantes de automóviles establecidos en nuestro país y Secofi existen acuerdos que reglamentan un equipamiento de seguridad mínimo a todos los vehículos vendidos en la Ciudad de México. Los cinturones de seguridad de tres puntos, cristales laminados, espejos retrovisores, cabeceras en los asientos delanteros, y un kit de emergencia (herramientas para cambiar la llanta, un juego de reflejante) figuran como los principales puntos de seguridad exigidos en todo automóvil nuevo. Sin embargo, existen algunos puntos referentes a seguridad tales como, sistema de frenos antibloqueo, zonas deformables, sistemas de seguridad de retención, que todavía no se contemplan como algo obligatorio para todos los vehículos.

En la actualidad podemos encontrar automóviles que disponen ya de cinturones colocados de tal forma que es imposible olvidarse de ellos, ya que están cruzados frente a la puerta gracias a un anclaje superior móvil, de tal forma que al entrar al auto, quedan puestos de manera automática. El sistema de frenos antibloqueo ABS es un sistema de seguridad que cuando los automóviles tienen este sistema, mejoran el frenado del vehículo en términos generales, ya que impiden el famoso "amarrón" de las llantas y permiten un mayor control sobre el mismo, además los automóviles con este sistema tienen la capacidad de girar el coche para evitar el impacto.

Zonas deformables, dichas zonas son las que tienen en cuenta una deformación controlada en el chasis en especial en los largueros inferiores delanteros, que no son rígidos, sino que se deforman en choques frontales, dirigiendo la disipación de la

energía hacia abajo. De esta manera, el piso del automóvil sufre un menor daño y queda mejor protegida la zona donde se apoyan los pies de los pasajeros delanteros, las fuerzas pasan también por los refuerzos laterales inferiores, los pilares de las puertas y el parabrisas. A esta estructura se suma, también, una protección especial para el depósito de combustible.

Los sistemas de seguridad de retención, SRS o popularmente conocido como bolsa de aire, es una bolsa de gas que se infla instantáneamente frente al conductor y/o pasajero delantero en caso de choque frontal. Este cojín sirve básicamente para cuatro cosas: primero, evitar un impacto contra el interior del coche (volante, tablero o parabrisas); segundo, absorber parte de la energía cinética del cuerpo, es decir, frenar suavemente el movimiento de los pasajeros; tercero, reducir el riesgo de heridas producidas por fragmentos de cristal procedentes del parabrisas, y cuarto, disminuir el movimiento de la cabeza, y con ello el riesgo de lesiones en el cuello.

2.3 FUNCIONAMIENTO DEL SISTEMA DE SEGURIDAD BOLSA DE AIRE.

En el caso de un choque frontal el cinturón de seguridad se activa, comunicando parte de la energía cinética del cuerpo al coche y la otra parte la consume al estirarse. La bolsa de aire puede ser útil en los últimos instantes del choque, una vez sobrepasada la capacidad del cinturón para retener el cuerpo, pero de ninguna forma es capaz por sí sola de hacer el trabajo que a llevado a cabo el cinturón de seguridad.

La bolsa de aire se infla solamente si la velocidad de impacto rebasa el "nivel de velocidad de diseño", esto es si el vehículo se encuentra de frente con un objeto que no se mueva ni se deforma, el "nivel de diseño" esta entre 14 y 24 Km/hr. Pero si el vehículo pega contra un objeto que esta en movimiento o se deforma a esta velocidad, será mayor. La bolsa de aire no se infla durante impactos traseros, laterales, volcaduras o golpes frontales de menor intensidad, debido a que en estos casos la bolsa de aire no protegerá a los ocupantes. Es posible que en un accidente solo una de las dos bolsas de aire se infle, esto es raro pero esto depende del ángulo de impacto y la desaceleración del vehículo.

2.4 INCONVENIENTES EN EL USO DE LA BOLSA DE AIRE.

No hay nada mecánico que sea perfecto, pero los inconvenientes de la bolsa de aire pesan mucho menos que sus ventajas. Por ejemplo, los conductores con anteojos pueden encontrarse en el caso de que se rompen con la bolsa de aire, pero realmente son pocos casos ya que lo normal es que las gafas salgan disparadas del coche en los primeros instantes. En cualquier caso, que los anteojos se rompan contra la bolsa de aire indica que, de no ser por esta, el daño pudiera ser mucho mayor.

Otro inconveniente es que las manos del conductor salen despedidas del volante, con riesgo, por una parte, de que la izquierda sufra un pequeño golpe contra el cristal o la puerta y que con la otra le de un golpe involuntario al acompañante.

También es posible, en el caso de las bolsas de aire más grandes, que la explosión conjunta de las dos produzca algunos daños en el oído de niños o personas sensibles. Sin embargo, después de analizar accidentes en los que la bolsa de aire ha actuado, el número de problemas de este tipo es casi despreciable. Tampoco constituye un problema que, de repente, algo explote frente al conductor, ya que los momentos previos al accidente son tan tensos que en pocos casos la explosión se llega a oír.

Algunas marcas que utilizan bolsa de aire grandes han tenido que trabajar en un sistema de inflado "suave". Con ello se evita el riesgo de que en un accidente a escasa velocidad la explosión de la bolsa de aire empuje hacia atrás a los pasajeros más que amortiguar el movimiento de los mismos.

Por último, la bolsa de aire del acompañante resulta incompatible con los asientos de niños que se sitúan en la parte delantera y en sentido inverso a la marcha. La explosión de la bolsa de aire lanzaría el asiento del niño hacia las plazas traseras.

2.5 PROGRESO Y ADELANTOS DE LA BOLSA DE AIRE.

En un estudio realizado recientemente por una empresa norteamericana sobre el uso de la bolsa de aire en Alemania, Francia, Inglaterra, Suecia, Italia y España, muestra que solo un 2 % de los coches matriculados en Europa en 1992, disponía de dicho dispositivo para el conductor. No obstante, este mismo informe consideraba que en 1995 esta proporción aumentara hasta el 20 %.

En el mercado americano, sin embargo, prácticamente todos los coches matriculados en el mismo periodo incorporaban bolsa de aire para el lado del conductor, y a partir de 1994 lo tienen también en el del pasajero. Se da la paradoja de que en el mercado americano hay una mayor demanda de elementos de seguridad, aun cuando el uso del cinturón es muy limitado. Esto explica porque tanto los fabricantes americanos, como los europeos y japoneses, ofrecen elementos de seguridad como equipo de serie a pesar de no ser obligatorios.

Las bolsas de aire están diseñadas para inflarse una sola vez. Por lo que después de haberse inflado se tendrán que reemplazar algunos componentes y posiblemente la bolsa de aire para que esta nuevamente pueda proteger a los ocupantes en el caso de accidente.

En estos momentos se están desarrollando nuevos elementos de seguridad que podrán aplicarse en el futuro. El que más probabilidades tiene es la bolsa de aire lateral, que actualmente solo se encuentra en los coches de lujo de la marca Volvo. El principal problema que plantea es que en un impacto de este tipo apenas hay tiempo de determinar si el golpe requiere o no su actuación. En un impacto frontal la deformación de la estructura delantera proporciona el tiempo necesario para que los sensores informen a la computadora y esta evalúe si es necesario activar la bolsa de aire. Esos escasos segundos no existen en caso de un choque lateral, en el que no hay estructura deformables que retarden el contacto con los pasajeros.

Por otro lado, la bolsa de aire lateral debería estar situada casi a la altura de los hombros para que fuera eficaz. En un golpe lateral, la parte superior del cuerpo estaría más desprotegida. Si hay automóviles que disponen de bolsa de aire en los asientos traseros (Nissan President), pero se trata de grandes automóviles en los que esta bolsa de aire sustituye, a la que se encuentra en el lugar del acompañante. La razón es que estos automóviles están pensados para que vaya un chofer adelante y el pasajero atrás. En automóviles normales, una o dos bolsas de aire traseras no aumentarían mucho la protección, ya que los pasajeros no tienen enfrente objetos duros (tablero, volante o parabrisas), y causarían problemas derivados de la explosión, debido a que la presión interior del coche aumentaría demasiado si cuatro bolsas de aire explotan a la vez [AP].

2.6 AUTOMOVILES COMERCIALIZADOS EN MEXICO QUE CUENTAN CON SISTEMA DE BOLSA DE AIRE.

Los automóviles que cuentan con el sistema de bolsa de aire, como un accesorio de serie son en gran parte los de importación, y algunos armados en México, los automóviles importados la tienen debido a la mayor demanda de elementos de seguridad que existe en otros países más que en México. Por lo que respecta a los vehículos ensamblados en México solamente se pide este sistema de seguridad como opcional, ya que al colocar este sistema en los automóviles incrementa el costo en alrededor de \$5000.00 por cada

bolsa de aire, una para el conductor y otra para el pasajero, esto repercute directamente en el costo final del automóvil por lo que las plantas armadoras manejen este accesorio como optativo para el conductor y pasajero y otros casos optativo solamente la del asiento del acompañante.

2.7 UBICACION DE LAS BOLSAS DE AIRE.

Los vehículos que en la actualidad cuentan con el sistema de bolsa de aire, tienen una del lado del conductor que se encuentra en la parte central del volante y algunos modelos traen una segunda bolsa en el lado del pasajero, ubicada en la parte superior del tablero de instrumentos, como lo muestra la figura 2.1 [MA].

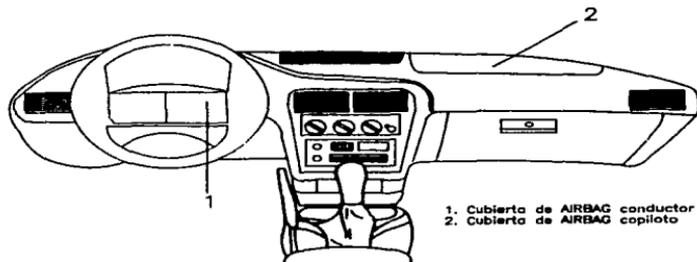


Figura 2.1 Tablero donde se ubica la bolsa de aire.

2.8 FUNCION DE LA CUBIERTA.

La función original de la cubierta es cubrir el sistema de seguridad de retención, bolsa de aire del acompañante. Cuando este sistema de seguridad es usado, esta cubierta se reemplaza por otra junto con todo el sistema de seguridad, puesto que solo puede ser usado una sola vez.

En el caso de que la bolsa de aire no se instale, la cubierta ocuparía su lugar permanente en el tablero de instrumentos, sin tener que sufrir ninguna modificación o alteración aparente, quedando la función de la cubierta como un requerimiento estético en el tablero.

2.9 DESCRIPCION DE LA CUBIERTA QUE PRESENTO LA FALLA.

Esta pieza originalmente fue fabricada con material plástico llamado TPO y además fue reforzada con una placa de lámina. La función original de la cubierta es proteger el sistema de seguridad de retención (SRS) o "bolsa de aire". Los altos costos en la bolsa de aire hicieron que ésta fuera excluida de los automóviles de fabricación nacional, esta decisión trajo como consecuencia el tener que modificar la cubierta que sólo serviría para cubrir el espacio que había dejado el sistema de seguridad de retención.

Para reducir costos en la fabricación de la pieza se optó por cambiar el material por uno de menor costo.

La pieza denominada cubierta se encuentra localizada en la parte superior del tablero de instrumentos en el lado del acompañante del conductor. Su función es cubrir el espacio asignado del sistema de seguridad de bolsa de aire; en la actualidad se fabrica de Nylon 6/6, tiene una masa de 297.7 gms., y un espesor promedio de 3.5 mm.

2.10 CONDICIONES DE SERVICIO HASTA EL MOMENTO DE LA FALLA.

La cubierta que se está analizando presenta un defecto que podría pasar desapercibido debido a que no puede causar problemas mecánicos subsecuentes, sin embargo, por la ubicación afecta la función estética del tablero, por tal motivo se solicitó que se hiciera un análisis para corregir dicho defecto.

En la primera fase se solicitó información acerca de las condiciones de servicio hasta que se presentó la falla.

El fabricante de la cubierta de la bolsa de aire informó que las pruebas hechas a los automóviles que pertenecen a esta compañía son básicamente pruebas de campo. Esta prueba consiste en hacer un recorrido desde la Cd. México hasta el nivel del mar o bien hasta las zonas desérticas donde existen altos gradientes de temperatura, para observar el comportamiento de sus componentes. Al regresar a las instalaciones de la compañía se observó que la cubierta de la bolsa de aire había sufrido una deformación que afectaba la apariencia estética del tablero de instrumentos.

CAPITULO III

MEDICION DEL COMPONENTE QUE FALLO

3.1 INTRODUCCION.

Para efectuar la medición de la pieza fue necesario emplear una máquina de medición por coordenadas, (CMM) que es una herramienta de inspección de alta precisión diseñada para la medición de piezas, la cual ofrece una medición más rápida que cualquier equipo de medición convencional y el usar un paquete de elemento finito para el despliegue de resultados de las mediciones de la máquina, debido a que era necesario tener una idea clara, de la cubierta que ha experimentado la deformación y la de la geometría original para después hacer las debidas comparaciones.

3.2 PROCESO DE DIGITALIZACION DE LA CUBIERTA.

Para realizar la digitalización de la cubierta se utilizó la CMM del Departamento de Ingeniería Mecánica de la Facultad de Ingeniería de la UNAM (figura 3.1); para la captura de las coordenadas que surgieron de la digitalización se utilizó una computadora conectada en serie con la CMM a través de una interface RS-232, los equipos y sistemas utilizados para este fin son los siguientes:

- Máquina de Medición por Coordenadas marca Brown & Sharpe, modelo Micro Val, con el Software Micromeasure II Plus.
- Sistema de transferencia de datos CADD Inspector versión 1.6

1. Base.
2. Mesa de granito.
3. Carriles del eje y.
4. Puente.
5. Dispositivo de sujeción para palpadores.
6. Carril del eje z.
7. Carro x z.
8. Perilla de ajuste de contrapeso.
9. Frenos de los ejes (x, y, z).
10. Probador o palpador.
11. Monitor.
12. Mesa o banco.
13. Lápiz óptico.
14. Gabinete electrónico.
15. Unidad de suministro de aire.
16. Colchones de aire.
17. Sistema de medición.
18. Niveladores de la máquina.
19. Pernos de apoyo.
20. Niveladores de la mesa de granito.
21. Controlador manual.

3.3 SOFTWARE EMPLEADO.

El paquete de Diseño Asistido por Computadora CADKEY tiene como principal característica hacer más fácil el trabajo de dibujo en 3D, es un programa que trabaja con el sistema de árboles de menús.

CADDInspector es un software que enlaza a la CMM con CADKEY. Permite la digitalización directa de puntos, líneas, círculos, arcos y polilíneas bi y tridimensionales. CADDInspector y CADKEY tienen un lenguaje común denominado CADL (CADKEY's Advanced Design Language). Ambos programas ofrecen bases de datos normalizadas y traductor IGES.

El CADD Inspector es el enlace que permite realizar funciones de ingeniería inversa y de inspección. La inspección se aplica a piezas manufacturadas, con la finalidad de compararlas con especificaciones de diseño. En lo que se refiere a Ingeniería Inversa, hace posible la digitalización de una pieza manufacturada de la cual no existe mayor información que la pieza misma.

El software empleado por las CMM's, se puede clasificar en dos grandes grupos: los programas de medición y los programas para procesamiento de datos medidos.

3.3.1 PROGRAMAS DE MEDICION.

Son programas para la medición de contornos, para las rutinas de alineación (traslado del origen a un punto específico, rotación del origen, etc.), rutinas de medición como la medición de elementos (puntos, líneas, círculos, etc.), medición de distancias, de

ángulos, desviación de forma (esfericidad, conicidad, cilíndricidad, etc.), orientaciones (paralelismo, perpendicularidad, etc.), intersecciones entre líneas, o bien, programas para la calibración del palpador.

3.3.2 PROGRAMAS DE PROCESAMIENTO DE DATOS MEDIDOS.

Estos pueden ser programas de procesamiento estadístico como desviaciones estándar, media y en general la mayoría de las funciones estadísticas que son útiles al realizar mediciones y los programas de generación de certificados de inspección.

Estando listo el enlace entre la CMM y la PC se procedió a digitalizar las cubiertas de la bolsa de aire, con puntos que nos permitieran obtener una descripción total de la superficie de la cubierta, primeramente se marcaron ambas cubiertas con puntos de 10 mm de distancia entre sí, se digitalizó el contorno de la tapa, y la superficie, en el paquete CADKEY. En la figura 3.2 podemos observar la cubierta original, en la forma en que los puntos digitalizados aparecen en pantalla procedentes de la CMM.

El uso específico de la CMM fué para obtener una geometría más exacta y por la falta de experiencia con este equipo se propicio un error en la medición de las primeras dos tapas, el cual fue solucionado con un dispositivo de sujeción para la medición de la serie de tapas obtenidas después de las pruebas. Por tal motivo, se recomienda que en toda medición se verifique que la pieza a medir cuente con un buen sistema de sujeción lo que proporcionara una medición más confiable.

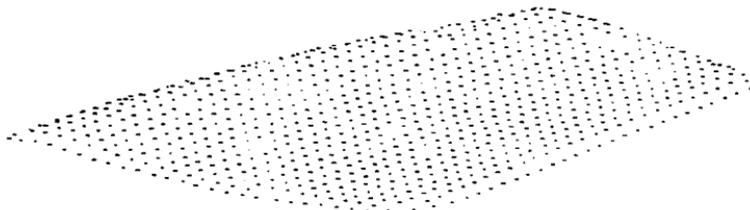


Figura 3.2 Puntos digitalizados de la cubierta original.

3.4 REPRESENTACION DE LOS VALORES OBTENIDOS.

Cada punto obtenido de la geometría deformada esta dando lugar a una terna de deformación que permite ubicar la posición final del punto, brindando una geometría deformada del objeto, así mismo esta terna es usada, junto con la geometría original sobreponiéndose una a la otra, para encontrar un vector de desplazamiento resultante y/o representar las curvas de isodeformación, como las que se construyeron con dicha información en el paquete CADKEY que se muestran en las figuras 3.3 y 3.4.

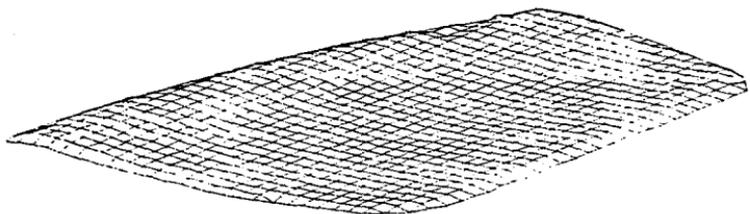


Figura 3.3 Geometría original de la cubierta.

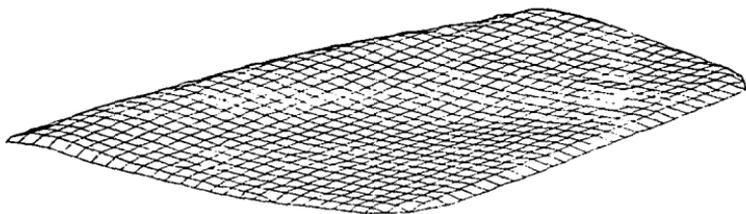


Figura 3.4 Geometría deformada de la cubierta.

La figura 3.5 muestra un corte en donde se pueden apreciar las dos cubiertas sobrepuestas y la distancia de los vectores de desplazamiento. Dicho corte nos muestra la parte que ha sufrido la mayor deformación la cual tiene un valor de 4.5 mm y más adelante se dará una mayor información de la localización de dicha deformación.

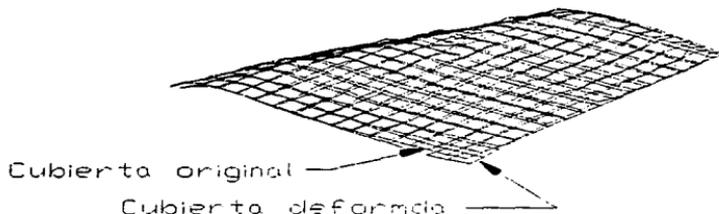


Figura 3.5 Corte de las cubiertas sobrepuestas.

3.5 ANALISIS DE RESULTADOS.

Se designó una sección de 234 puntos donde se localizó la mayor deformación de la pieza; dicha sección es delimitada horizontalmente por los sujetadores que lleva la cubierta en el momento de colocarse en el tablero y verticalmente por la gradual desaparición de la deformación; la sección propuesta se muestra en la figura 3.6

3.5.1 MODELO DE ELEMENTO FINITO.

Tras una corrida de un postprocesador de elemento finito en este caso NISA DISPLAY, la representación del conjunto de resultados en forma gráfica permite una decisión

rápida del analista. Es claro que dependiendo del análisis será la representación deseada (tabla 3.1)

ANÁLISIS	RESULTADOS	REPRESENTACION GRAFICA
ESTÁTICO	DEFORMACIONES	GEOMETRIA DEFORMADA
	ESFUERZOS	CÓNTORNOS DE ESFUERZOS

Tabla 3.1. Ejemplo de representación gráfica de resultados de análisis por elemento finito.

Partiendo del hecho de que los programas de postproceso contienen rutinas para graficar los resultados de análisis por elemento finito, como se describió anteriormente (tabla 3.1), resulta lógico pensar en usar tales capacidades para representar no solamente los resultados emanados de un análisis numérico, sino también para valores experimentales o mediciones directas realizadas en prototipos como es este el caso .

Los puntos obtenidos de la cubierta original se transfirieron de CADKEY a AUTO CAD a través de un formato DWG y de AUTOCAD se transfirió a un formato IGES que por último se transmitió a una estación de trabajo, para hacer las simulaciones convenientes del modelo con ayuda del paquete NISA DISPLAY.

La transferencia que recibió NISA DISPLAY fue solamente de puntos con los cuales se construyó la malla de la pieza original con elementos bidimensionales, se le asignó un material y un modulo de Poisson, que son propiedades del material utilizado en esta cubierta.

Con los vectores desplazamiento que se obtuvieron anteriormente se le aplicó ese desplazamiento a su respectivo nodo y las partes que van sujetas al tablero se les designó un desplazamiento cero o sin movimiento como se muestra en la figura 3.6.

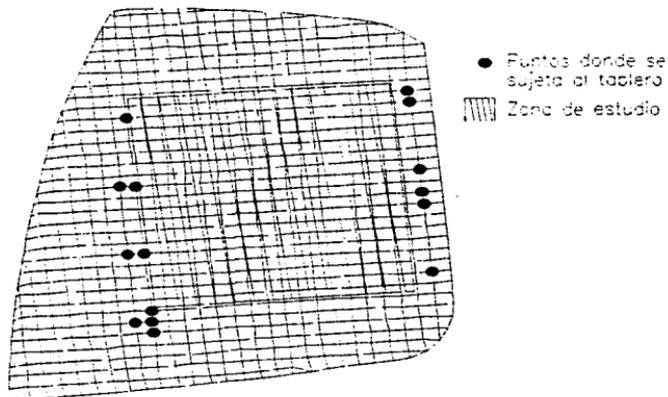


Figura 3.6 Puntos de desplazamiento cero y sección sometida a análisis.

Después de realizar una simulación con los desplazamientos obtenidos, lo que se obtiene es una representación más detallada de la deformación, por la cual se deduce que la deformación sigue la línea de la diagonal principal de la superficie que coincidentemente pasa por el punto de inyección como nos muestra la figura 3.7.

Espey Annex 14

BISMAN III - 31 METER MODULING SYSTEM - 11.0' PRE/POST MODULI

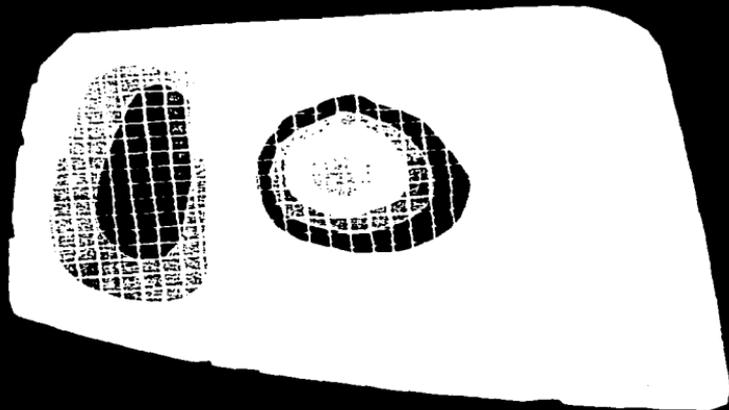


Figura 3 7

Además de la imagen, el paquete nos proporciona un archivo *.out*, el cual es un listado de las fuerzas que provocaron dicha deformación, las cuales se utilizaron en las simulaciones de la deformación.

Pero además los resultados gráficos que obtenemos de la simulación nos ofrecen otro camino a seguir, el cual es que la deformación se propaga a lo largo de la diagonal principal como se muestra en la figura 3.8, por lo que se realizó una nueva medición, pero ahora en forma circular e incrementando el número de puntos en la región donde se localiza la mayor deformación para tener una mejor representación.

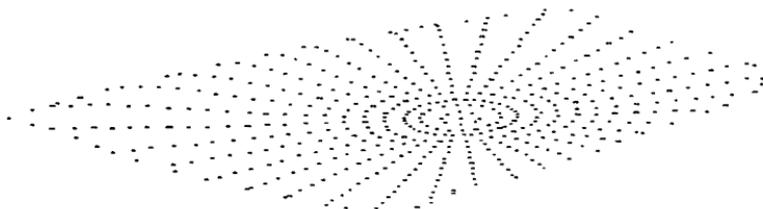


Figura 3.8 Puntos digitalizados de la cubierta original en forma circular a partir del punto de inyección.

3.6 DISCRETIZACION DE LOS PUNTOS EN FORMA CIRCULAR.

Como se pudo ver en la discretización de puntos se encontró que el punto de mayor deformación coincidentemente parte del punto de inyección de la cubierta por lo que se realiza una medición de puntos en este caso de la misma forma que se propaga la deformación, siendo estos círculos concéntricos a partir del punto de inyección, y una malla más cerrada cerca del punto de inyección y más abierta conforme va alejándose de éste.

Como en el caso anterior, se designó una sección de estudio, en este caso de 249 puntos, la cual se limitó por los puntos de sujeción, obteniendo así un resultado más exacto en cuanto a la mayor carga de puntos en el área afectada.

Se procedió de la misma forma que en la retícula cuadrada, se midieron las dos geometrías y con ayuda de splines se definió la retícula circular como la que se muestra en la figura 3.9 en la cual se definen los puntos donde se sujeta.

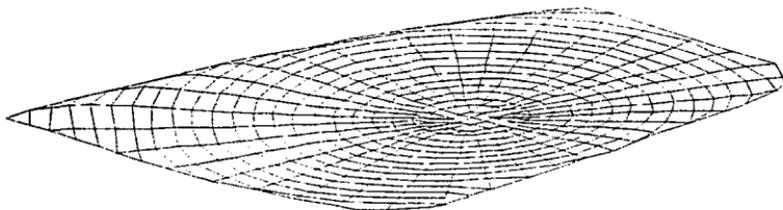


Figura 3.9 Geometría original con spline circular a partir del punto de inyección.

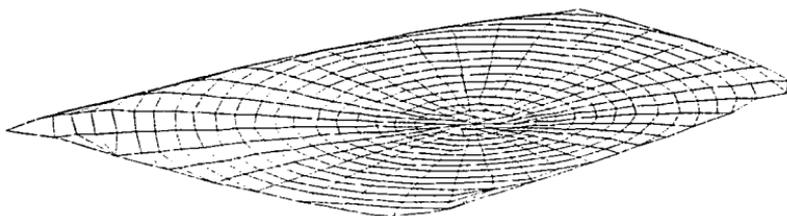


Figura 3.10 Geometría deformada con spline circular a partir del punto de inyección.

La malla circular y el incremento de puntos en la zona de mayor deformación nos permite tener una mayor exactitud en los vectores de desplazamiento. En el caso de que se quisiera ser más exacto en el desplazamiento, se obtendrían tal vez más puntos pero lo que se intenta con esta medición es obtener un patrón de desplazamiento (el cual se pudo obtener) y también como una ayuda en el rediseño de la geometría de los elementos que integrarían el nuevo diseño de la cubierta para evitar la deformación.

Las figuras presentadas hasta el momento no muestran datos procedentes de un análisis por elemento finito, si no valores dispuestos en forma tabular obtenidos de mediciones directas de la CMM.

CAPITULO IV

ANALISIS DEL PROCESO DE MANUFACTURA.

4.1 INTRODUCCION.

El presente capítulo está orientado al análisis de las condiciones de proceso de la cubierta con el propósito de detectar efectos que propician la deformación. Para tal efecto fue necesario realizar una investigación de la historia del proceso de manufactura de la pieza que presentó la falla para así poder determinar la causa que provocó dicha falla.

Los datos de la geometría de la cubierta se transfirieron al paquete MOLDFLOW donde se simuló el flujo que se presenta dentro del molde con los parámetros originales y con los nuevos. Con el análisis de los resultados obtenidos se procedió a la modificación de los parámetros para hacer el cambio en la máquina de inyección.

De las nuevas piezas obtenidas se realizaron nuevas mediciones para determinar las deformaciones y ver si en realidad los cambios en el proceso originaban una mejora en la calidad de la pieza. Se propondrán otras posibles alternativas para disminuir la deformación.

4.2 HISTORIA DEL PROCESO DE MANUFACTURA.

Para obtener una información detallada acerca del proceso de manufactura se realizaron visitas a las instalaciones de la empresa donde se fabrica la pieza.

Ahí se proporcionaron las condiciones iniciales para el procesamiento de la pieza, las cuales son:

Tiempo de inyección : 1.6 seg.

Temperatura del molde : 40°C

Temperatura del fundido: 265°C

Se pudo observar que la pieza después de salir de la máquina de inyección pasa por una serie de "correcciones" que podrían considerarse como manuales, dichas "correcciones" son las siguientes:

1. La pieza sale de la máquina de inyección.
2. Al salir la pieza, el operario además de quitar la rebaba y la colada de la pieza, la dobla un poco con el fin de que adopte la forma deseada.
3. Después la pieza es colocada en una mesa y se le ponen encima 3 barras para obligar a la pieza a conservar la forma original.
4. Después de aproximadamente unos 10 minutos; el operador quita las barras de la pieza y verifica la forma de la pieza con un "verificador" que tiene la forma de la superficie de la pieza, fabricado por ellos. Si el operador considera que la pieza ya tiene la forma ideal ésta es puesta en la caja donde será transportada a la compañía automotriz. Si aun no satisface la forma, la pieza se pone nuevamente sobre la mesa y se colocan otra vez las barras sobre ésta.

4.3 MECANISMOS QUE CAUSARON LA FALLA.

Como ya se ha visto, las propiedades de las piezas de plástico dependen de la orientación de las cadenas moleculares, por ejemplo, la resistencia a la tracción es mucho más alta en la dirección de la orientación. La orientación de las cadenas moleculares se distribuye en forma diferente sobre la sección transversal de la pared de la pieza. Así, aumenta la orientación del centro hacia la superficie de la sección transversal y en las áreas cercanas a la colada la orientación es más marcada.

La marcada orientación en el moldeo por inyección puede causar problemas, es por eso que se debe minimizar. Si la orientación es marcada, se pueden generar esfuerzos que podrían provocar la deformación de las piezas moldeadas, ya sea con lentitud, si los esfuerzos se alivian espontáneamente, o con rapidez, si el material se somete a temperaturas de servicio elevadas [MJ].

En la inyección la masa no tiene tiempo suficiente para relajarse totalmente porque la masa se enfría con mucha rapidez dentro del molde. Un calentamiento posterior conduce a que las cadenas de moléculas se orienten a su estado original.

Una temperatura más alta y un tiempo de solidificación más prolongado ocasionan una mayor relajación, así como que la orientación interna de la pieza sea menos marcada después del enfriamiento.

Para probar la existencia de esfuerzos residuales fue necesario hacer algunas pruebas que se explicarán en la siguiente sección.

4.4 SIMULACION DE CONDICIONES DE PRUEBA.

Para poder verificar lo anteriormente expuesto se realizaron pruebas tratando de simular las condiciones bajo las cuales se presentó la falla. Se llevaron a cabo pruebas en dos diferentes medios, aceite y aire.

El material utilizado para dicha prueba fue el siguiente:

- Un recipiente metálico
- Aceite
- Termómetro
- Soplete

La prueba que se llevo a cabo consistió que en un recipiente se depositara el aceite y se colocara la cubierta dentro de éste y el soplete se utilizó como medio de calentamiento. Se elevó la temperatura hasta llegar a 120°C y se extrajo la cubierta para observar que cambios había sufrido y realizar la medición de la deformación. Otra prueba consistió en introducir la cubierta en un horno a una temperatura de 80°C y un tiempo de residencia de 20 minutos.

Ambos procesos se utilizaron para dos diferentes condiciones de cubierta uno al que se le colocaron barras y otro sin barras con los que contamos y se compararon con una cubierta ya terminada y sin ningún defecto.

Las diferentes condiciones de la cubierta fueron las siguientes:

- T1 Prueba en aceite hasta 120°C con barras.
- T2 Prueba en aceite hasta 120°C sin barras.
- T3 Prueba en horno hasta 80°C sin barras.

T4 Prueba en horno hasta 80°C con barras.

T5 Prueba en horno hasta 120°C durante 25 minutos con barras.

T6 Prueba en horno hasta 120°C durante 25 minutos sin barras.

T7 Pieza deformada en la prueba de campo.

T8 Pieza enviada a G.M.

Las deformaciones presentadas por las piezas después de las pruebas, tomando como referencia a T8 fueron las siguientes:

Tapa (T)	Deformación (mm)
T1	3.456
T2	2.916
T3	2.117
T4	2.692
T5	2.334
T6	2.194
T7	4.500
T8	0 (referencia)

Con los resultados obtenidos se pudo comprobar que existen esfuerzos residuales los cuales son liberados al incrementar la temperatura.

Analizando los resultados obtenidos y haciendo una comparación entre las piezas que se les colocó las barras y a las que no se les puso, se puede observar que presentaron mayor deformación las piezas a las cuales se pusieron las barras. Por tal motivo, el análisis de

resultados se hará con respecto a las piezas que no fueron sujetas a cargas debido a las barras.

A la luz de los resultados podemos decir que el origen de la falla fue el proceso de fabricación y la temperatura hizo posible la propagación de la falla.

4.5 VARIABLES DE PROCESO.

Como ya se vio, las propiedades del flujo de los plásticos dependen fundamentalmente de la temperatura y del movimiento molecular.

Cuando la masa pasa por la boquilla se forman aglomeraciones del mismo material que siguen una dirección y las cadenas moleculares están en un estado de esfuerzos. La masa fundida que está bajo presión se deforma igualmente por deformación de las aglomeraciones moleculares. Si la presión afecta a la masa sólo un poco o si la masa posee una viscosidad alta, entonces la masa en el caso de que se quite la presión, se deforma volviendo a su estado original.

Durante la inyección la masa no tiene tiempo suficiente para relajarse totalmente porque la masa se enfría con mucha rapidez dentro del molde. Un calentamiento posterior conduce a que las cadenas moléculas se orienten hacia su estado original. Así se puede decir que las propiedades de las piezas de plástico dependen de la orientación de las cadenas moleculares.

En la fase de llenado se puede influir en propiedades de la pieza como son la orientación de las cadenas moleculares, la resistencia a la tensión, la resistencia al impacto,

dimensiones y peso de la pieza mediante modificaciones de los parámetros tales como: la velocidad del avance del husillo, temperatura de la masa y del molde [IM].

Si se examina la distribución de la orientación en la sección transversal de la pieza, se observa que en la superficie, la orientación es más marcada que en la parte interna de la pieza. Con un aumento de la velocidad de inyección sube la orientación en la superficie de la pieza. El aumento en la superficie es ocasionado por la mayor velocidad de corte y de estiramiento.

Las moléculas más fuertemente orientadas se enfrían rápidamente junto a la pared de la cavidad. Mediante una inyección rápida se saca menos calor de la masa mientras que se llena la cavidad, lo que hace que la pieza se enfríe más homogéneamente.

Una alta temperatura y una solidificación más prolongada ocasiona una mayor relajación, de tal forma que la orientación interna de la pieza será más baja después del enfriamiento.

Por lo general, con una velocidad alta de avance en el husillo y con una elevada temperatura de la masa, la orientación molecular disminuye.

En la fase de empacamiento se puede influir tanto en las propiedades de la pieza como en sus dimensiones, peso, contracción, rebabas, cristalización, estructura molecular, orientación de las cadenas así como tensión interna; esto se puede lograr modificando parámetros como tiempo de empacamiento, temperatura de la masa y temperatura de las paredes de la cavidad.

El flujo de masa es ocasionado por la misma masa que es empujada a la cavidad, para igualar la contracción del volumen durante la presión posterior. El flujo se encuentra en las zonas internas de la pieza que no están enfriadas, es decir, donde el material todavía está plastificado.

Con una mayor temperatura de la masa, y en su caso, con los mismos parámetros de proceso, el grado de orientación disminuye. El aumento de la orientación en una capa interna se debe al movimiento de la masa en la fase de empacamiento.

La temperatura de la pared de la cavidad tiene menor influencia en el grado de orientación, que la temperatura de la masa.

Mientras más alta es la presión en la cavidad, más deficiente será la relajación de las orientaciones. El grado de la orientación en la pieza enfriada se eleva.

La orientación es el efecto del alineamiento de moléculas debido a fuerzas cortantes y la relajación de estos alineamientos es causada por la temperatura. Por lo tanto, los plásticos cuando aumenta la temperatura se incrementa la relajación y disminuye la orientación. Por lo tanto, las condiciones de operación tendrán un efecto significativo en esos esfuerzos. A continuación se explica la influencia de algunas variables en el proceso.

- Temperatura. Alta temperatura del material y del molde disminuyen la orientación. Una significativa relajación de esfuerzos pueden ocurrir después de que la pieza es extraída del molde. Un enfriamiento lento y uniforme disminuye la orientación.
- Presión. Altas presiones dan como resultado altos esfuerzos cortantes los cuales incrementan la orientación.

- **Espesor de la pieza.** Una pieza gruesa tiene más tiempo para enfriarse, promoviendo así la relajación, lo que provoca disminución en la orientación.

La siguiente tabla muestra los efectos de las variables en cuanto a orientación [IM].

VARIABLE	PARA AUMENTAR ORIENTACION	PARA DISMINUIR ORIENTACION
TEMPERATURA		
Temperatura del material	Frio	Caliente
Temperatura del molde	Frio	Caliente
Enfriamiento de la pieza	Rápido	Lento
PRESION		
Presión de inyección.	Alta	Baja
MECANICA		
Espesor de la pieza	Delgado	Grueso
Tamaño del punto de inyección.	Grande	Pequeño
Velocidad de llenado	Lento	Rápido

De todo lo anterior, se puede decir, que el conocimiento de los parámetros de proceso y su influencia en la calidad de las piezas es la base para una inyección económica.

Si es necesario optimizar el ajuste de la máquina, es recomendable que solo se cambie un parámetro en el ajuste para observar la eficacia o deficiencia en la pieza. Solo así se puede sostener que con las modificaciones en estos parámetros se han obtenido piezas de mejor o menor calidad.

4.6 SIMULACION EN EL PAQUETE MOLDFLOW.

El banco de datos del sistema contiene datos reológicos, de temperatura y de presión de varios polímeros. Con la computadora se puede simular un diseño de molde que se proponga y analizar el flujo del material fundido en él. Pueden probarse diversos tamaños y posiciones de bebederos y compuertas hasta encontrar los óptimos. La técnica es muy valiosa para los complejos moldes de cavidades múltiples, donde el patrón de flujo puede ser difícil, si no, imposible de predecir. Tradicionalmente, se elaboran esas herramientas con canales subdimensionados que luego se ajustaban en la planta mediante métodos de prueba y error, lo cual es un procedimiento laborioso y caro. El programa de computación Moldflow permite la simulación reológica del molde.

El programa de computación Moldflow predice el flujo del plástico en el interior del molde. Esta herramienta ha dado al diseñador la habilidad para diseñar moldes y piezas, conociendo como el plástico fluye en el molde y que efectos tendrá en la calidad de la pieza terminada.

4.6.1 SIMULACIÓN DE FLUJO CON LAS CONDICIONES INICIALES DEL PROCESO.

Con la geometría de la pieza obtenida en el capítulo anterior se transfirieron los datos al programa Moldflow para poder realizar la simulación de flujo dentro del molde, esta simulación se hizo con las condiciones en las que estaba operando la máquina.

El programa ya cuenta con una lista de materiales, por lo tanto los datos de entrada son el tipo de material, la ubicación del punto de inyección y las condiciones de proceso que se utilizarán en la simulación de la inyección.

El material utilizado fue un nylon 6/6 [CN] estabilizado al calor y lubricado externamente el cual tiene gran resistencia mecánica y térmica, pero, como todo material cristalino, sus propiedades mecánicas y térmicas son afectadas por la orientación y el grado de cristalinidad cuando es procesado.

En la tabla 1 se listan las propiedades de este material.

TABLA 1
Material Information

Material DATABASE type : MATDB <Standard>	
SUPPLIER/file name : HOECEL	
GRADE code : HC915	
Material MODEL order : 2	
Material description :	
HC915 PA66 NYLON 1003-2 NAT Q.STAB HOECHST CEL VI(280)59 PPI	
SEP89	
Conductivity	0.314000 W/m/dcgC
Specific Heat	2756.000000 J/kg/dcgC
Melt Density	1032.000000 kg/cu.m
Ejection Temperature	201.000000 deg.C
No Flow Temperature	229.199997 deg.C
Processing Conditions:	
Generic Melt Temperature Minimum	270.000000 deg.C
Generic Melt Temperature Maximum	320.000000 deg.C
Generic Melt Temperature Suggested	295.000000 deg.C
Generic Mold Temperature Minimum	40.000000 deg.C
Generic Mold Temperature Maximum	80.000000 deg.C
Generic Mold Temperature Suggested	60.000000 deg.C
Generic Melt Temperature Absolute Maximum	360.000000 deg.C
Generic Maximum Shear Stress	0.500000 MPa
Generic Maximum Shear Rate	60000.000000 1/s

Las condiciones iniciales para el procesamiento del producto son:

Tiempo de inyección: 1.5 seg.
 Temperatura del molde: 40°C
 Temperatura del fundido: 266°C

Los resultados obtenidos por el programa después de la simulación fueron los siguientes:

MFL 5.3.1 11 SUMMARY -FINAL FILLING -PLAS3

```

.....
*
* MULTI-LAMINATE *
* FILLING ANALYSIS *
*
.....
    
```

Molding Conditions

```

.....
Mold temperature : 40.00 deg.C
Melt temperature : 266.00 deg.C
Injection time : 1.50 sec
Total Volume : 270.40 cu.cm
Flow rate : 180.27 cu.cm/s
.....
* FILLING PHASE RESULTS SUMMARY *
.....
    
```

Maximum - Minimum Values

```

.....
Max Pressure ( at Fill ) : 34.1610 MPa
Max Pressure ( during cycle ) : 34.1610 MPa

Max Clamp Force ( during cycle ) : 133.6644 tonne
Total projected area : 757.7410 sq.cm

Actual injection time : 1.6330 sec

Min Temperature ( at Fill ) : 265.9999 deg.C
Max Temperature ( at Fill ) : 267.3328 deg.C

Min Temperature ( flow front ) : 266.0000 deg.C
Max Temperature ( flow front ) : 267.3328 deg.C
    
```

Max Shear Rate (at Fill) : 41369.6250 1/s
 Max Shear Rate (during cycle) : 56677.9141 1/s

Max Shear Stress (at Fill) : 0.5173 MPa
 Max Shear Stress (during cycle) : 0.5771 MPa

Max Solidification Time (Tri. Elements): 7.96 sec (Element 699)
 Min Solidification Time (Tri. Elements): 6.36 sec (Element 707)

Max Solidification Time (Cold Runners): 15.95 sec (Element 1559)
 Min Solidification Time (Cold Runners): 8.67 sec (Element 1568)

En la figura MOLDFLOW, se muestra el modelo de elementos finitos para el análisis de flujo que se realizó en la pieza.

Tiempo de llenado.

En la figura FILL TIME, se muestra por medio de franjas de colores el tiempo de llenado de la cavidad, el cual es de 1.611 seg. y en el que la zona de color azul marino corresponde a la última zona en llenarse en tanto que el color rojo indica el punto de inyección.

Distribución de presión.

En la figura PRESSURE plas3, se puede observar la máxima presión que se presenta en la fase de llenado de la cavidad y la cual es de 34.161 MPa en el punto de inyección de la pieza.

Distribución de temperatura.

En base a la distribución de temperaturas mostrado en la figura INSTANT.TEMP plas3 el gradiente de temperatura es de 1.333°C, el cual es uniforme a lo largo de toda la pieza.

Esfuerzo cortante.

El máximo esfuerzo cortante que se presenta es de 0.577 Mpa, como se puede observar en la figura MAX.STRESS plas3 el cual sobrepasa el esfuerzo cortante máximo permitido en el material el cual es de 0.5 MPa. Esto puede causar orientación y esfuerzos residuales.

Velocidad de corte.

En la figura MAX.SHEAR plas3, se muestra la distribución de la velocidad de corte y en el cual se tiene un valor máximo de 56677 1/s, en tanto que el máximo permitido es de 60000 1/s.

De los resultados anteriores, se observa que el esfuerzo cortante que se presentó durante la simulación es mayor al máximo permitido lo cual puede causar orientación y esfuerzos residuales. La orientación se puede reducir incrementando la temperatura del molde y del material fundido, así como incrementando la velocidad de inyección y disminuyendo la presión de inyección.

4.6.2 SIMULACION DE FLUJO VARIANDO LA TEMPERATURA.

En base a lo anterior, se incrementó la temperatura del material fundido a 280°C, obteniéndose los siguientes resultados.

```

MFL  5.3.1      11 SUMMARY -FINAL FILLING      -PLAS4
.....
.                .
.  MULTI-LAMINATE  .
.  FILLING ANALYSIS  .
.                .
.....

```

Molding Conditions

Mold temperature : 40.00 deg.C
 Melt temperature : 280.00 deg.C
 Injection time : 1.50 sec
 Total Volume : 270.40 cu.cm
 Flow rate : 180.27 cu.cm/s

.....
 * FILLING PHASE RESULTS SUMMARY *

Maximum - Minimum Values

Max Pressure (at Fill) : 26.3168 MPa
 Max Pressure (during cycle) : 26.3168 Mpa

Max Clamp Force (during cycle) : 95.8656 tonne
 Total projected area : 757.7410 sq.cm

Actual injection time : 1.6117 sec

Min Temperature (at Fill) : 280.0000 deg.C
 Max Temperature (at Fill) : 280.4666 deg.C

Min Temperature (flow front) : 280.0000 deg.C
 Max Temperature (flow front) : 280.4666 deg.C

Max Shear Rate (at Fill) : 43143.6172 1/s
 Max Shear Rate (during cycle) : 43206.0664 1/s
 Max Shear Stress (at Fill) : 0.3716 MPa
 Max Shear Stress (during cycle) : 0.3720 MPa

Max Solidification Time (Tri. Elements): 8.60 sec (Element 699)
 Min Solidification Time (Tri. Elements): 7.11 sec (Element 707)

Max Solidification Time (Cold Runners) : 17.41 sec (Element 1559)
 Min Solidification Time (Cold Runners) : 9.49 sec (Element 1568)

Analizando los datos anteriores se puede observar que con el cambio de temperatura

la presión máxima necesaria es de 26.3168 Mpa, la cual representa un 23% menos que la necesaria con las condiciones iniciales (ver figura PRESSURE plas4).

Distribución de temperatura.

En base a la distribución de temperaturas mostrado en la figura INSTANT.TEMP plas4 el gradiente de temperatura es de 0.46°C, el cual es uniforme a lo largo de toda la pieza.

El esfuerzo cortante disminuye con respecto al análisis anterior y su valor máximo en este caso es de 0.3720 Mpa lo que representa un 25.6% menos que el máximo permitido (ver figura MAX STRESS plas4).

La velocidad de corte máxima es de 43206.0664 1/s la cual esta muy por debajo de 60000 1/s que es la máxima permitida (ver figura MAX SHEAR plas4).

Tomando en cuenta que con las condiciones iniciales del proceso existían esfuerzos cortantes los cuales producen alta orientación se tomó la determinación de elevar la temperatura para reducir estos esfuerzos y así reducir también la orientación. De los datos anteriores se puede justificar que al aumentar la temperatura disminuyen los esfuerzos cortantes y con ello la orientación.

Otro parámetro que se puede modificar en el proceso de inyección para disminuir la orientación es la temperatura del molde por lo que se procedió a realizar esta simulación y además se incrementó nuevamente la temperatura del material fundido, ambos parámetros tomaron los valores sugeridos dando los siguientes resultados.

MFL 5.3.1 11 SUMMARY -FINAL FILLING -PLASS

.....
 *
 * MULTI-LAMINATE *
 * FILLING ANALYSIS *
 *

Molding Conditions

Mold temperature : 60.00 deg.C
 Melt temperature : 295.00 deg.C
 Injection time : 1.50 sec
 Total Volume : 270.40 cu.cm
 Flow rate : 180.27 cu.cm/s

.....
 * FILLING PHASE RESULTS SUMMARY *

Maximum - Minimum Values

Max Pressure (at Fill) : 16.2516 MPa
 Max Pressure (during cycle) : 16.2516 MPa

Max Clamp Force (during cycle) : 50.9298 tonne
 Total projected area : 757.7410 sq.cm

Actual injection time : 1.5917 sec

Min Temperature (at Fill) : 294.9507 deg.C
 Max Temperature (at Fill) : 295.1806 deg.C

Min Temperature (flow front) : 295.0000 deg.C
 Max Temperature (flow front) : 295.3046 deg.C

Max Shear Rate (at Fill) : 29073.4297 1/s
 Max Shear Rate (during cycle) : 29093.0801 1/s

Max Shear Stress (at Fill) : 0.2250 MPa
 Max Shear Stress (during cycle) : 0.2251 MPa

Max Solidification Time (Tri. Elements): 9.83 sec (Element 1519)
 Min Solidification Time (Tri. Elements): 8.67 sec (Element 707)

Max Solidification Time (Cold Runners): 20.07 sec (Element 1559)
Min Solidification Time (Cold Runners): 10.96 sec (Element 1568)

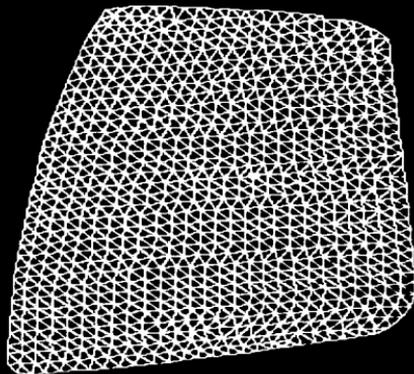
De los datos anteriores se observa que la presión disminuye a 16.2516 Mpa, lo que representa una disminución del 52.4% con respecto a las condiciones iniciales (ver figura **PRESSURE** plas5).

Distribución de temperatura.

En base a la distribución de temperaturas mostrado en la figura **INSTANT.TEMP** plas5 el gradiente de temperatura es de 0.23 °C, el cual es uniforme a lo largo de toda la pieza.

El esfuerzo cortante máximo es de 0.2251 Mpa siendo 54.98% menos que el máximo permitido (ver figura **MAX STRESS** plas5). Finalmente la velocidad de corte es de 29093.0801 1/s que es la mitad de la velocidad de corte permitida (ver figura **MAX SHEAR** plas5).

El próximo paso será llevar a cabo la prueba en la máquina de inyección para ver como se comporta la pieza con los nuevos parámetros en el proceso de inyección.



MOLDFLOW

please for MULTI-LAMINATE ALGORITHM. FILL TIME [sec] 3.96E-4



MOLDFLOW

1.611

plss1 fny PRESSURE [MPa]
MULTI-LAMINATE ALGOR

0.0



MOLDFLOW

34.161

plss2 fny INSTANT TEMP [deg. C]
MULTI-LAMINATE

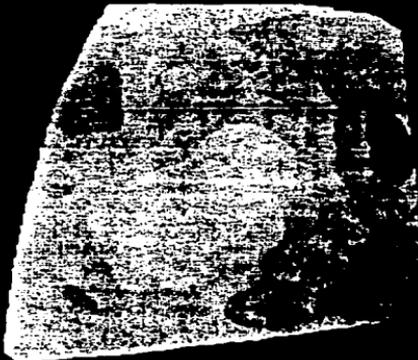
266.0

MOLDFLOW

267.33

plot 1 for MAX STRESS [MPa]
MULTI-LAMINATE ALGOR.....

20 9038



MOLDFLOW

20 577

plot 2 for MAX SHEAR [1/s]
MULTI-LAMINATE ALGOR.....

171 92

MOLDFLOW

56677

class for PRESSURE [Mpa]
MULTI-LAMINATE ALGOR

0.0

MOLDFLOW

26.316

class for INSTANT TEMP [deg. C]
MULTI-LAMINATE

280.0

MOLDFLOW

280.46

MULTI-LAMINATE ALGORITHM MAX STRESS THEA 20 021



MOLDFLOW

0.372

plastic for MULTI-LAMINATE ALGORITHM MAX SHEAR [1/s] 165.85

MOLDFLOW

43206

ESTA TESIS NO DEBE SALIR DE LA BIBLIOTECA

class for PRESSURE [Mpa]
MULTI-LAMINATE ALCOHOL

0.0

MOLDFLOW

16.251

class for INSTANT TEMP [deg C]
MULTI-LAMINATE

294.951

MOLDFLOW

295.181

class for MULTI-LAMINATE ALGO MAX STRESS [MPa]

0.009



MOLDFLOW

0.225

class for MULTI-LAMINATE ALGO MAX SHEAR [1/s]

169.629

MOLDFLOW

29093

4.7 PRUEBA EN LA MAQUINA CON LOS NUEVOS PARAMETROS DE PROCESO PROPUESTOS.

Después de analizar las condiciones de proceso, se llevaron a cabo las modificaciones en el proceso, principalmente temperatura y segunda presión (recalque)

Al obtenerse las nuevas piezas y someterlas a las pruebas de simulación en los diferentes medios a los que se habían expuesto las anteriores, se obtuvieron los siguientes resultados de deformación.

Las condiciones de la cubierta con los cambios de parámetros son:

T9 Prueba en aceite hasta 120°C durante 20 min. con barras y modificando la temperatura en el proceso.

T10 Prueba en aceite hasta 120°C durante 20 min. sin barras y modificando la temperatura en el proceso.

T11 Prueba en horno hasta 120°C durante 2 hrs. con recalque.

Deformaciones presentadas por las piezas tomando como referencia a la cubierta original que no presenta deformación (T8).

Tapa (t)	Deformaciones (mm)
T9	2.279
T10	2.121
T11	1.891

Estos resultados aunados a los anteriores se pueden observar en la Figura 4.6A y 4.6B

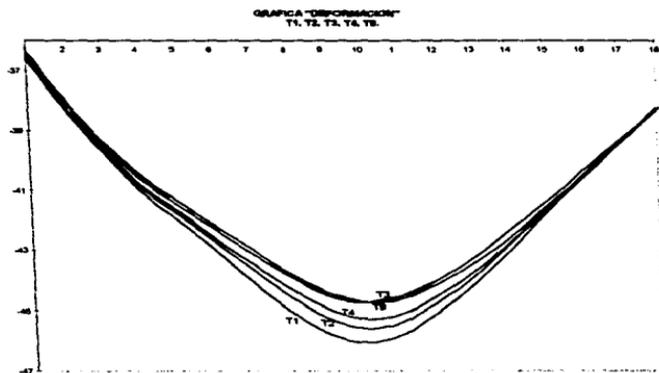


Figura 4.6A Deformaciones en el área de estudio

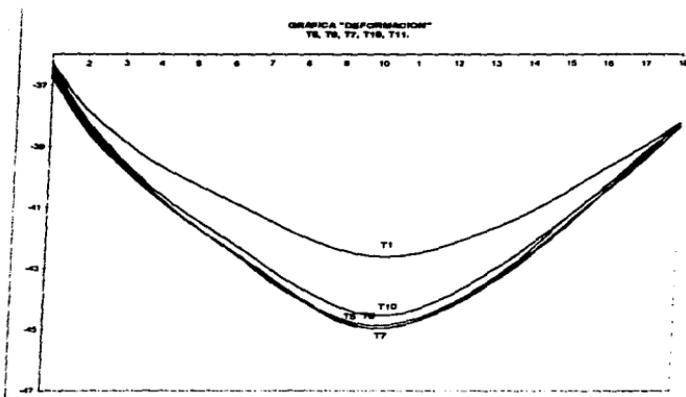


Figura 4.6 B Deformaciones en el área de estudio.

Tanto en estos resultados, como en los anteriores se puede observar que las piezas a las que se les colocaron las barras presentan mayor deformación, por tal motivo, el análisis se hará con respecto a las que no se les colocaron las barras, estas son:

Tapa (T)	Deformación (mm)
T2	2.916
T3	2.117
T6	2.194
T7	4.500
T8	0 (referencia)

T10	2.121
T11	1.891

Haciendo una comparación de T2, T3, T6, T10 y T11 con respecto a T7 que es la que presenta máxima deformación, se obtienen los siguientes porcentajes de disminución de deformación.

Tapa (T)	Disminución de deformación con respecto a T7 (%)
T2	3
T3	52.95
T6	51.24
T10	52.86
T11	57.97

De lo anterior, podemos concluir que es factible aplicar una segunda presión (recalque) para disminuir la orientación lo que disminuye la deformación de la cubierta al someterse a gradientes de temperatura elevados.

4.8 ALTERNATIVAS PARA AUMENTAR LA RIGIDEZ.

Para aumentar la capacidad de soportar una carga o la rigidez de una estructura plástica, es necesario aumentar ya sea las propiedades del material plástico o las propiedades del segmento de la estructura [DP]. Puede ser conveniente mejorar el material o recurriendo al mismo material reforzado con fibra de vidrio, aunque no siempre es una medida práctica ni económica. Normalmente se necesita aumentar las propiedades del

segmento, tales como el momento de inercia y el módulo de elasticidad. Según lo que se expuso anteriormente, aumentar el espesor de las paredes muchas veces es un medio para aumentar las propiedades de los segmentos, pero podrá haber limitaciones económicas en términos de material usado y ciclos de moldeado.

Si hay espacio suficiente, el uso de costillas es un medio práctico y económico de aumentar la integridad estructural de las piezas plásticas moldeadas por inyección, sin generar paredes gruesas. Aunque el uso de las costillas ofrece al ingeniero diseñador una gran amplitud en el manejo eficiente de la respuesta estructural de una parte plástica, el uso de costillas puede resultar en problemas de torcedura y apariencia. En general, los ingenieros expertos en diseño no usan costillas si existen dudas en cuanto a su efectiva necesidad estructural. Para este caso, en base a los esfuerzos residuales presentes no es aconsejable ya que sería una característica intrínseca y no beneficiaría en nada.

Otra forma de aumentar la rigidez de una pieza de plástico es pegando una placa de lamina de acero únicamente en la región donde se presenta la deformación.

En el capítulo anterior se explicó como se transfirieron los datos desde la CMM hasta el programa de NISA DISPLAY, como se construyó el mallado a partir de puntos, porque se eligió una zona de estudio y como se obtuvieron las fuerzas que provocaron la deformación de la pieza, todo lo antes mencionado nos servirá para realizar simulaciones de carga con las fuerzas que se obtuvieron pero teniendo en cuenta que a la cubierta se reforzará con una placa de metal.

Al tener las fuerzas que ocasionaron las deformaciones podemos proceder de manera inversa, es decir, colocando las fuerzas en los nodos correspondientes se pueden obtener las deformaciones ocasionadas por estas fuerzas, para comprobar lo anterior se realizaron las simulaciones con diferentes calibres de lámina.

En la tabla 2 se muestran los resultados de las simulaciones con los diferentes calibres de lámina y sus respectivos valores de deformación.

CALIBRE	ESPESOR (mm)	DEFORMACION (mm)
19	1.061	0.03738
20	0.911	0.04740
21	0.835	0.05501
22	0.759	0.06525
23	0.683	0.07935
24	0.607	0.09914
25	0.530	0.12753
26	0.454	0.16917
27	0.416	0.19711
28	0.378	0.23491
29	0.342	0.27943
30	0.304	0.33818
31	0.266	0.41180
32	0.246	0.45744
33	0.228	0.50291

TABLA 2. Desplazamientos para diferentes calibres.

La figura 4.7 muestra el comportamiento que sigue la cubierta con los diferentes calibres y se observa que el comportamiento no es lineal.

Grafica desplazamiento deformación

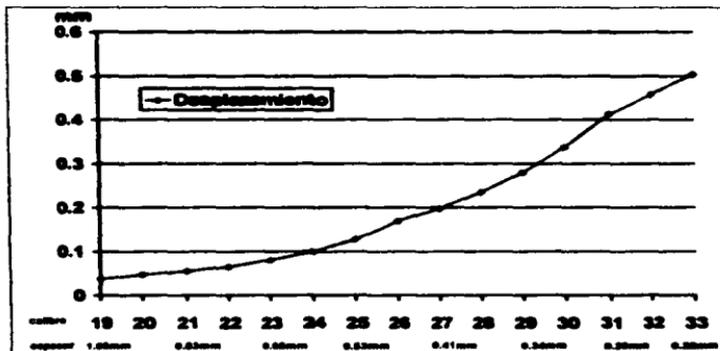


Figura 4.7

Con los resultados anteriores el fabricante de la pieza podrá tomar una decisión acerca de la deformación máxima que pueda presentarse en la pieza y elegir el calibre de la lámina que provocaría dicha deformación. En nuestro caso se sugeriría que se le pusiera la placa de lámina calibre 28 porque con ésta solo se deformaría un 5.2% lo que representa un valor muy bajo de deformación que sería difícil de percibir.

CONCLUSIONES

- Se logró disminuir la deformación en un 60% con solo modificar los parámetros de proceso, puesto que se tenían limitantes en cuanto a la modificación del molde.
- Cuando se presenta alguna falla siempre es conveniente realizar un análisis con el fin de determinar las causas que provocaron dicha falla, muchas veces el tomar decisiones precipitadas puede conducir a caminos equivocados que no dan una solución del problema, ocasionando pérdida de tiempo y de recursos.
- El programa Nisa fue de gran ayuda para poder adquirir información que no era fácil de percibir como es la forma en que se estaba propagando la deformación en la cubierta la cual fue de mucha ayuda para designar una área de estudio.
- La deformación que ocurre en la cubierta, en base al gradiente de temperatura a la que se expone, se debe al esfuerzo cortante generado durante el llenado de la cavidad, lo que provoca una marcada orientación del material, lo que induce esfuerzos residuales, que son liberados cuando se incrementa la temperatura provocando la deformación.

- Para eliminar el problema de la orientación se propone el incremento de temperatura en el material fundido a un valor de 295°C, incrementar la temperatura del molde a 60°C y dar un mayor recalque, en base a la segunda presión. Es necesario que la presión de inyección sea baja, de un valor de 16.251 Mpa.
- Se propone colocar un refuerzo de lamina calibre 28 en la región donde se presenta la deformación, el cual reduciría la deformación a tan solo 0.23491 mm.
- En el proceso de análisis de falla se debe tomar en cuenta la interacción que existe entre los mecanismos que pueden provocar la falla, sin embargo, en este trabajo se considera solamente el proceso de manufactura por las restricciones que se establecieron en las otras posibles áreas de estudio.
- El integrar los sistemas computacionales al análisis de falla resulta de gran ayuda ya que estos pueden facilitar el trabajo debido a que no es necesario estar trabajando bajo el método tradicional de prueba y error el cual ocasionaba gasto de material y tiempo innecesario.

REFERENCIAS

- [AF] Varios Autores, Curso de Análisis de Falla, Facultad de Ingeniería, Ciudad Universitaria, 1996
- [AP] Revista Automóvil Panamericano, Año I No. 7
- [CN] Hoechst Celanese Performans Products, Celanese Nylon 6/6, Editado por Hoechst Celanese, México 1992.
- [DP] Hoechst Celanese Performans Products, Fundamentos para el diseño con plásticos, Editado por Hoechst Celanese, México 1990.
Glenn L. Beall, Plastic Part Design For Economical Injection Molding, Editado por Hoechst Celanese Corporation Automotive Development Center, Auburn Hills, Michigan, 1983.
- [IM] Varios Autores, Inyección Molding Magazine publicado mensualmente por Abby Communications Incorporation, E. U. A., Noviembre 1993.
- [IP] Varios Autores, Inyección de Plásticos, Editado por IMPI, México.

[KP] Kennedy Peter., Flow Analysis Reference Manual. Published by Moldflow Pty. Ltd, Australia., 1993.

Colin Austin, Moldflow Design Principles. Published by Moldflow Pty. Ltd, Australia.

[MA] Manual del Propietario Cavalier 1997 General Motors.

[MJ] D.H. Morton Jones, Procesamiento de plásticos, Editorial Limusa S.A. de C.V. México, 1993.

[MB] Varios Autores, Micro Validator Manual, Brown & SharpeMfg, Co E.U.A. 1989.