



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA
DE MÉXICO**

FACULTAD DE INGENIERÍA

**DETERMINACIÓN DE CAUSAS DE LA
DEGRADACIÓN DE UN MÓDULO DEL
SISTEMA DE ENFRIAMIENTO DE UN
MOTOR DE COMBUSTIÓN INTERNA.**

T E S I S

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO

P R E S E N T A:

GUILLERMO TAPIA RAMÍREZ



DIRECTOR DE TESIS

DR. ARMANDO ORTIZ PRADO

ING. JORGE LUIS ROMERO HERNÁNDEZ

CD. UNIVERSITARIA

2010

Dedicado a:

Mi padre Roberto Tapia por su apoyo y paciencia en todo momento.

A mi madre Guadalupe Ramírez por el incondicional cariño y apoyo que me ha dado toda mi vida.

A mis hermanitas Guadalupe y Regina.

Al pequeño Diego Mateo por ser una gota de esperanza en este infernal desierto.

Sonríe, sonríe, que el mundo ríe.

Sonríe, sonríe, también la vida ríe.

Y mi vida es verte sonreír.

Con una sonrisa, tú puedes lograrlo.

Con una sonrisa, tus sueños serán una realidad.

No dejes de sonreír, cuando el camino es más oscuro.

No dejes de sonreír, la luz al final del laberinto esta cerca.

Y estaré esperando siempre por ti.

Tú sonrisa es la inspiración de cada triunfo; el sostén de cada derrota.

Tú sonrisa es el último lazo de fe y esperanza, que mantiene vivo mi corazón.

Tú sonrisa es el único sueño de mi vida; estar una vez más, juntos por una eternidad.

Y esperaré sólo para verte sonreír.

Ing. Jessica Andrea Urquizo Bimbrera

Agradecimientos

La elaboración de este trabajo estuvo bajo la dirección del Ingeniero Jorge Luis Romero Hernández a quien agradezco sus valiosos comentarios y sugerencias, así como el apoyo en la parte experimental, desarrollo de tesis, el manejo del microscopio de óptico y electrónico de barrido.

Al Dr. Armando Ortiz Prado a quien agradezco su invaluable aportación en experiencia y conocimientos para el desarrollo de esta tesis.

Al Ingeniero Francisco Sánchez Pérez por brindarme su amistad y apoyo incondicional para la culminación de esta tesis.

A mi mejor amiga la **Ing. Fabiola Parissi Ruiz** que en los momentos difíciles me brindó su apoyo, compañía, paciencia y comprensión. Gracias por ser la luz que guió mis pasos en los últimos años, los más complicados de mi estancia en la facultad.

“La luz de la luna guía mis pasos por el camino oscuro a mi triste destino... Todo el tiempo estuve equivocado, tuve que caer y perderlo todo, para darme cuenta de la verdad. Al final descubrí que tu linda sonrisa es la media luna que ilumina mi corazón, se libre, se feliz. MUCHAS GRACIAS AMIGA ”

A todos aquellos que cayeron y por distintas razones no pudieron seguir en este laberinto, a aquellos con los que compartí las aulas de estudio y mi amistad. A los que nunca se retiraron por miedo, sólo partieron para buscar su verdadera vocación, sólo recuerden que: *“Siempre hay una salida para cada laberinto, pase lo que pase nunca pierdan la esperanza”*.

A la UDIATEM (Unidad de Investigación y Asistencia Técnica en Materiales) por el espacio cedido y los recursos aportados.

A la UNAM por la excelente formación que me ha dado.

ÍNDICE

Prólogo	<i>i</i>
Capítulo 1. Antecedentes	1
Introducción	1
1.1 Sistemas de enfriamiento en motores de combustión interna	3
1.2 Partes que componen el sistema de enfriamiento	4
1.3 Funcionamiento del sistema de enfriamiento.....	6
1.3.1 Principales objetivos del sistema de enfriamiento	7
1.4 Problemas que presenta el sistema de enfriamiento.....	7
1.4.1 Sensor.....	8
1.4.2 Refrigerante.....	9
1.4.3 Válvula termostática.....	9
1.4.4 Carcasa del termostato	10
Capítulo 2. Plásticos de Ingeniería	12
Introducción.....	12
2.1 Características principales de las poliamidas	13
2.2 Clasificación de las poliamidas	14
2.2.1 Papel de los aditivos.....	16
2.3 Propiedades físicas y químicas de las poliamidas.....	18
2.3.1 Temperatura de transición vítrea T_g	18
2.3.2 Cristalinidad y comportamiento térmico.....	19
2.4 Fallas en poliamidas	21
2.4.1 Absorción de agua (Hidrólisis)	21
2.4.2 Degradación térmica	22
2.5 Nylon 6,6.....	22
2.6 Características del Nylon 6,6 con refuerzo de fibra de vidrio.....	23
Capítulo 3. Sistema de enfriamiento	25
Introducción.....	25
3.1 Fallas del sistema de enfriamiento	26
3.1.1 Termostato.....	28
3.1.2 Refrigerante.....	31
3.1.3 Sensor.....	31
3.2 Degradación del material polimérico	32
3.3 Problemática de la deformación y degradación de la carcasa	34

Capítulo 4. Caracterización Nylon 6,6 con refuerzo de fibra de vidrio.....	38
Introducción.....	38
4.1 Valoración microscópica.....	40
4.2 Análisis químico	43
4.2.1 Calorimetría de barrido diferencial	43
4.2.2 Análisis TERMOGRAVIMETRICO (TGA)	46
4.3 Metodología para el desarrollo de ensayos térmicos en la válvula termostática	52
4.3.1 Inspección de la válvula termostática sin restricciones	53
4.3.2 Examen preliminar del rango de temperaturas (VTSR)	53
4.3.3 Inspección de la válvula termostática con restricciones	54
4.3.4 Examen preliminar del rango de temperaturas (VTCR)	54
4.4 Metodología para el desarrollo de ensayos térmicos en la carcasa	55
4.4.1 Índice de absorción de agua	55
4.4.2 Medición del peso de las muestras	56
4.4.3 Valoración del porcentaje de absorción de agua	56
Capítulo 5. Análisis de Resultados	58
5.1 Análisis de la caracterización del Nylon 6,6 con 30% de refuerzo de fibra de vidrio	58
5.2 Ensayos térmicos en componentes del sistema de enfriamiento.....	61
5.2.1 Termostato.....	61
5.2.2 Carcasa y liquido refrigerante	62
Capítulo 6. Conclusiones.....	64
Anexo A Porosidad en el material.....	67
Anexo B Comparativo de propiedades de PA vs PPA	71
Anexo C Etapas de solidificación en el proceso de conformado de la carcasa....	72
Referencias	75

Prólogo

Las nuevas generaciones de diseños de la industria automotriz, en lo que se refiere a la innovación de tecnología y materiales ha encontrado en los polímeros una opción en cuanto a resistencia, versatilidad y bajo costo; ya que en muchos casos estos materiales suelen ser más prácticos en la elaboración de piezas automotrices, esto debido a la menor energía requerida para su procesamiento, tal es el caso de la inyección de plásticos. Así mismo, las propiedades físicas y mecánicas que presentan estos materiales suelen ser mejores a las que presentan algunos metales, como el hierro.

Un ejemplo de ello es la carcasa del termostato que en un principio se elaboraba de hierro colado y que con frecuencia presentaba signos de desgaste y corrosión, dada la aplicación para la cual se implementaba en el sistema de enfriamiento. En la actualidad se utiliza Nylon 6,6 con un refuerzo de fibra de vidrio, el cual aumenta sus propiedades mecánicas como material de uso ingenieril.

Sin embargo, las características que presentan estos materiales tienden con frecuencia a tener cambios en su estructura, debido a que las moléculas forman largas cadenas que con las condiciones de elevada temperatura y presión pueden romperse o generar cambios moleculares, considerando la aplicación para la cual son utilizadas.

El presente trabajo surge a partir de las fallas existentes en el sistema de enfriamiento de los motores de combustión interna, por lo que en el capítulo 5 se dan a conocer los aspectos generales de la degradación del material utilizado, el cual consiste en una base de polímero (PA 6,6 con refuerzo de fibra de vidrio), con el fin de optimizar su funcionamiento.

Así mismo, en el capítulo correspondiente a las conclusiones se determinan las causas que originan los patrones de degradación y deformación del material polimérico del sistema de enfriamiento, adicionalmente se proponen alternativas de solución al problema.

De lo anterior se plantean las siguientes hipótesis:

- La carcasa no soporta el incremento excesivo de temperaturas, debido a que las características del Nylon 6,6 con refuerzo de fibra de vidrio no son las pertinentes para las condiciones de elevada temperatura y presión que se tienen en el sistema.
- El flujo de la mezcla de líquido refrigerante y agua, dentro de las cavidades de la carcasa, genera un patrón turbulento por la geometría de la carcasa y la distribución tanto de entradas como de salidas a los distintos puntos del subsistema de enfriamiento, lo cual propicia fricción con las superficies inferiores, lo que genera un desgaste progresivo, así como la separación del refuerzo de fibra de vidrio.
- Las características geométricas y propiedades de la válvula termostática, son insuficientes para el buen desempeño dentro de la carcasa, esto debido a que las restricciones que presenta, pueden ser limitadas por el desgaste y la presencia de corrosión.
- El proceso de conformado de la carcasa durante su inyección puede ser inadecuado, dada la complejidad geométrica que tiene la pieza.

A partir de estos cuestionamientos, el desarrollo del presente trabajo consta de seis capítulos:

En el primer capítulo, se presentan antecedentes, describiendo las características del sistema de enfriamiento en los motores de combustión interna. De igual forma se dan los aspectos generales de las fallas existentes en los elementos que componen el sistema, tales como el sensor de temperatura, el termostato y el líquido refrigerante, así como la carcasa.

En el segundo capítulo, se abordan las características y propiedades, tanto físicas como químicas de las poliamidas de uso en ingeniería, así como los factores que influyen en el desempeño de estos materiales y el fenómeno de la absorción del líquido refrigerante como factor de falla, propiciando la degradación del Nylon 6,6.

En el tercer capítulo, se plantea la problemática existente en la carcasa, sensor, termostato y líquido refrigerante. En este apartado, se describen las condiciones de degradación y deformación a la que está sujeta la carcasa como elemento principal de estudio, mostrando con detalle las fallas presentes en el sistema de enfriamiento.

En el cuarto capítulo, se analiza la composición de la carcasa por medio de una caracterización del Nylon 6,6, en la cual se realizan estudios especializados de Análisis Químicos, Valoración Microscópica y Ensayos Térmicos, que permitan determinar las anomalías que presentan las distintas carcasas, utilizadas en la valoración de este trabajo.

En el quinto capítulo, se procede al análisis de resultados obtenidos en cada uno de los estudios del apartado anterior, lo que permite en primera instancia, descartar alguno de los elementos considerados en la valoración.

Por último, en el capítulo de conclusiones, se comentan las fallas que presenta el sistema de enfriamiento, la influencia que tienen los componentes del sistema (sensor y termostato), y agentes externos (líquido refrigerante) para su adecuada operación; y las probables alternativas para elección de un material polimérico adecuado a las necesidades del fabricante.

Finalmente, se espera que el presente trabajo sea una aportación al campo de la selección y evaluación de materiales poliméricos orientados a aplicaciones de carácter ingenieril, es decir, de resistencia a condiciones severas de operación (presión, temperatura, sollicitaciones mecánicas, estabilidad química, etc.). Así mismo, ya en el caso particular que aborda el presente trabajo, se espera que permita optimizar la operación del sistema de enfriamiento en los motores de combustión interna que cuenten con estos dispositivos poliméricos.

Capítulo 1

Antecedentes

Introducción

Desde la aparición de los autotransportes como medio de transporte, comenzando con los vehículos de vapor hasta los primeros automóviles que emplearon motores de combustión interna, ha surgido la necesidad de generar la potencia suficiente en éstos, para poder desplazar objetos pesados a largas distancias en el menor tiempo posible, teniendo distintos factores que afectan su funcionamiento. Tal es el caso del exceso de calor que se genera de la quema de combustible fósil y el desgaste de sus componentes. En el primer caso, se debe recordar que, del total de energía derivada del combustible, sólo el 25% se transforma en trabajo mecánico, mientras que el 75% restante se transforma en energía calorífica, la cual se transmite directamente a los componentes, afectando su desempeño y acelerando su deterioro.

Existen diversos tipos de motores de combustión interna, pero los principales son:

El motor de encendido por compresión: El cual utiliza el calor de un proceso de combustión para impulsar un pistón, pero en el que no se necesita chispa. En lugar de ello, el combustible vaporizado, se inyecta y entra en contacto con aire calentado hasta una temperatura suficiente para que aquél encienda por sí mismo.

El motor de encendido por chispa: En éste tipo de motor (figura 1.1), el combustible vaporizado y mezclado con aire, entra en ignición por medio de una chispa eléctrica. La expansión de los gases causada por el calor de la combustión impele a un pistón que realiza el trabajo para el movimiento.

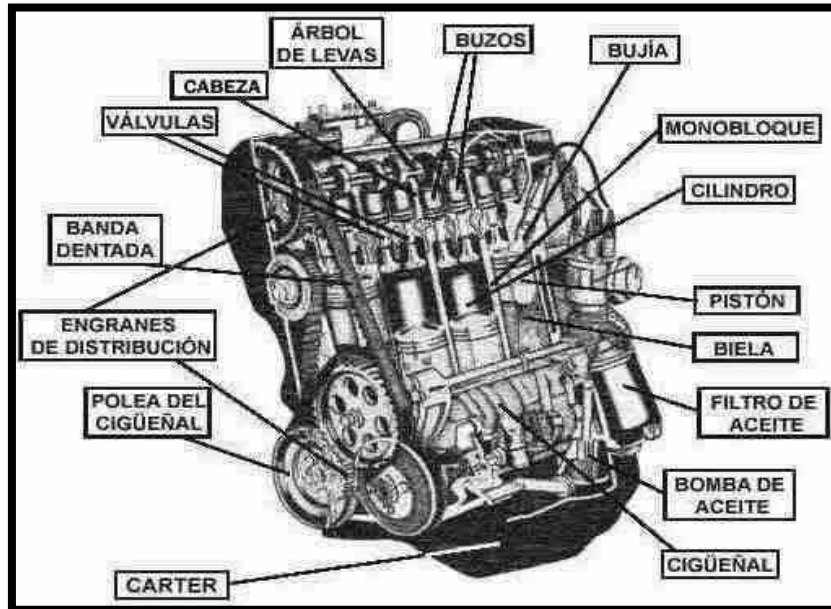


Figura 1.1 Motor de combustión interna [1].

En cualquiera de los dos casos es necesario contar con un sistema de enfriamiento eficiente, el cual permita un funcionamiento óptimo del motor. Los sistemas de enfriamiento se clasifican generalmente de acuerdo al tipo de elemento utilizado para enfriar el motor. En algunos casos es un líquido refrigerante y en otros es aire.

En los casos en los que el sistema maneja aire como elemento refrigerante como el que se muestra en la figura 1.2, donde se observa el paso del flujo por el interior del sistema, éste requiere grandes cantidades de este elemento para enfriar al motor, por lo cual su uso está restringido a motores pequeños o en condiciones específicas.

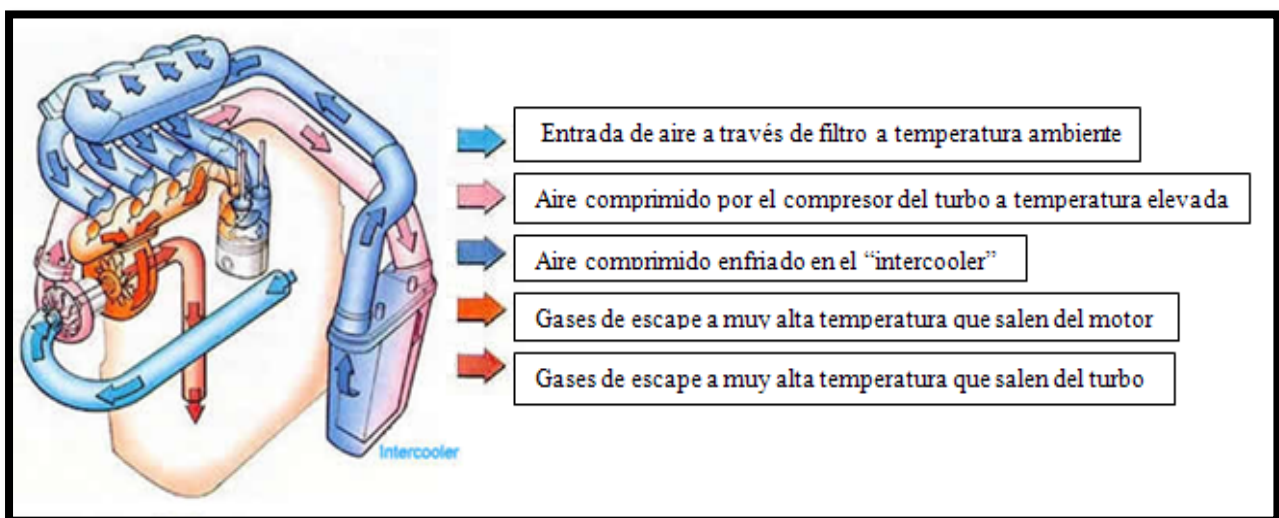


Figura 1.2 Sistema de enfriamiento con aire como elemento refrigerante [2].

Estos sistemas son confiables, debido a que regularmente no presentan fugas, pero no son tan eficientes como los que utilizan una sustancia líquida. El uso del líquido refrigerante proporciona un control de la temperatura en los cilindros y en la cámara de combustión, además de ser fácil de manejar para su integración al sistema de enfriamiento. En la figura 1.3, se aprecian los componentes que integran el sistema.

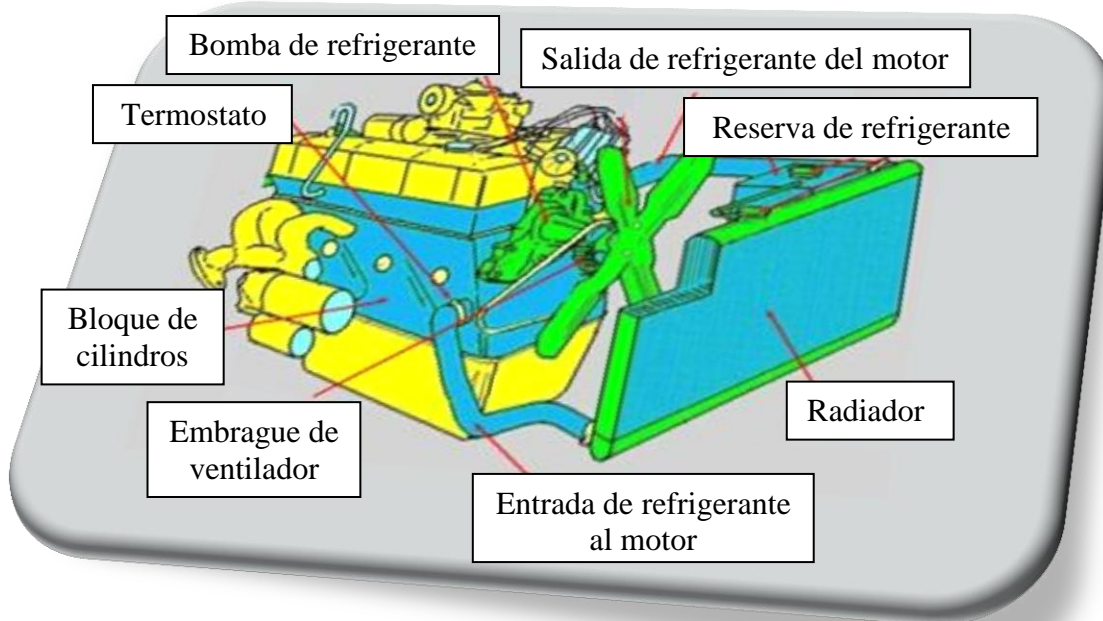


Figura 1.3 El termostato se encuentra como elemento del motor.

No obstante, en algunas partes del sistema presentan detrimentos o averías, por ejemplo, daños causados por cavitación debido a las condiciones extremas de operación y por un mantenimiento inadecuado, lo cual lleva a un deterioro progresivo hasta la falla parcial o total. Para el desarrollo del presente estudio, se considera al subsistema formado por el termostato, refrigerante y la carcasa de la válvula termostática, como principales elementos de estudio en el fenómeno de degradación.

1.1 Sistemas de enfriamiento en motores de combustión interna

Una de las preocupaciones en la industria automotriz es mantener el funcionamiento de los motores de combustión interna en un régimen de temperatura, debido a las características de diseño y operación, el sistema de refrigeración, debe soportar temperaturas de poco más de 120[°C].

Un motor que comienza su operación, es decir en frío, tiene un menor rendimiento mecánico en comparación a uno con cierta temperatura (caliente). Considerando lo anterior, se debe tomar en cuenta que si se presenta un incremento indefinido de esta temperatura, se puede poner en riesgo la estabilidad de los materiales de las piezas involucradas, lo cual, en el caso del refrigerante, genera una pérdida paulatina de las propiedades y el rápido deterioro de alguno de los componentes del sistema de enfriamiento.

La función del sistema de enfriamiento es regular la temperatura en las partes críticas del motor, además de protegerlas. El Sistema de enfriamiento está diseñado para mantener una temperatura homogénea entre 82 y 113[°C]. En la figura 1.4, se muestra el sistema de enfriamiento con elementos básicos de operación.

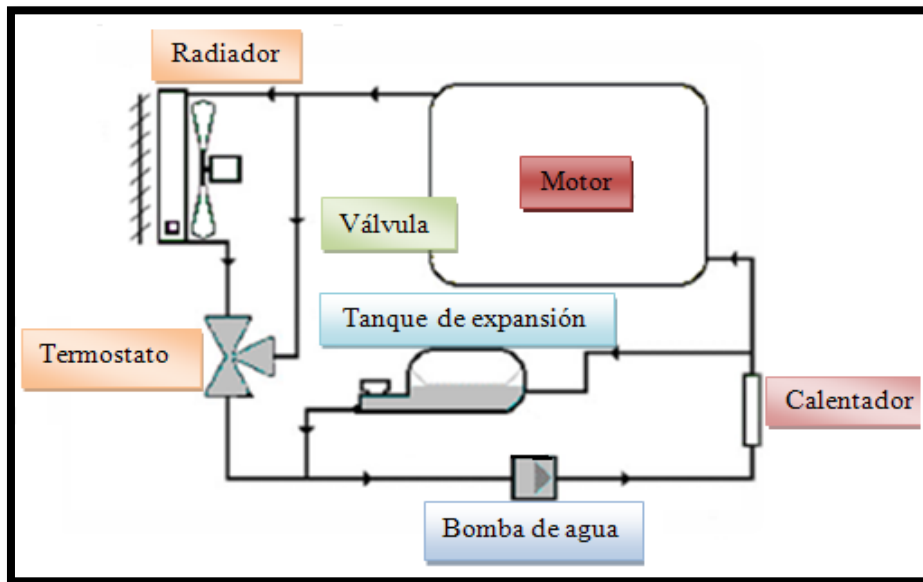


Figura 1.4 Sistema de Enfriamiento del Motor

1.2 Partes que componen el sistema de enfriamiento

Las partes principales del sistema de enfriamiento del motor son:

- Termostato: Es un regulador de temperatura, el cual ayuda a conservar la temperatura del refrigerante y del motor durante el tiempo de operación. Éste se abre y se cierra a medida que cambia la temperatura de trabajo.

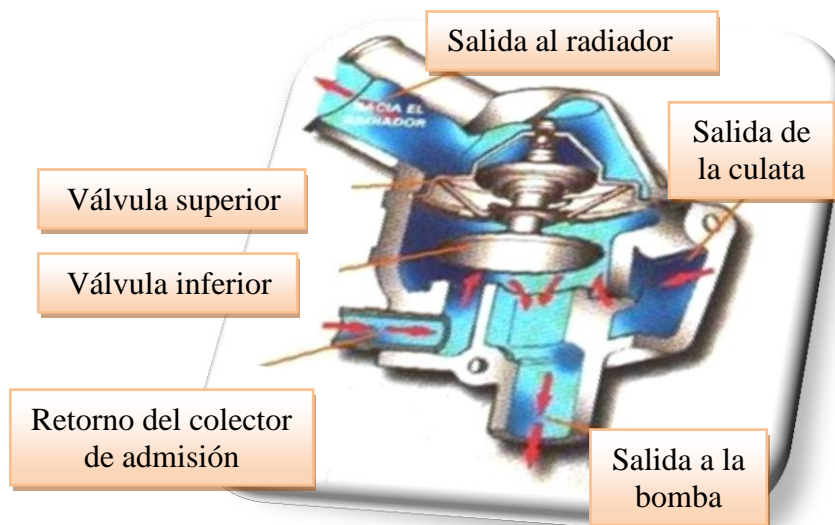


Figura 1.5 Termostato [3].

- Radiador: Es el elemento donde se produce el enfriamiento o evacuación del calor del líquido refrigerante. Va colocado normalmente en la parte delantera del vehículo y suele estar protegido por una parrilla.

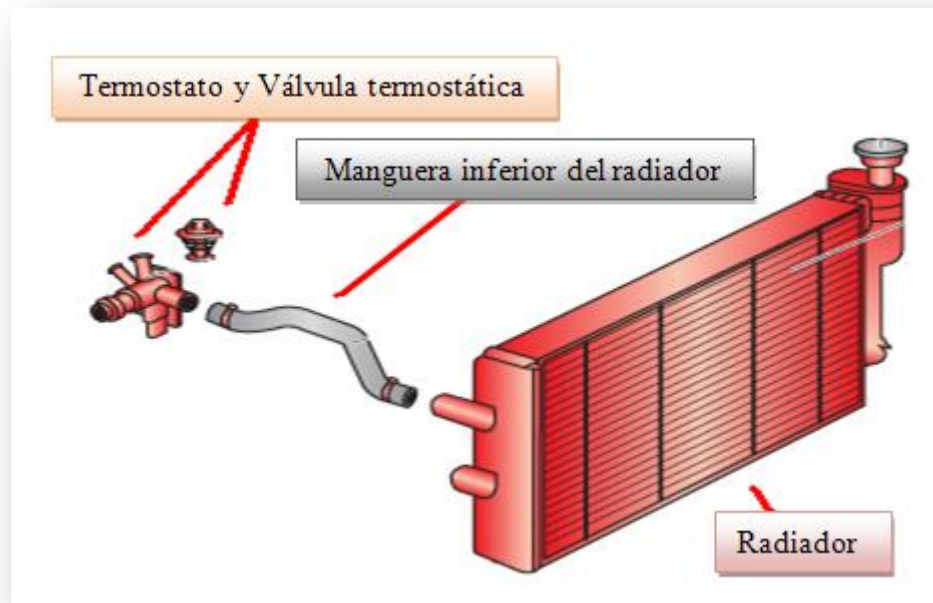


Figura 1.6 Radiador.

- Mangueras: El refrigerante va desde el radiador hasta el motor a través de una serie de mangueras fuertes y flexibles que puedan tolerar la vibración del motor y el calor intenso.
- Bomba de agua: Es un mecanismo que mantiene el flujo del refrigerante dentro del motor, mientras esté funcionando
- Ventilador: Se encuentra en la parte delantera del motor, se encarga de disipar el calor del radiador.



1.7 Ventilador.

- Depósito recuperador: Sirve para guardar el refrigerante, además de ser respiración del sistema de enfriamiento, ya que cuando el sistema alcanza una presión crítica, éste la libera hacia el depósito, por lo que a veces se observa que se incrementa el volumen de refrigerante dentro de éste.

1.3 Funcionamiento del sistema de enfriamiento

Las conexiones del sistema de enfriamiento con la camisa de la línea de los cilindros se muestran en la siguiente figura 1.8.

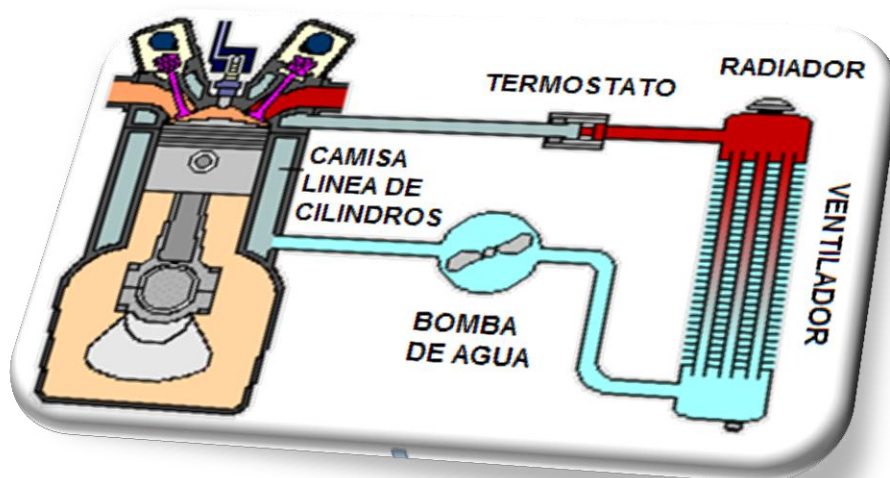


Figura 1.8 Sistema de enfriamiento [4].

Justo donde una banda está acoplada a la polea del cigüeñal y mueve la polea de la bomba de agua, la cual a su vez provoca el movimiento del líquido refrigerante del motor hacia el radiador, en éste, se hace pasar una corriente de aire generada por el ventilador.

La cantidad de aire introducida se determina por la posición de las mamparas controladas por el termostato, una vez que son enfriados los cilindros, parte del aire se hace pasar hacia un radiador el cual contiene el aceite lubricante para bajar su temperatura.

El aire caliente es desechado del motor a través de unas rejillas y se vuelve a introducir aire fresco para iniciar el ciclo. El líquido que entra al motor transfiere parte del calor generado en la cámara de combustión removiéndolo de la parte superior del cilindro, de las válvulas de admisión y de escape, y del mismo cilindro a través de las camisas que lo envuelven y que forman parte del monoblock. Este líquido caliente es impulsado por la bomba de agua y enviado hacia el radiador pasando por el termostato concluyendo así el ciclo.

Cuando el motor está por debajo de la temperatura de operación, el termostato bloquea el flujo de agua hacia el radiador, el cual circula por las camisas de agua para mantener la temperatura de manera homogénea hasta un nivel adecuado de operación.

1.3.1 Intercambio de calor en el sistema de enfriamiento

El sistema de enfriamiento se encarga de reducir la temperatura dentro de los rangos seguros de operación para los diferentes componentes, tanto exteriores como interiores del motor y de esta forma disminuir el desgaste de las partes y así poder mantener una temperatura óptima para un mejor desempeño del motor.

El sistema cuenta con el líquido refrigerante, que es la sustancia encargada de evitar un incremento de calor, tomando en consideración que la temperatura es directamente proporcional a la presión, es decir, que con el incremento de la temperatura se eleva la presión en el entorno.

Las fallas por el intercambio de calor, se producen con regularidad por el efecto térmico de la convección de calor; que es la transferencia de calor entre partes relativas calientes y frías de un fluido por medio de la mezcla.

Físicamente, entendido como una difusión de energía debida a un movimiento molecular aleatorio más una transferencia de energía debida a un movimiento en todo el volumen^[5], que se da entre las partes que componen el sistema (mangueras, depósito, termostato, radiador).

Por lo anterior, se debe mantener la consistencia de la mezcla refrigerante en estado líquido evitando su evaporación con los cambios de temperatura, presentes en todo el sistema de enfriamiento, incluyendo al motor.

La base de prácticamente todos los anticongelantes es el etilenglicol o el propilenglicol. La cantidad de mezcla recomendada por los proveedores es regularmente de 50% de anticongelante y 50% agua, en áreas muy frías la mezcla puede ser más concentrada pero el límite es 67% (2/3 de anticongelante y 1/3 de agua).

1.4 Problemas que presenta el sistema de enfriamiento

Los problemas presentes en un sistema de enfriamiento generalmente son debidos al exceso de temperatura, producida en algunos casos por efecto térmico de la conducción de calor.

Principalmente se genera en el entorno del motor y entre los componentes del subsistema de enfriamiento. Esto conlleva a una disminución paulatina en las propiedades del líquido refrigerante al tener un aumento considerable de calor en el sistema y genera daños graduales en los componentes, tal es el caso del termostato (figura 1.9).

Dicho elemento era elaborado generalmente de fundición de hierro y dadas las condiciones de operación a las que se encuentra sometido, presenta daños por la oxidación; aunado a las incrustaciones y sedimentaciones.



Figura 1.9 Termostato elaborado de fundición de hierro.

- **Corrosión:** El grado de corrosión está influenciado por la presencia en el medio de algunos iones de metales pesados y la evaluación de los efectos de estos factores, que regularmente vienen mezclados en el agua.
- **Electrólisis:** Es un efecto de separación de elementos que forman un compuesto aplicando electricidad, se produce en primer lugar la descomposición en iones, seguido de diversos efectos o reacciones secundarios según los casos concretos.
- **Incrustaciones:** Este tipo de impurezas reduce la eficiencia en la transferencia de calor, provocado por paros innecesarios por mantenimiento correctivo, lo que conlleva gastos en mano de obra y en desincrustantes químicos o mecánicos.

La presencia de incrustaciones es causada por las sales de calcio y magnesio presentes en mayor o menor grado en todas las fuentes del agua.

1.4.1 Sensor

En la actualidad los automóviles están dotados de dispositivos electrónicos, tal como la computadora (o módulo de control). La función de este dispositivo es la de monitorear y corregir la operación del motor, haciendo uso de sensores y actuadores.

En el caso del sensor de temperatura, cuando no se alcanza la temperatura especificada por el fabricante, la computadora se mantiene con el circuito abierto y el motor sigue funcionando con el programa de funcionamiento en frío, dando como consecuencia un consumo excesivo de gasolina.

El motor requiere mantener una temperatura adecuada para un óptimo rendimiento; los sensores necesitan sentir la temperatura que está en el medio, de lo contrario la computadora omite el funcionamiento de algunos de sus actuadores, causando fallas, en algunos casos de graves consecuencias.

Cuando el motor no tiene un termostato instalado, el agua o líquido refrigerante, se mantiene circulando o corriendo dentro del circuito, impulsado por la bomba de agua; lo que convierte en ilógica la ubicación de ciertos sensores, colocados en la parte interna del circuito, del lado del motor después del termostato; ya que la temperatura del agua circulando no alcanzara los grados suficientes para motivar su variación de señal.

1.4.2 Refrigerante

El refrigerante es elaborado a base de aditivos inhibidores, necesarios para evitar el picado y la corrosión de revestimientos, y la acumulación de óxido en los componentes del sistema de enfriamiento.

Los aditivos tienen una fórmula química diseñada para proteger todos los metales que están en contacto con el refrigerante, controlar y retrasar las reacciones químicas del líquido refrigerante, además de ser 100% compatible y soluble tanto en etilenglicol, como en agua.

El refrigerante sufre degradación en determinadas condiciones de operación del sistema. Los sistemas de enfriamiento de los motores requieren de un mantenimiento periódico para poder continuar funcionando correctamente. Estas revisiones varían desde comprobar el nivel de fluido de enfriamiento e inspeccionar las bandas y mangueras, hasta el reemplazo del refrigerante. Los sistemas de enfriamiento que reciben un mantenimiento adecuado brindan normalmente una operación adecuada.

1.4.3 Válvula termostática

El termostato es el encargado de regular el flujo del líquido refrigerante (figura 1.10); se encuentra alojado regularmente en el cuello de la carcasa, o en la estructura del motor; la cual se conecta a la manguera superior que proviene del radiador. En otros casos viene instalada en la manguera que conecta la parte inferior del radiador.

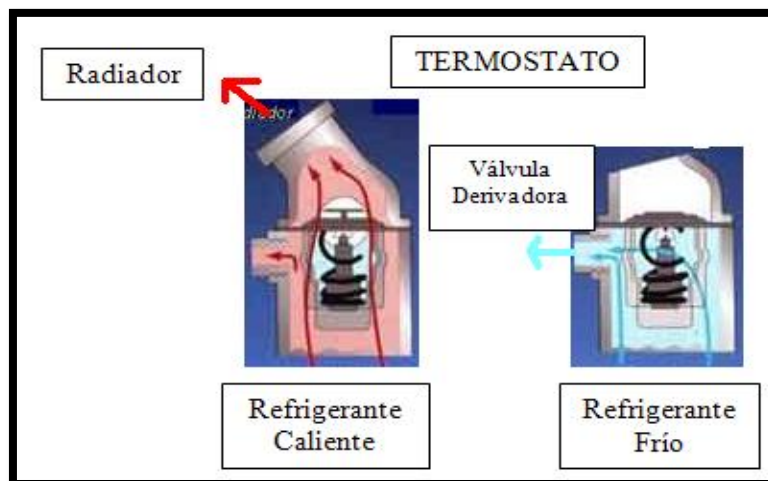


Figura 1.10 Válvula termostática distribución de flujo en caliente y en frío.

Algunos termostatos traen un pequeño agujero, que permite aligerar la presión dentro del motor. Este agujero por lo general obliga a que el termostato se instale, haciendo que el agujero, siempre quede hacia la parte de arriba.

En otros casos, el termostato se aloja a un lado del motor y es instalado en la parte desprendible, conectado a la manguera del bypass, en el frente del motor.

El termostato cierra el flujo de agua hacia el motor mientras éste, está frío. Si el termostato se pega en posición cerrada, corre peligro el motor al sobrecalentarse; y si se pega en posición abierta, aumentara el consumo de combustible. El ventilador eléctrico, es controlado por un interruptor térmico, el cual lo hace trabajar cuando la temperatura del agua, excede la tolerancia de funcionamiento del motor.

1.4.4 Carcasa del termostato

El módulo del sistema de enfriamiento (carcasa) era tradicionalmente fabricado de metal mediante fundición. Sin embargo, con el desarrollo de materiales alternativos, se contemplaron las virtudes de los materiales poliméricos con excelentes propiedades mecánicas, factibilidad de conformado y su bajo costo; si a esto se le agrega la ventaja de utilizar refuerzos en su estructura, tal como la fibra de vidrio, el resultado es un material con las propiedades mecánicas comparables a las de los materiales metálicos tradicionales, con una reducción considerable en el peso y el costo del componente.

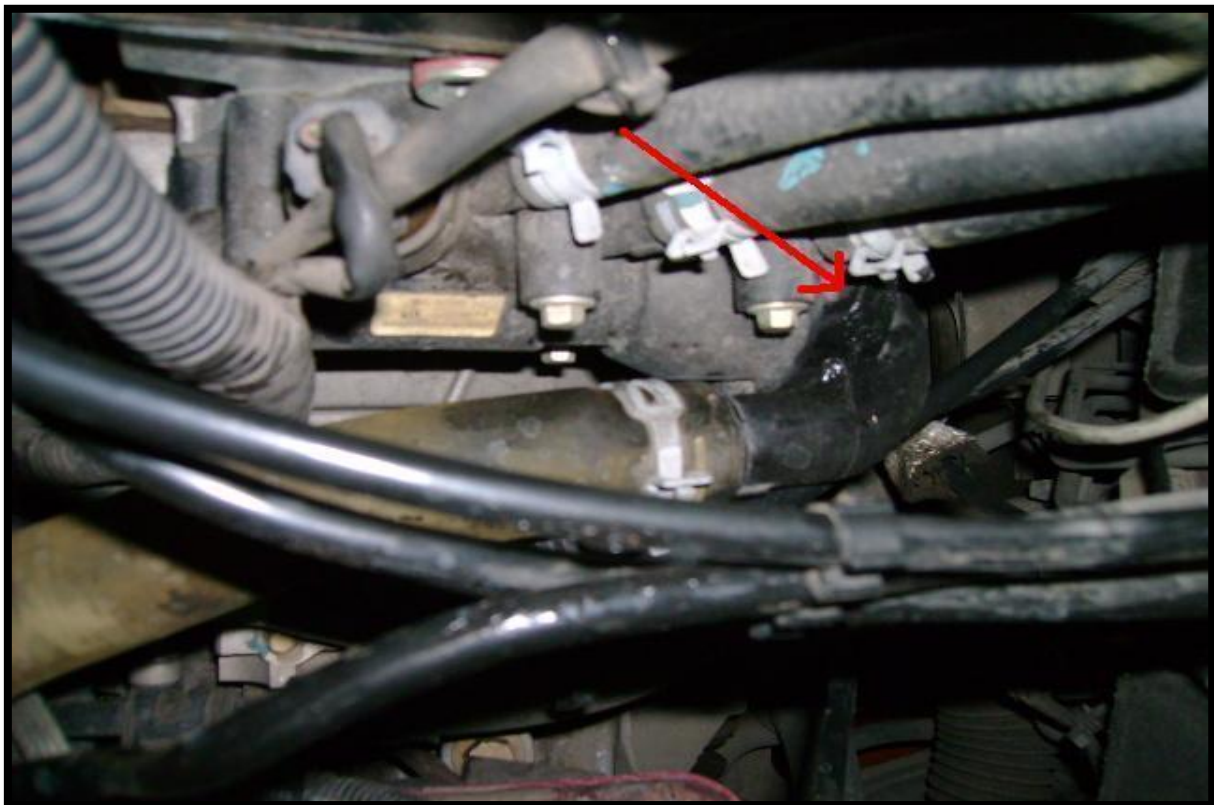


Figura 1.11 Daño en la carcasa por la alta temperatura.

En la figura 1.11, se muestra una carcasa que muestra falla en la parte del conducto del suministro del líquido refrigerante, debido a condiciones extremas de operación o por un mantenimiento inadecuado, lo cual lleva a un deterioro progresivo hasta la falla total.

En la figura 1.12, se observa un termostato integrado a un costado de un motor, en el cual se muestran rasgos de erosión e incrustaciones en el conducto del suministro del líquido refrigerante, de igual manera se observa en una salida de la carcasa del termostato con muestras visibles de deterioro e incrustaciones por las altas temperaturas.



Figura 1.12 Carcasa con deterioro debida a la presencia del efecto de cavitación.

Estas carcasas presentan daños por la elevada temperatura y los residuos que generan una mala proporción del líquido refrigerante, es por esta razón que surge la necesidad de implementar nuevos materiales dentro de la industria, los cuales permitan un mejor rendimiento del sistema, tal es el caso de los plásticos de ingeniería, estos tienen condiciones y propiedades similares a los metales pero con un menor costo en su producción en masa y un rendimiento óptimo en condiciones de desgaste, y alta temperatura.

Capítulo 2

Poliamidas en la Ingeniería

Introducción

La innovación y las nuevas tecnologías en épocas recientes han surgido a partir de la necesidad de optimizar el rendimiento de los componentes de ingeniería, tal es el caso de los plásticos de ingeniería utilizados en la industria para elaborar componentes, dispositivos y piezas motrices, las cuales permiten una mejor resistencia y un menor costo en producción en masa, como las tapas del motor, el tanque de combustible o el monoblock del motor, carcasa de la válvula termostática, mangueras entre otros, tal como se muestra en la figura 2.1.



Figura 2.1 Vehículo en su mayor parte sus componentes son elaborados con materiales poliméricos [6].

El moldeo por inyección de plásticos similar al moldeo por coquilla utilizado en los metales y es el utilizado para los termoplásticos. El polímero granulado se funde dando un líquido viscoso, que mediante un émbolo que se inyecta a través de una boquilla hacia una cavidad (molde), y se mantiene la presión hasta que la masa ha solidificado. Finalmente, se abre el molde, se retira la pieza, se cierra el molde y se vuelve a repetir el ciclo. Estos procesos son muy utilizados porque tienen una gran velocidad de procesado.

POLIAMIDAS: (Nylon) Tienen buena resistencia mecánica y a la abrasión, y bajo coeficiente de fricción. Se usa para telas, cojinetes no lubricados, piezas de alto impacto que requieren resistencia y rigidez, velocímetros, limpia parabrisas. Reforzado con vidrio se utiliza en aspas de motor, y tapaderas de válvulas. Se utiliza en embalajes, soportes de antena, aislamiento de alambres, palanca de velocidades (figura 2.2) etc.

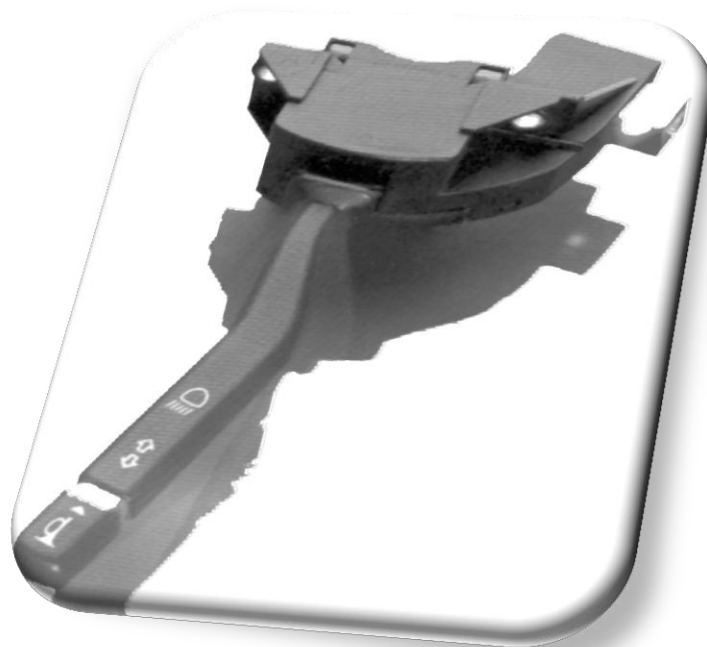


Figura 2.2 Palanca para accionar las direccionales de un vehículo fabricada en Nylon [7].

Son de uso recurrente en la industria automotriz por la facilidad de moldeo por inyección, además de tener propiedades adicionales al agregarles algún refuerzo, como la fibra de vidrio.

2.1 Características principales de las poliamidas

Las poliamidas están constituidas por enormes moléculas, llamadas macromoléculas. Las macromoléculas son moléculas que se forman a partir de unidades moleculares más simples llamadas monómeros, los que se unen mediante enlaces covalentes.

El benceno y el etileno (figura 2.3), son moléculas sencillas que constituyen el punto de partida de los compuestos que forman las poliamidas. Se pueden distinguir dos grandes métodos de polimerización: por adición y por condensación.

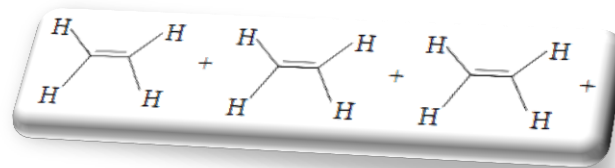


Figura 2.3 El monómero del etileno.

La polimerización por adición se genera por una partícula reactiva (radical, anión o catión), a partir de una molécula de monómero y está se adiciona a otro monómero de manera repetitiva.

El proceso global es complicado y obviamente no todas las cadenas tienen la misma longitud, esto define el índice de dispersión que es característico de cada polímero y que define la diferencia entre el grado de polimerización de las diferentes cadenas (respecto a la longitud promedio). Establecer las condiciones de polimerización y el tipo de iniciador no es inmediato.

La polimerización por condensación exige moléculas distintas o al menos grupos funcionales diferentes, en cantidades estequiométricas. Se suele generar subproducto durante la polimerización, normalmente agua. No suele haber iniciadores y se termina el crecimiento mediante moléculas mono-funcionales que no permiten proseguir la reacción. Tal es el caso de la familia de Poliamidas (diaminas y diácidos) que se obtienen mediante este proceso^[8].

2.2 Clasificación de las poliamidas

Las poliamidas pueden ser naturales o sintéticas y dentro de cada uno de estos grupos se pueden establecer diferentes tipos dependiendo de su composición. Aunque pueden agruparse desde varios puntos de vista. Teniendo en mente los distintos tipos existentes, se menciona a continuación algunos de los más importantes en la vida diaria.

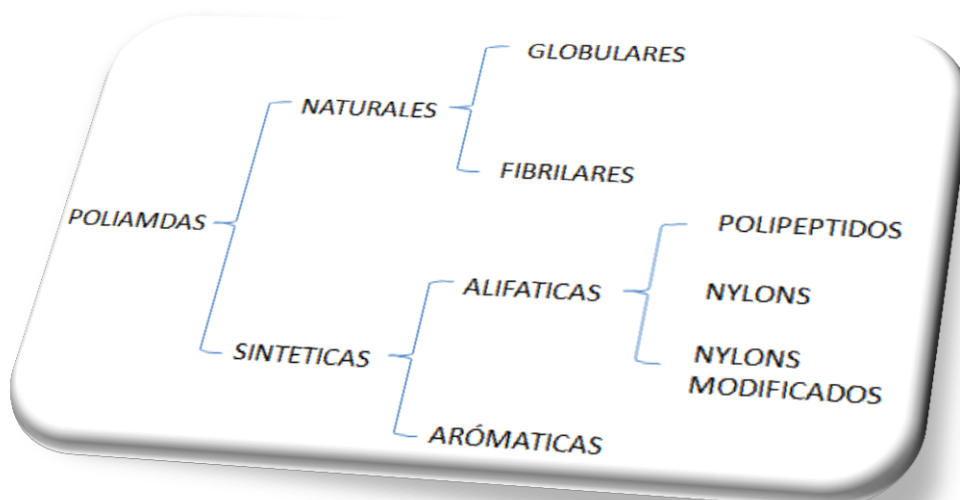


Figura 2.4 Clasificación de poliamidas

Los Nylons se pueden obtener a partir de la condensación de ω -aminoácidos –Nylons n - o por polimerización de diácidos y diaminas –Nylons m,n -^[9]. Las unidades estructurales de ambos tipos de Nylons son los siguientes:

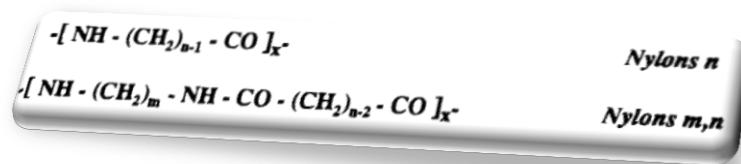


Figura 2.5 Composición química de Nylons n y Nylons m,n ¹

Dentro del grupo de los Nylons se puede considerar la polimerización de dos monómeros distintos dando lugar a copolímeros. Estos copolímeros dependiendo de cómo estén situados ambos monómeros pueden ser secuenciales y estadísticos.

También pueden establecerse otras disposiciones como son: al azar, de forma periódica, en bloques, o con uno de los monómeros unido como cadena lateral al monómero que hace de cadena principal. Un copolímero secuencial, formado por los monómeros A y B, se nombrará como A/B. Si el copolímero es estadístico se indicara además, entre paréntesis, el porcentaje molar de A y B, respectivamente^[10].

Casos particulares de los Nylons m,n son los Nylons $1, n$ y los Nylons $n, 3$, ambos caracterizados también por tener un grupo metileno aislado entre dos grupos amida.

Los Nylons modificados (figura 2.6), son poliamidas en las que se ha introducido alguna modificación en su composición, lo que da lugar a polímeros con características particulares como puede ser biocompatibilidad y biodegradación.

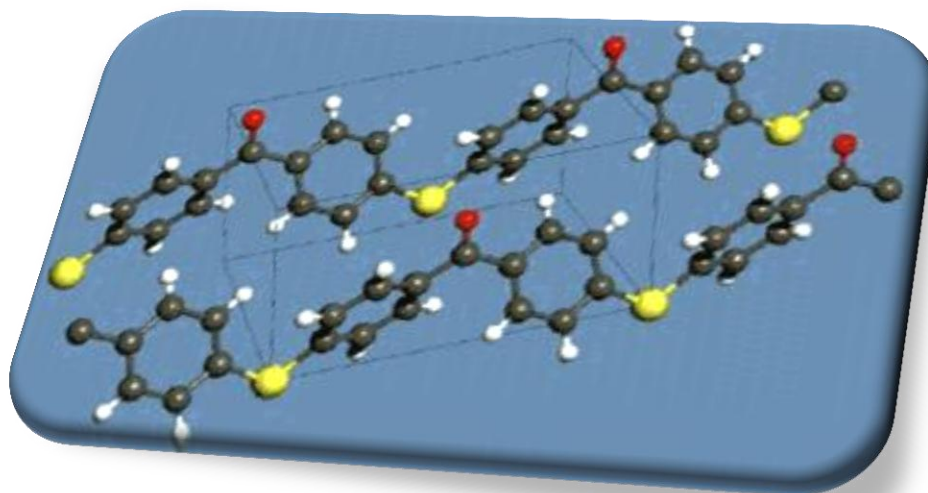


Figura 2.6 Cadena polimérica del Nylon [11].

¹**Nota:** Donde n es el número de átomos de carbono del aminoácido; y donde m es el número de carbonos de la diamina y n el número de carbonos del ácido dibásico.

En las poliamidas sintéticas se combinan zonas cristalinas de alta atracción molecular y zonas amorfas, que confieren al polímero una gran flexibilidad. Existe una gran cantidad en serie de variables estructurales que pueden afectar considerablemente a las propiedades de este tipo de poliamidas: la distancia entre los grupos amida, el número y la paridad de grupos metileno en los monómeros, el peso molecular y la copolimerización.

La existencia de puentes de hidrógeno proporciona un alto grado de cristalinidad, que se pone de manifiesto en una alta y claramente definida temperatura de fusión, y en una elevada resistencia a la tracción, tanto mayores ambas, cuanto mayor número de grupos amida existan, a igual número de átomos totales de carbono. Sin embargo, por encima del punto de fusión, la viscosidad del material fundido es baja debido a la flexibilidad del polímero y a su relativamente bajo peso molecular.

Las poliamidas sintéticas de mayor uso y aplicación son las poliamidas (PA6; PA6,6).

Tabla 2.1 Estructura química de las poliamidas.

	POLIAMIDAS	[-R-NHCO-R'-]	H₂N-R-NH₂	
		diácido + diamina	HOOC-R'-COOH	
PA6	Poliamida: Nylon 6 caprolactama	[-NH(CH₂)₅CO-]	NH₂-(CH₂)₅-COOH	
PA6.6	Poliamida: Nylon 6,6	[-NH(CH₂)₆NH-CO-(CH₂)₄-CO-] diácido + diamina	NH₂(CH₂)₆NH₂ COOH-(CH₂)₄-COOH adipico+hexametilendia	GP 150-300
PET	Polietilen tereftalato	[-CH₂-CH₂-OOC-φ-COO-]	OH-CH₂-CH₂-OH COOH-φ-COOH	
PC	Policarbonato	[-φ-C(CH₃)₂-φ-OCOO-]		
Kevlar49	Poliaramida	Poliamida aromática		

Otra aplicación de las poliamidas sintéticas es como recubrimiento de piezas metálicas; estos recubrimientos tienen casi siempre el sentido protector frente a agentes químicos o ambientales, por ejemplo es muy habitual en piezas de barcos para protegerlas del ataque salino.

2.2.1 Papel de los aditivos

Se llama aditivo en la industria de los plásticos, a cualquier sustancia que mejore las propiedades físicas, químicas o mecánicas de un polímero o que reduzca sus costos en producción en masa.

Se clasifican a su vez en dos grandes grupos:

- a) aditivos ayudantes del procesado.
- b) aditivos modificadores de las propiedades del producto (entre estos últimos se encuentran los plastificantes, refuerzos y estabilizadores).

Refuerzos: se adicionan a los polímeros para aumentar la resistencia a la tracción, a la compresión, a la abrasión, la tenacidad y la estabilidad térmica, y dimensional. Se puede utilizar sílice, arena, vidrio, arcilla, talco, caliza e incluso otros polímeros sintéticos finamente pulverizados.

Plastificantes: mejoran la flexibilidad, ductilidad y tenacidad de los polímeros. Su presencia reduce la dureza y fragilidad. Los plastificantes suelen tener baja presión de vapor y bajo peso molecular. Estas pequeñas cadenas se sitúan entre las grandes del polímero y reducen las interacciones intermoleculares (enlaces secundarios).

Estabilizantes: evitan que algunos polímeros se degraden en las condiciones de operación, generalmente por integridad mecánica, exposición a la luz (especialmente UV) y también debido a la oxidación. Son variados y dependen del polímero a estabilizar y la propiedad que se necesita proteger.

Los aditivos ayudantes del procesado cumplen dos funciones básicas:

- i) Facilitar el flujo del plástico fundido, evitando su adherencia al molde.
- ii) Evitar la degradación térmica y oxidante del polímero durante el proceso de transformación durante el cual se somete a altas temperaturas (conocidos como estabilizantes).

Un uso importante de los polímeros es como adhesivos o pegamentos. Hay varios tipos de adhesivos que se pueden elegir en función de la temperatura de trabajo, tiempo de curado, resistencia que se requiere, etc.

La temperatura es uno de los parámetros primordiales ya que el polímero adhesivo nunca debe usar se a $T > T_g$. El endurecimiento del polímero puede ser causado por diferentes factores como:

- 1) *Enfriamiento* (como las poliamidas) que se aplican a alta temperatura y estos polímeros termoplásticos (en estado fundido al ser aplicados) cuando baja la temperatura, solidifican y unen los materiales o piezas que se desean.
- 2) *Evaporación* en la que se aplica la mezcla disolvente volátil y polímero (encolado) y al quedar el residuo polimérico sin disolvente hace de unión.

2.3 Propiedades físicas y químicas de las poliamidas

Entre estas propiedades pueden citarse: la viscosidad (fundido), dureza, temperatura de fusión, resistencia al impacto, elasticidad, resistencia a la tensión, flexibilidad.

La energía interna mantiene a los átomos vibrando y girando alrededor de sus enlaces químicos, si la energía es suficiente, segmentos enteros de las macromoléculas también se moverán, cambiando de posición en el espacio.

La dependencia de la frecuencia es con respecto al movimiento de las moléculas a la temperatura de transición que se observa en la gráfica de la figura 2.7. En ésta, se expresa la ecuación de Williams-Landel-Ferry^[12], cuya representación indica la correlación existente con la temperatura de transición vítrea contra la temperatura de trabajo a la cual interactúan las poliamidas.

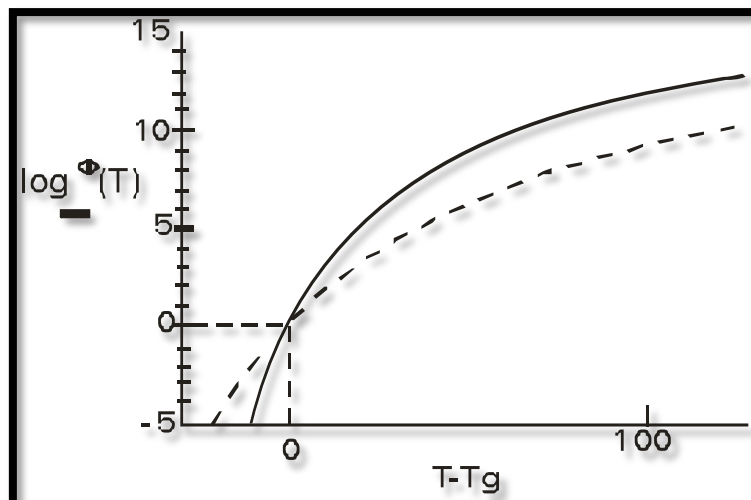


Figura 2.7 Representación gráfica de la ecuación WLF, que relaciona la frecuencia de vibración de los segmentos moleculares Φ con la temperatura.

2.3.1 Temperatura de transición vítrea T_g

Es la temperatura, por debajo de la cual, las moléculas de dicho polímero tienen tan poca energía que prácticamente no se mueven como si estuvieran congeladas. Únicamente existen las vibraciones atómicas y giros alrededor de los enlaces químicos. Bajo esta temperatura el polímero es duro y semejante al vidrio (estado vítreo). Por ejemplo: PA 50[°C].

Si la temperatura aumenta superando la T_g , el material pasa de una consistencia vítrea a una más flexible, llegando a fluir como un líquido viscoso, a no ser que se presente una vulcanización o reticulación. La vulcanización o reticulación consiste esencialmente en unir químicamente unas con otras las moléculas del polímero, de tal forma que se crea una red tridimensional.

Las moléculas ligadas con esta red tridimensional no pueden fluir independientemente y un incremento fuerte de la temperatura con el consiguiente aumento de la movilidad molecular, descompone térmicamente el polímero antes de fluir.

En el proceso de enfriamiento, algunos polímeros de constitución química muy regular, son capaces de organizar en paquetes o cristales afines de sus macromoléculas. La cristalización aumenta en general las propiedades mecánicas del polímero y su resistencia térmica hasta el punto de fusión de los cristales formados. La velocidad de formación de los cristales tiene una importancia técnica muy grande.

Para las poliamidas, el máximo de velocidad ocurre a 260[°C]. Una pieza inyectada seguirá formando lentamente cristales a temperatura ambiente y presentando el fenómeno de contracción en el polímero afectando su dimensión nominal. Para evitar esto, se considera el sistema de enfriamiento en el diseño del molde (factor de contracción).

La cristalinidad, los factores térmicos, las sollicitaciones mecánicas y los factores químicos en general, tienen gran influencia en las poliamidas. Cuando los polímeros tienen diferentes sustituyentes R en la cadena C-C polimérica, la disposición de estos grupos radicales originan distintas configuraciones. Esta configuración depende del método de síntesis y tiene una gran implicación en las propiedades mecánicas^[13].

2.3.2 Cristalinidad y Comportamiento Térmico

El concepto de cristalinidad de un polímero no es similar al que se utiliza en materiales metálicos o cerámicos. Estos compuestos poliméricos suelen ser muy cristalinos y presentan un orden a larga distancia.

En el caso del comportamiento térmico hay que distinguir tres temperaturas, la de fusión (T_m), la de descomposición y la de transición vítrea (T_g). Los polímeros en estado fundido son obviamente amorfos (sin orden) y cuando solidifican pueden dar un sólido no cristalino (vítreo) o cristalino².

Cuando éstos solidifican para dar un sólido no cristalino se produce un paulatino decremento de su volumen específico (volumen por unidad de masa) a medida que la temperatura se reduce.

El comportamiento se da, tal como se muestra en la figura 2.8, en la cual se puede observar el comportamiento de un termoplástico no cristalino (línea ABCD) y de un termoplástico parcialmente cristalino (línea ABEF). Por encima de T_g , los termoplásticos no cristalinos muestran un comportamiento viscoso y por debajo un comportamiento de vidrio (frágil) quebradizo.

²*Nota:* Cadenas parcialmente ordenadas con buen empaquetamiento.

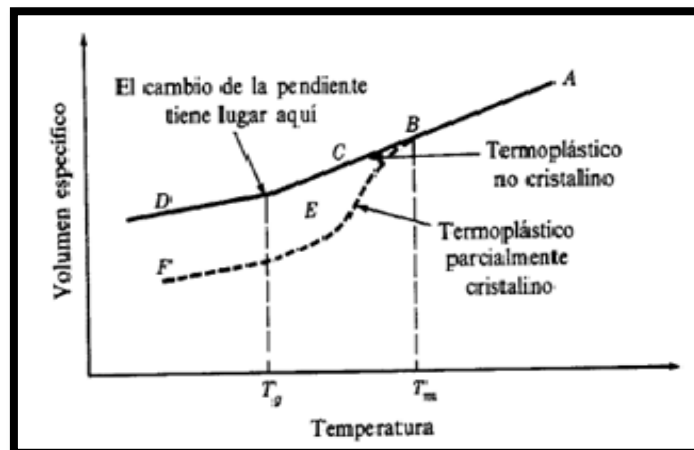


Figura 2.8 Solidificación y Enfriamiento de termoplásticos no cristalinos y semicristalinos.

A bajas temperaturas ($T < T_g$) el comportamiento es principalmente elástico y frágil con alargamientos de roturas aproximadamente del 5%. A alta temperatura ($T > T_g$), el comportamiento es dúctil con mucha deformación irreversible, plasticidad, que pueden llegar a deformaciones del 100% antes de la ruptura.

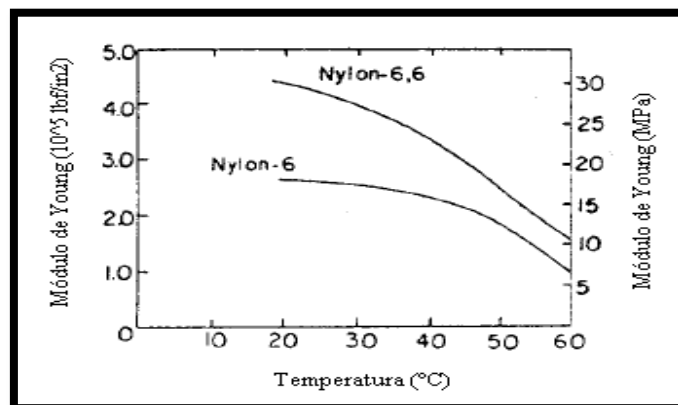


Figura 2.9 Gráfica Módulo de Young de un PA 6,6 y PA 6 a $T_g = 60$ °C [14].

La temperatura de transición vítrea de cada polímero marca la frontera entre los dos tipos de comportamiento. Como se observa en la figura 2.9, esta transición va acompañada (en calentamiento) de un importante descenso en el módulo de Young. Los polímeros muestran un decremento en la resistencia a la deformación, que es característico de todos los materiales pero es especialmente importante en los polímeros incluso a temperaturas moderadas.

Los termoplásticos cristalinos, tienen grandes zonas cristalinas que permiten su uso en un amplio rango de temperaturas por encima y debajo de T_g , aunque lógicamente son más flexibles a $T > T_g$.

Otras características importantes para las aplicaciones de los polímeros son la resistencia al impacto, por encima de T_g son más flexibles, por lo que pueden soportar mejor los golpes.

La resistencia química y resistencia a la degradación es un parámetro muy importante ya que puede excluir el uso de un polímero u ocasionar un fallo. Generalmente depende de la resistencia química intrínseca del polímero y del medio al que será expuesto.

2.4 Fallas en poliamidas

2.4.1 Absorción de agua (Hidrólisis)

La degradación por hidrólisis tiene como consecuencia una reducción progresiva en el peso molecular y la pérdida de propiedades mecánicas. Se presenta este efecto en plásticos, los cuales son afectados cuando alcanzan el punto de ebullición, inmersos en un entorno donde la humedad está presente a altas temperaturas.

La absorción de agua depende, principalmente, de la densidad de los grupos amida (hidrófilos), a lo largo de la cadena, una de las causas se da, considerando que cuanto mayor es el grado de cristalinidad menor es la absorción de agua.

El efecto de la humedad influye decisivamente en las propiedades eléctricas y mecánicas, en las cuales disminuyen las capacidades del polímero, dado que, si bien aumenta su tenacidad, también afecta sensiblemente a su estabilidad dimensional (la pieza se hincha). Por lo que debe eliminarse esta agua retenida en el polímero antes de emplearse en algún proceso, tal es el caso del moldeo, para lo cual se debe de realizar un secado riguroso.

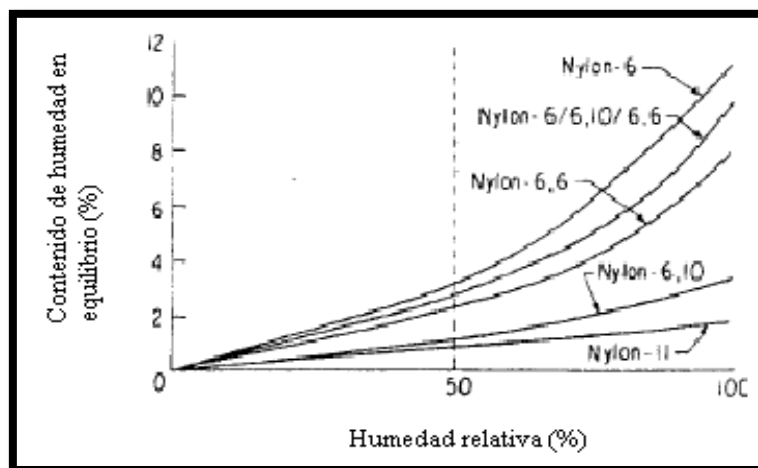


Figura 2.10 Humedad relativa en el equilibrio de la cantidad de absorción de agua [15].

Como se puede apreciar en la figura 2.10, el efecto de la humedad relativa en el Nylon 6,6 es considerable con respecto a otros Nylons, debido a que tienden a perder cohesión por el incremento del volumen al absorber la humedad del entorno.

2.4.2 Degradación térmica

La degradación térmica se da en las poliamidas, dependiendo de la temperatura y la estructura del polímero, al incrementarse la temperatura en presencia o ausencia del oxígeno. La volatilidad de degradación de los productos elaborados con Nylon 6 y Nylon 6,6 a temperaturas que exceden los 200[°C], son causados por el dióxido de carbono, agua, n-hexalamina, n-heptalamina y metalamina^[16].

2.5 Nylon 6,6

El Nylon 6,6 es uno de los polímeros más comunes usados como una fibra, pertenece al grupo de las poliamidas (designado con las siglas PA), debido a las características de los grupos amida en la cadena principal. En su polímero se encuentran unidades repetidas de enlaces de amidas entre ellos, su monómero se muestra a continuación, el cual reacciona para formar largas cadenas de polímeros, como se aprecia en la figura 2.11.

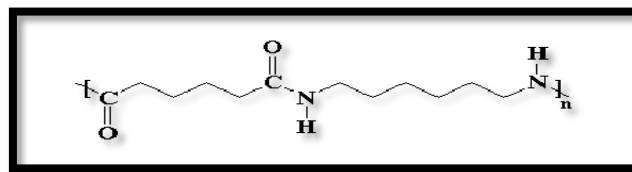


Figura 2.11 Monómero del polímero PA.

El enlace amida se forma a partir de una amina y un grupo carbonílico. El Nylon 6,6 está sintetizado a partir del ácido adíptico. Este polímero es altamente deslizante, resistente a los químicos y tiene muy buena resistencia al desgaste, aun trabajando en seco, por lo que tiene poco envejecimiento. Además, como se trata de un polímero termoplástico, es fácil de darle forma mediante su fundido.

Puede presentarse de diferentes formas aunque las dos más conocidas son la sólida y la fibra: en su presentación *sólida* se utiliza para fabricar piezas de transmisión de movimientos tales como ruedas convencionales, tornillos, piezas de maquinaria, piezas de electrodomésticos, herramientas y utensilios caseros, etc. En su presentación como *fibra*, debido a su capacidad para formar hilos, se utiliza en la industria textil y en la cordelería para fabricar medias, cuerdas, tejidos y otros elementos flexibles.

El Nylon 6,6 es obtenido por la policondensación de la hexametildiamina (6 átomos de carbono) y el ácido adíptico (6 átomos de carbono). Las unidades de diácido y de diamina alternan en la cadena polimérica^[17].

Las poliamidas presentan unas propiedades físicas próximas a las de los metales, tal es el caso de la resistencia a la tracción. Tienen un coeficiente de rozamiento muy bajo no necesitando lubricantes las piezas que son sometidas a fricción, buena resistencia química, fácil moldeo, y resistencia. Algunas de sus propiedades se observan en las tablas 2.2 y 2.3.

Tabla 2.2 Propiedades Mecánicas del Nylon 6,6^[18]

PROPIEDADES MECÁNICAS		
Test ASTM	Descripción	Nylon 6,6
D638M	Resistencia a la tracción	63,6 MPa
D638M	Módulo de Young	2.1 Gpa
D790M	Resistencia a la flexión	88,4 Mpa
D790M	Módulo de rigidez flexional	2.400 Mpa
D256A	Resistencia al impacto	1,5 j/cm
D570-98	Absorción de agua	2,3%

Tabla 2.3 Propiedades térmicas del Nylon 6,6^[19]

PROPIEDADES TÉRMICAS		
Test ASTM	Descripción	Nylon 6,6
E831 -00	Coeficiente de dilatación térmica	0.00008 [C-1]
EI545 -00	Temperatura de transición vítrea	50 [°C]
D648-98c	Temperatura de inflexión bajo carga (HDT)	210 [°C]

Aunque su principal uso es en la industria textil, actualmente tiene numerosas aplicaciones en ingeniería, debido a la gran resistencia que presenta este material a los agentes químicos, disolventes y abrasión, aunado a la gran dureza y tenacidad, lo cual hacen de este material el ideal para su uso en piezas que están sometidas a un gran desgaste. Por ejemplo rodamientos, engranes, cojinetes.

2.6 Características del Nylon 6,6 con refuerzo de fibra de vidrio

Como resultado de las nuevas tecnologías, los Nylons con refuerzo de fibra de vidrio incrementan sus propiedades mecánicas debido a la morfología de su estructura.

El proceso de refuerzo se da como una elaboración de masas prensables en moldes metálicos, dado el conformado de inyección, se tienen cuerdas de vidrio que son cortadas mediante un dispositivo y aspiradas sobre un pre-molde de chapa perforada. Simultáneamente se pulveriza alguna cantidad de resina aglomerante que imparte a la “preforma” la consistencia necesaria para poder ser aspirada por la chapa-molde y conducida al interior del molde. Entonces se agrega la cantidad de nylon a utilizar y de esta forma proseguir con el proceso de inyección a presión.

En la figura 2.12, se observa la gráfica esfuerzo contra deformación, a distintos porcentajes de refuerzo de fibra de vidrio.

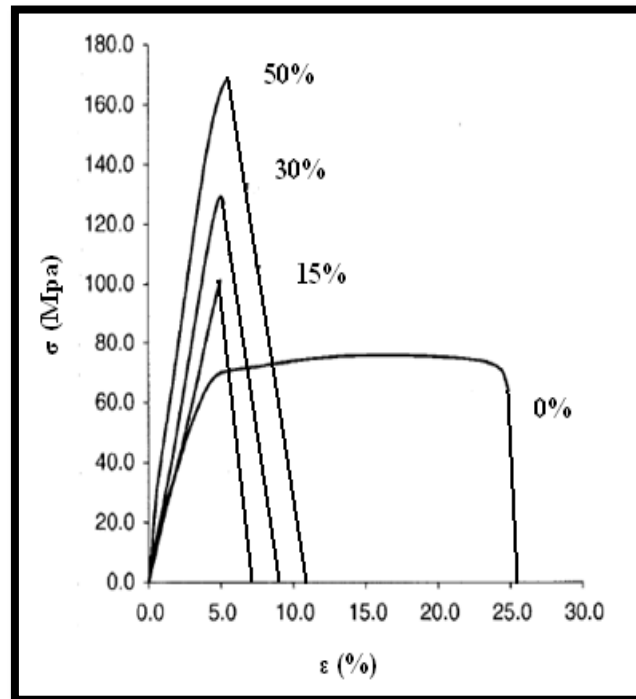


Figura 2.12 Esfuerzo contra Deformación [20].

Por norma general, los termoplásticos se conforman aplicando presión a elevada temperatura y en cualquier caso, por encima de la temperatura de transición vítrea. Debido a esto, las poliamidas son en la industria, un material polimérico a considerar, para realizar piezas de ingeniería, tal es el caso de la carcasa de la válvula termostática.

Capítulo 3

Módulo del Sistema de Enfriamiento

Introducción

En este apartado se plantea el análisis de carcasas de la válvula termostática de un motor, para lo cual se cuenta con varias muestras en distintas condiciones de degradación. De igual forma se tienen piezas nuevas, con el fin de realizar un comparativo.

La carcasa está integrada con el sensor de temperatura y el termostato, la cual se considera como un subsistema al conjunto de piezas, tal como se ve en la figura 3.1. Así como al agente que actúa directamente sobre éste, es decir, el líquido refrigerante.

Mientras que, para cuestiones de ensamble, cuenta con juntas elastoméricas y almas metálicas en los barrenos correspondientes, lo cual no se considera en el desarrollo del estudio.



Figura 3.1 Carcasa con elementos del subsistema de enfriamiento.

El material para la elaboración de la carcasa, en un principio era hierro fundido, con el inconveniente de que en el transcurso del tiempo de operación se corroía, es por ello que en tiempos recientes se ha optado por elaborar piezas que resistan y mantengan su geometría, además de procurar que no desprendan partículas que puedan causar obstrucción en alguna parte del subsistema de enfriamiento.

Es por ello, la implementación de las carcasas elaboradas con Nylon 6,6 y reforzadas con una capa de fibra de vidrio, es adecuada debido a sus propiedades tanto físicas como mecánicas, que en la mayoría de los casos son mejores a las de los metales.

Sin embargo, estas partes se ven limitadas y presentan fallas progresivas, tal como se describe en este apartado, donde se detalla el grado de degradación y exposición de las carcasas a analizar, las características del proceso de elaboración que es por inyección y a las condiciones de operación a las que se encuentran expuestas.

3.1 Fallas del sistema de enfriamiento

Los elementos del subsistema de enfriamiento, se consideran para su valoración en distintas partes. La carcasa como elemento principal de estudio, es considerada en dos partes. En la primera; se tiene la tapa que encapsula al termostato; en ésta se establece, teniendo en consideración que el conducto está en posición “U” (180°); mientras que en un segundo caso, el conducto del suministro forma un ángulo de aproximadamente 90°, la cual forma el conducto de entrada del refrigerante procedente del radiador. La segunda parte la forma el cuerpo de la carcasa y aloja al termostato y al sensor de temperatura, Así como los accesorios de ensamble.

En estos conductos se encuentran alojados depósitos y escurrimientos visibles de material como se muestra en la siguiente figura 3.2.

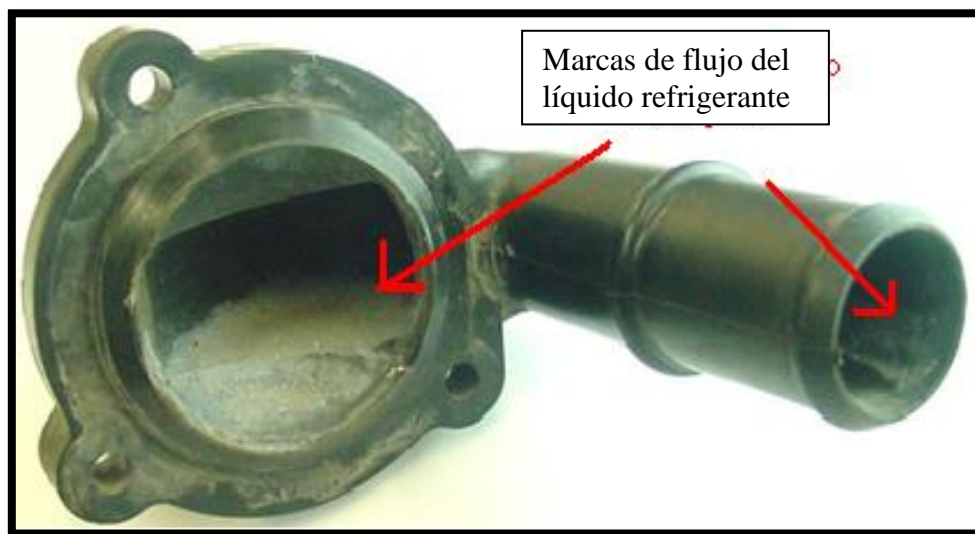


Figura 3.2 En esta tapa se observan marcas de flujo del líquido refrigerante.

La carcasa presenta signos visibles de deformación con respecto a su diseño original, escurrimientos dentro de las cavidades y marcas evidentes de flujo. A partir de lo anterior se realizaron diferentes cortes de la carcasa para observar alguna otra falla.

En este caso se realizó un corte dentro de una de las cavidades de la carcasa, tanto en una pieza usada como una nueva, con lo cual se hizo una valoración y comparativa con el material polimérico.

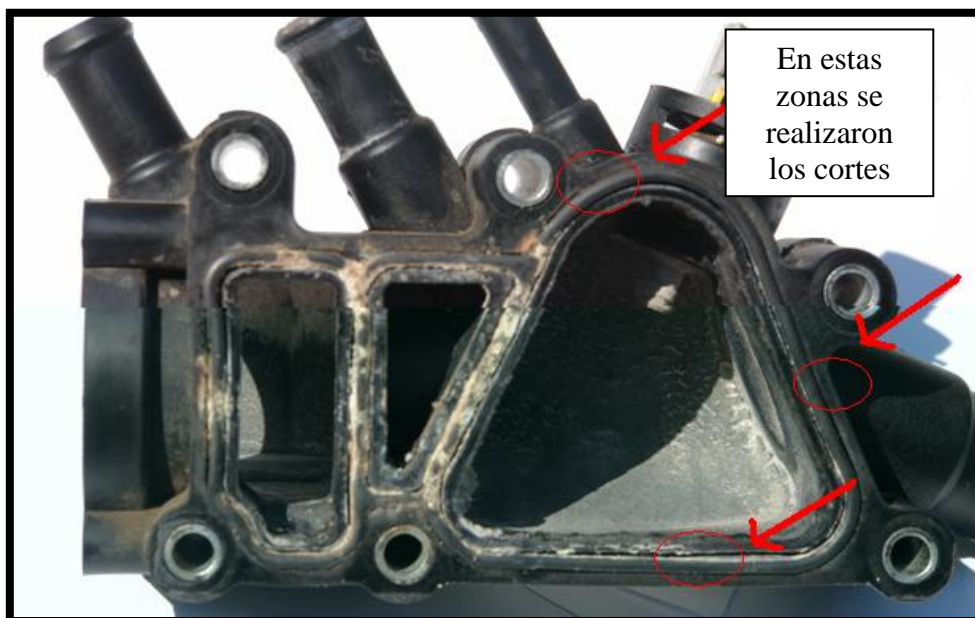


Figura 3.3 En esta carcasa se realizaron distintos cortes

En la figura 3.3, se muestran las zonas donde se realizaron los distintos cortes para valoración de las diferentes muestras. En éstas se observa porosidad presente en la pieza, esto debido a un mal conformado de inyección, considerando que este proceso requiere de distintas especificaciones, dada la geometría de la pieza, el punto de inyección alojado en la parte posterior de la carcasa, la temperatura a la cual se realiza la inyección es de $260[^\circ\text{C}]$, así como la velocidad a la que se da.

En la siguiente figura 3.4 (a) y (b), se observan poros a simple vista, que en algunos casos son huecos de hasta un milímetro de diámetro.

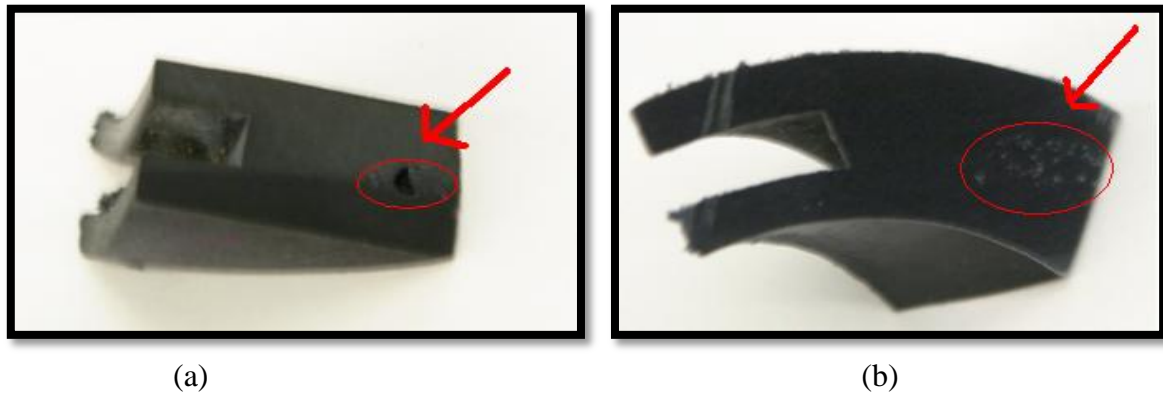


Figura 3.4 (a) Se observan poros indicados por las flechas

En cuanto al estado en que se presentan para el estudio, se contó con elementos nuevos y usados, donde éstos últimos muestran señales de uso (suciedad), tal como depósitos semejantes a los que están presentes en la carcasa, entre otros.

En algunos casos estos depósitos de material afectan el funcionamiento del termostato, al bloquear en tanto en posición abierta, como en posición cerrada, dado que no permite el libre flujo del líquido refrigerante. Ante esta situación el ventilador no realiza su función de forma correcta, lo que ocasiona que el intercambio de aire en el sistema de juego no sea el esperado. En consecuencia, la válvula termostática ésta fuera de especificación, por tanto, es necesario el cambio de la pieza por una nueva.

3.1.1 Termostato

La función del termostato consiste, en regular el flujo del refrigerante dentro del motor, hasta que éste haya llegado a su temperatura de funcionamiento.

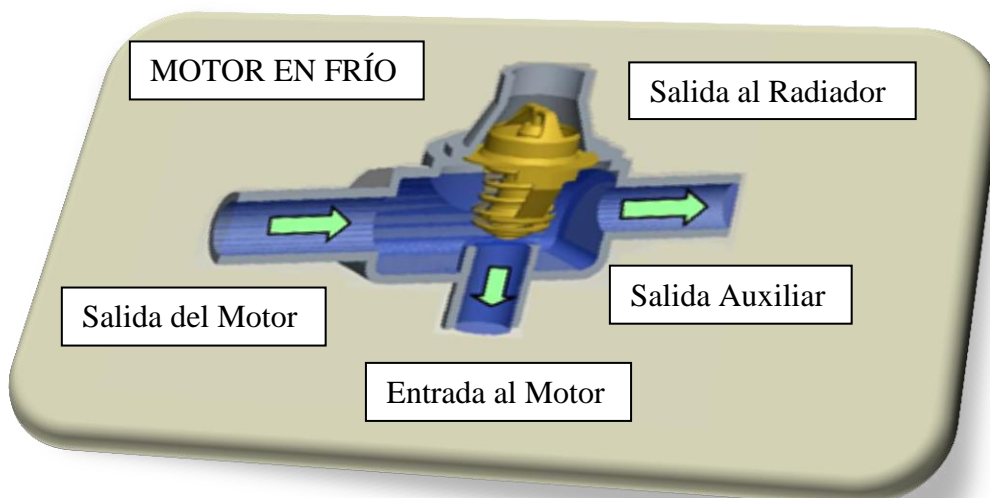


Figura 3.5. La válvula termostática en posición cerrada.

Como válvula de control, en estado normalmente cerrada como se muestra en la figura 3.5, determina la circulación del refrigerante y funciona bajo el principio de dilatación de cera encapsulada, la cual abre o cierra desplazando el vástago, en función de la temperatura necesaria para esa dilatación, como se muestra en la figura 3.6.

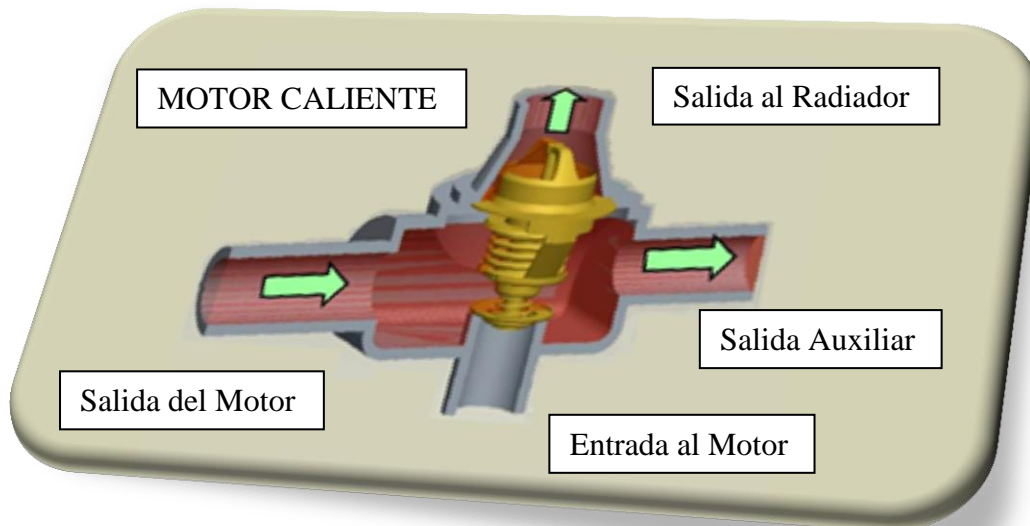


Figura 3.6. La válvula termostática en posición abierta.

El termostato sincroniza su funcionamiento con el ventilador mediante un sistema electrónico (sensor de temperatura). El termostato permanece cerrado, pero una vez abierto el ventilador es el encargado de controlar y reducir la temperatura del agua en todo el sistema.

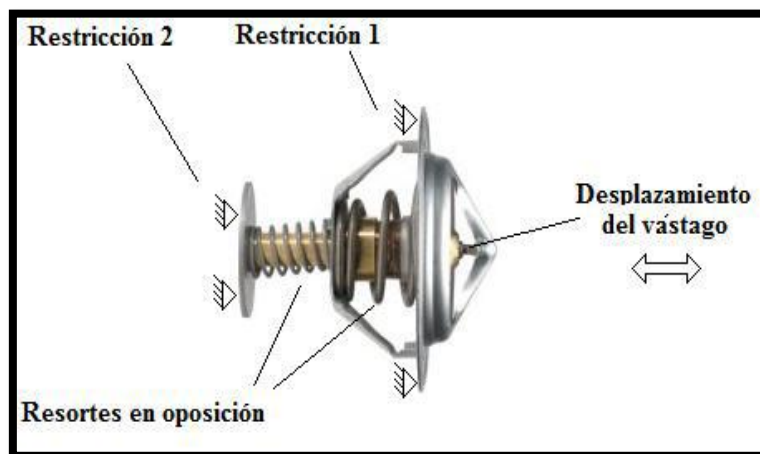


Figura 3.7 Termostato en disposición con restricción de ensamble.

Para el caso en el cual el motor comienza su funcionamiento, tomando en cuenta que la temperatura para ese instante es la temperatura ambiente, este debe aumentar esa temperatura para el correcto inicio de operación, para ello la función del termostato genera un retraso en el libre paso del líquido refrigerante, con lo cual se eleva la temperatura en el entorno del motor, tomando en cuenta que la temperatura de inicio de apertura de la válvula es de 82[°C], como se muestra en la figura 3.7, temperatura de apertura total de la válvula es de 94[°C], desplazando al vástago 14[mm].

En posición de ensamble, los dos resortes actúan oponiéndose al desplazamiento del vástago, restringiendo la posición del termostato, simulando la posición original de ensamble, con una temperatura de inicio de apertura de la válvula es de 82[°C], (la temperatura de apertura total de la válvula es de 95[°C], desplazando al vástago 10[mm]).

Un factor importante a considerar es el líquido refrigerante, el cual al no ser el adecuado trae como consecuencia que se presenten partículas de suciedad debido a la corrosión presumiblemente del motor, como se observa en la figura 3.8. En ésta se ve el deterioro que sufre al ser afectado por el exceso de calor y una mala distribución del flujo del líquido refrigerante.

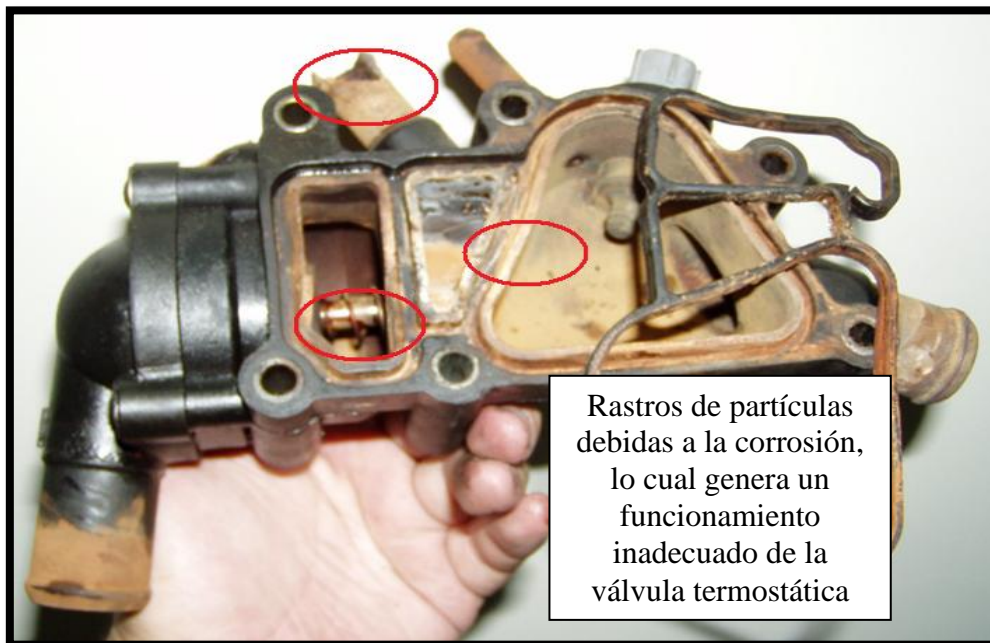


Figura 3.8 La carcasa de repuesta muestra suciedad de partículas de corrosión debida a la corrosión del motor.

Estas partículas se adhieren a la válvula termostática (figura 3.9), lo cual ocasiona que el funcionamiento de de ésta se vea restringido para su dilatación o contracción en el paso de la mezcla refrigerante.



Figura 3.9 Efectos de la corrosión al adherirse partículas en la válvula termostática, lo cual propicia una inadecuada apertura.

3.1.2 Refrigerante

El fluido utilizado, es un concentrado de líquido refrigerante compuesto esencialmente de mono-etilenglicol e inhibidores de la corrosión. Cuando se mezcla 50/50 con agua para rebajar el concentrado, se deposita la mezcla resultante en el sistema de enfriamiento de los vehículos^[21].

Si el tanque de expansión presenta fugas de líquido por la tapa, a causa del exceso de líquido por defecto o porque la temperatura del líquido es muy alta, esto provoca el consumo excesivo de líquido. La temperatura a la cual se encuentra el motor está por encima de la solución refrigeración, por lo que se considera una inadecuada proporción del líquido refrigerante.

Composición del líquido refrigerante

La composición del refrigerante comúnmente considera los siguientes componentes:

- Mínimo del 85% mono-etilenglicol virgen.
- Silicio, silicatos, a las 10 ppm máximo.
- Fósforo, fosfatos, en 10 ppm como máximo.
- Boro, boratos, en máximo de 5 ppm.
- Cloruros a 25 ppm como máximo.

3.1.3 Sensor

Los sensores se encargan de monitorear el cambio de la temperatura en el interior de la carcasa, en la figura 3.10, se muestra un sensor nuevo.

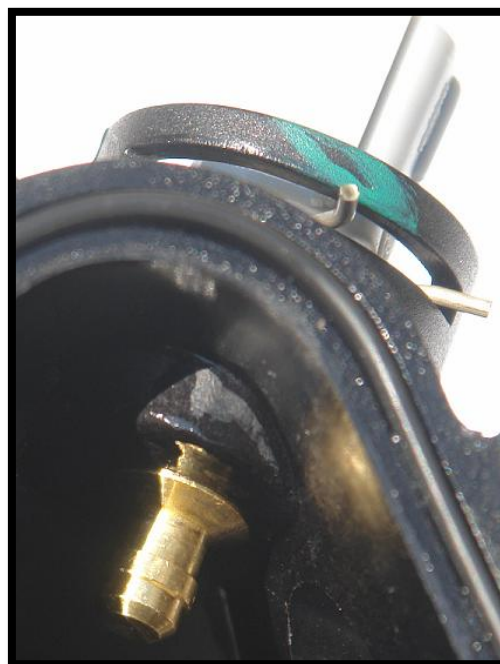


Figura 3.10 Sensor ensamblado en equipo nuevo.

Los sensores usados muestran condiciones de deterioro, con depósitos similares a los que se observan en las carcasas, además de corroerse por los cambios bruscos de temperatura, como se ve en la figura 3.11, lo cual se toma en cuenta para valorar su desempeño.



Figura 3.11 El sensor muestra evidencia de deterioro.

Considerando que en estos vehículos modernos la implementación de sensores que permiten monitorear y regular la temperatura de operación tanto del sistema de enfriamiento como de otras partes de éste, es importante mantener dichos sensores en óptimas condiciones para un adecuado monitoreo y funcionamiento. Los residuos observados en estos dispositivos están sujetos a la temperatura de la cavidad de la carcasa, debido a los escurrimientos que presenta y las marcas de las líneas de flujo.

3.2 Degradación del material

Cuando se presentan fallas en alguno de los componentes del sistema y no es suficiente con el cambio de este, debido a que los demás elementos comienzan a mostrar un mal funcionamiento es necesario realizar una investigación, que permita determinar la causa y tener la solución.

Es importante dar seguimiento a la falla para poder realizar un análisis pertinente a la pieza, que durante algún tiempo muestra problemas, causados en ocasiones por el poco mantenimiento que se le da al sistema de enfriamiento, dado que no se cuenta con la información necesaria o pertinente, regularmente la falta de una buena proporción del líquido refrigerante genera en la mayoría de los casos daños irreversibles en los componentes del sistema.

En la figura 3.12, se muestra una carcasa nueva, la cual es un repuesto que a diferencia de la pieza usada, es un poco más rígida y se puede apreciar un tono de brillo, considerando que la pieza original es opaca.



Figura 3.12 Carcasa nueva.

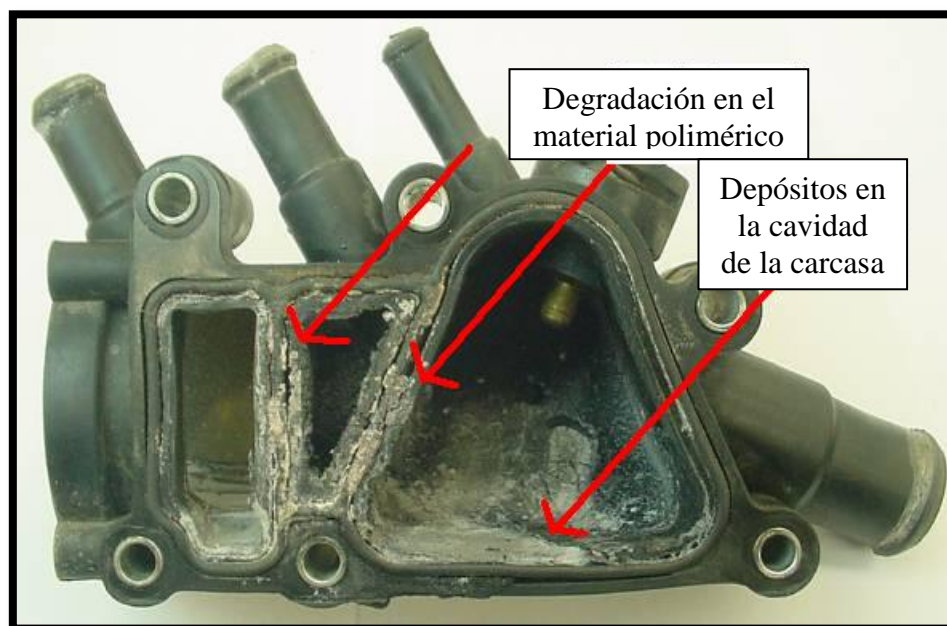


Figura 3.13 Carcasa con alto grado de degradación polimérica.

En la figura 3.13, se indican los distintos puntos donde se concentra el mayor grado de degradación presente en la carcasa, de igual forma en otras piezas se observan estos depósitos, la cual muestran una tonalidad clara y están presentes en los conductos de la pieza, en estos depósitos se observan zonas de asentamiento, de tal forma que son visibles algunos patrones de flujo, así como la acumulación de depósitos.

3.3 Problemática de la deformación y degradación de la carcasa

En primer instancia, se observa que las piezas que han sido retiradas, presentan deformación, esto generado por la temperatura dentro de la carcasa, debido a que se encuentra ensamblada a un costado del motor el cual disipa calor por el trabajo generado, con lo que se incrementa la temperatura dentro de la carcasa. Así mismo, la temperatura que presenta el flujo del líquido refrigerante que circula por las cavidades de ésta, produce daños visibles, tal como se muestra en las siguientes figuras 3.14 y 3.15.



Figura 3.14 En esta carcasa son evidentes los daños por la dilatación del material.

La deformación que presenta esta carcasa (figura 3.15), continua con el patrón observado previamente en otras muestras, lo cual indica una elevada temperatura que supera las condiciones de diseño y especificaciones dadas por el fabricante.



Figura 3.15 Deformación severa producto de la presencia de altas temperaturas, con lo cual se tiene la pérdida de la geometría original.

De igual forma, se observan capas como se muestra en la figura 3.16, en el interior de las carcassas del material polimérico al perder el refuerzo de 30% de fibra de vidrio, por efecto térmico. Este fenómeno se manifiesta gradualmente en la pérdida de la textura original, formación de burbujas, escurrimiento y deformación severa.



Figura 3.16 Se observan capas en el interior de la cavidad de la carcasa.

También se observa en otra pieza (figura 3.17), que en la parte inferior de la cavidad las capas se forman en similares condiciones que la muestra anterior, es evidente el desprendimiento de material, así mismo la tonalidad gris de ésta.

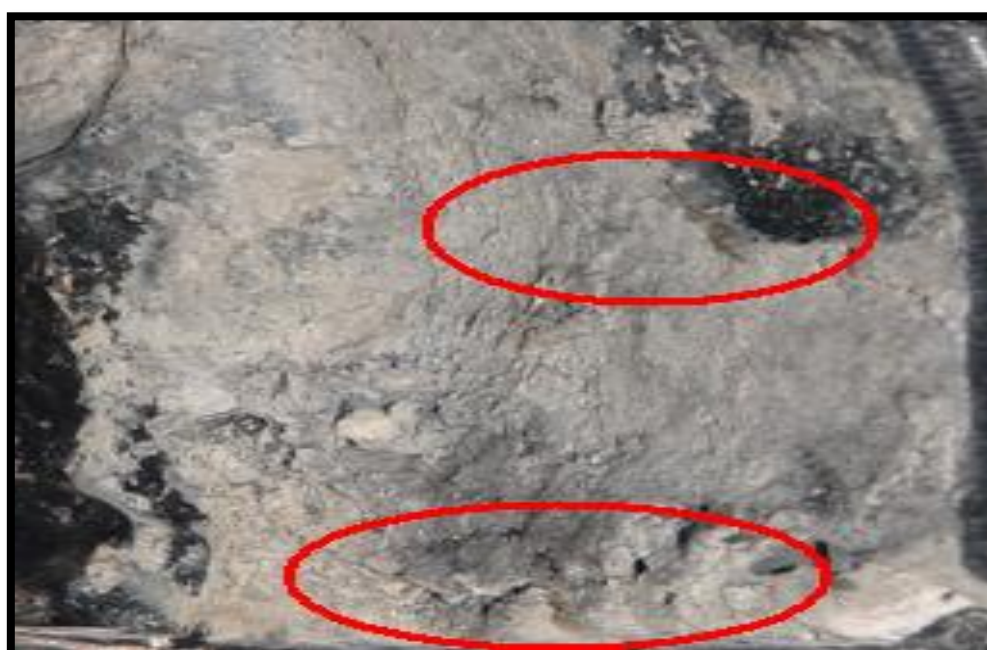


Figura 3.17 Cambio de tonalidad en capa interior de la cavidad de la carcasa.



Figura 3.18 En esta imagen se observa pérdida de textura.

La pérdida de líquido refrigerante se manifiesta como una constante en el sistema de enfriamiento del motor, dado que la pérdida de las propiedades del material (figura 3.18), se vuelve progresiva al aumentar la temperatura en el entorno y genera daños en los demás componentes, tal es el caso del sensor de temperatura (figura 3.19).



Figura 3.19 Se observan escurrimientos y residuos del polímero.

En la figura 3.20, se observan los depósitos existentes en la cavidad de la carcasa, en este caso se realizó un corte, el cual permite ver con mayor detalle el daño que presenta.



Figura 3.20 En este corte es evidente la degradación del polímero.

Para la determinación de la probable causa es necesario realizar estudios químicos y térmicos, para una caracterización del polímero, la cual permita dar un mayor panorama de la degradación del polímero. De igual forma realizar una valoración microscópica y observar el comportamiento de la microestructura del Nylon 6,6 con 30% de refuerzo de fibra de vidrio.

Capítulo 4

Caracterización del Nylon 6,6 con Refuerzo de Fibra de Vidrio

Introducción

Tanto el Nylon como el vidrio son materiales que forman parte de la vida cotidiana, sin embargo, el compuesto que forman al mezclarse generan un material de aplicaciones mucho más especializadas debido a la mejora en sus propiedades físicas, químicas y mecánicas. No obstante la calidad microestructural no está exenta de irregularidades o inconvenientes, ya sean inherentes al material o producto de las condiciones de conformado. En cualquier caso, éstos se hacen evidentes durante las condiciones de operación que en ocasiones rayan en lo crítico.

Tal es el caso de la carcasa, con la degradación mostrada en el capítulo anterior, en el cual se expusieron las condiciones de desgaste, cavitación y exposición, dadas las condiciones a las cuales este componente opera, a alta temperatura y presión, así mismo a la absorción de agua y la porosidad presente en este material polimérico.

El estudio de los patrones de degradación se realiza por medio de una caracterización del material polimérico para lo cual es conveniente realizar, en primera instancia, una valoración microscópica, con el fin de observar la calidad micro estructural del material en el estado original y posteriormente en el estado en el que se encuentra en operación, esto por medio de un microscopio electrónico de barrido (figura 4.1).

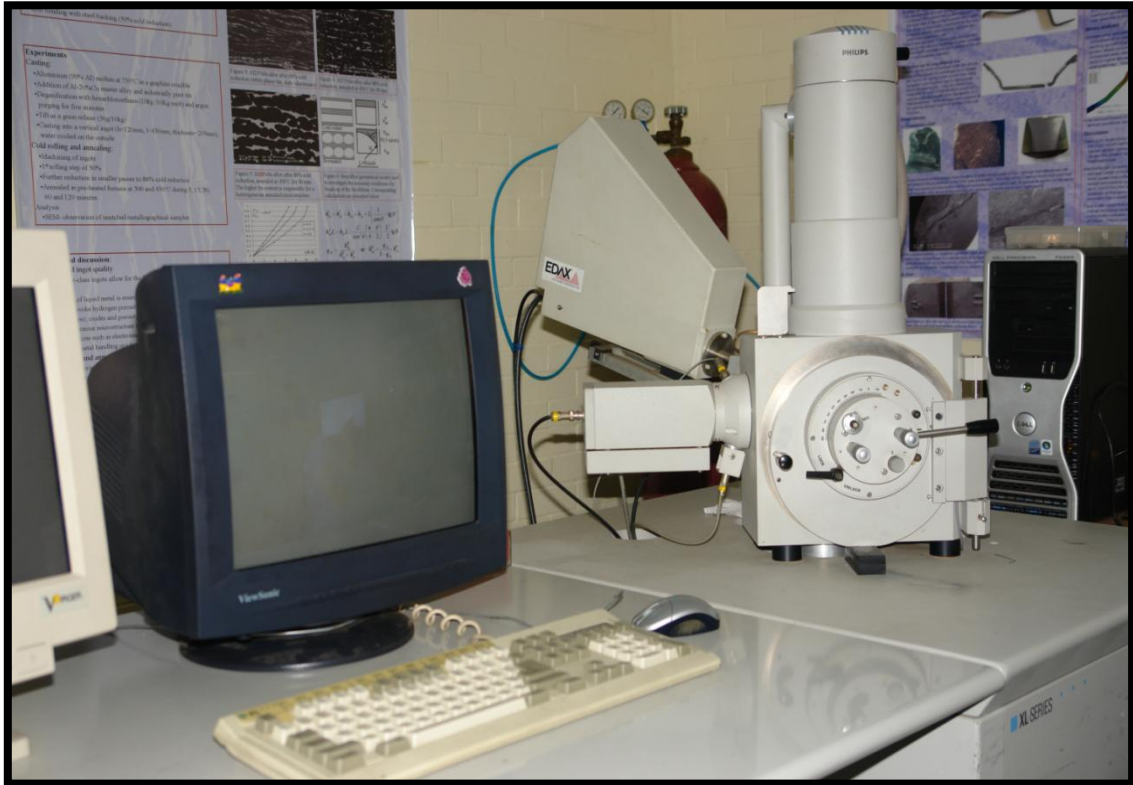


Figura 4.1 Microscopio electrónico de barrido.

Como parte de la investigación, el análisis al cual se somete a la carcasa consiste en dos casos. En el primero se realiza una calorimetría de barrido, el estudio se realiza con la finalidad de corroborar la temperatura de fusión y la temperatura de transición vítrea del material polimérico.

En la segunda parte se hace una Análisis TERMOGRAVIMETRICO (TGA) para corroborar el porcentaje en peso del refuerzo de fibra de vidrio, esto es necesario para la valoración del material polimérico y permite comprobar la fiabilidad, y propiedades del Nylon 6,6, así como el porcentaje de refuerzo que fue suministrado.

Finalmente, se realizan ensayos térmicos. En primera instancia se realizó la comprobación de las temperaturas de apertura inicial y final de éste. En el caso de la carcasa como elemento principal de estudio, se tomaron muestras para la valoración de la resistencia a agentes externos, como lo es el líquido refrigerante, ya que este representa una probable causa de la degradación del material polimérico.

4.1 Valoración microscópica

Por las características de operación del MEB se requiere que las muestras sean conductoras, en el caso del Nylon 6,6 se pudo realizar la observación empleando voltajes de aceleración muy bajos, con lo cual se evita la acumulación de electrones en la superficie que se observa y con ello el deterioro en la calidad de la imagen.

En la figura 4.2, es posible observar un desprendimiento que forma un hueco, generado por las condiciones de operación a las cuales está sometida la pieza.

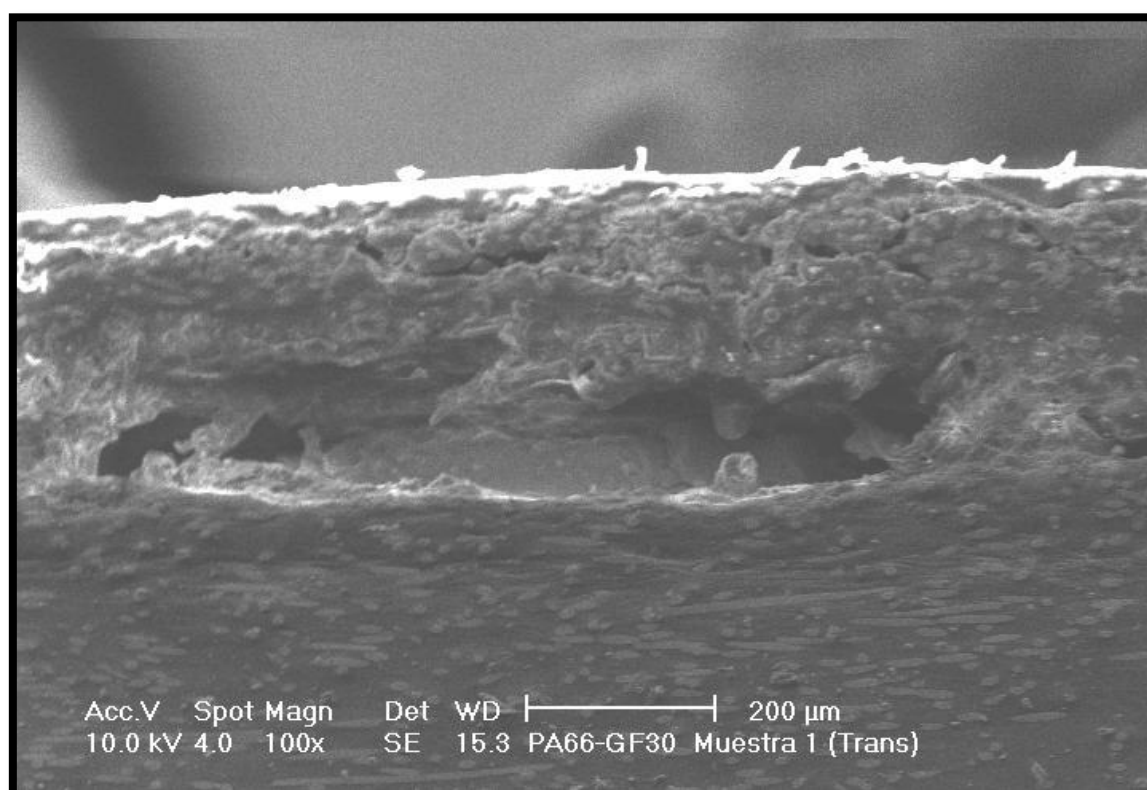


Figura 4.2 Muestra con elevada degradación por la temperatura de la 1H-L1.

La resistencia química del nylon es buena; solamente los fenoles y el ácido fórmico disuelven al polímero a temperatura ambiente. Los ácidos fuertes pueden ser dañinos para el polímero al grado de generar degradación.

En este caso, el polímero se decolora al aire libre a temperaturas alrededor de 130 [°C] y se degrada por hidrólisis a elevadas temperaturas. Sus propiedades de comportamiento a la intemperie son sólo regulares a menos que haya sido especialmente estabilizado o pigmentado con negro de humo ^[22].

Teniendo un acercamiento mayor en la zona superior de la muestra, la figura 4.3 se visualiza el daño generado en la superficie que está en contacto directo con el refrigerante, así mismo el desprendimiento de residuos tanto del material Nylon 6,6 y de reforzamiento de fibra de vidrio.

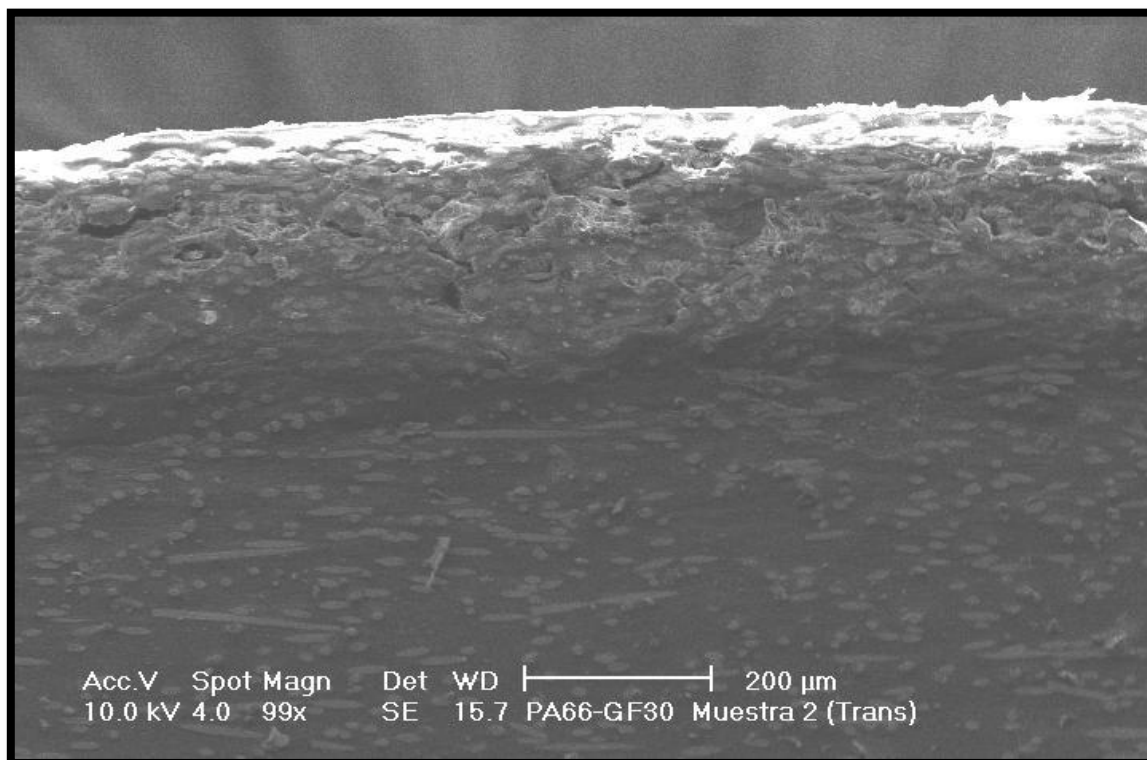


Figura 4.3 Acercamiento en otra zona de la carcasa de la 1H-L1.

En una segunda muestra se observa el daño evidente causado por los agentes químicos del cual se elabora el líquido refrigerante aunado a la alta temperatura, como se muestra en la figura 4.4.

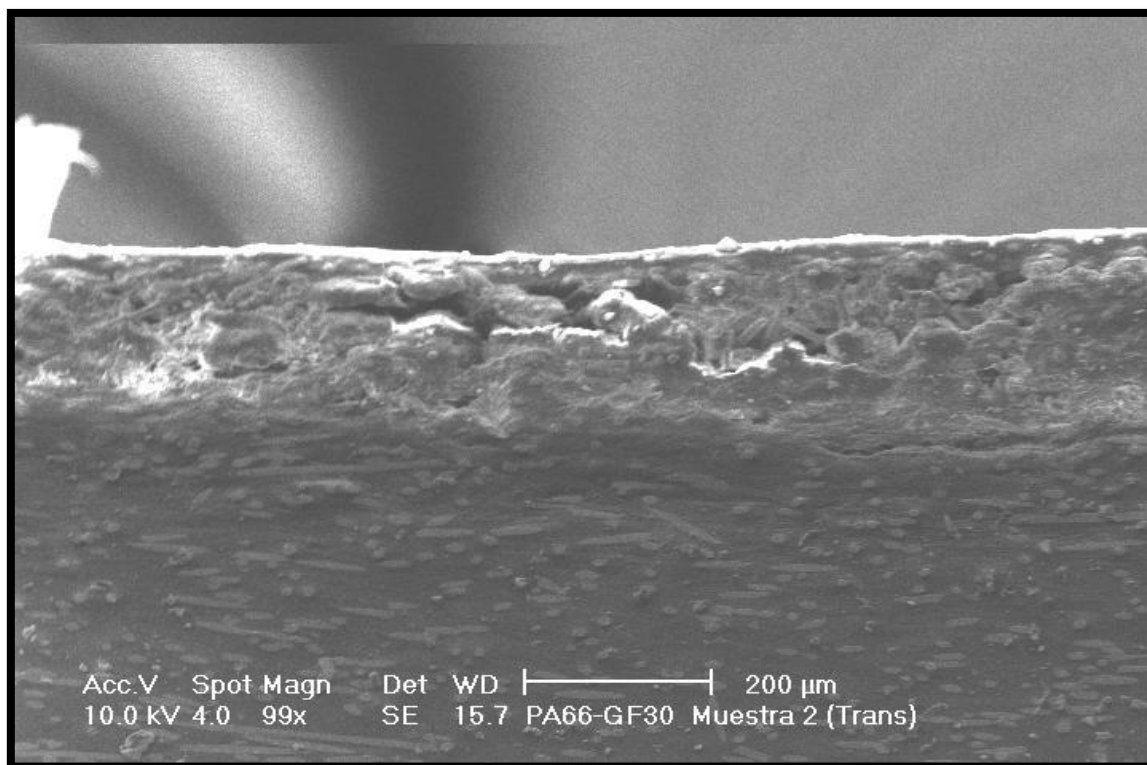


Figura 4.4 En esta segunda muestra se observa desprendimiento de la poliamida de la 2H-L1.

La figura 4.5, muestra una pieza nueva que no ha estado en contacto con algún agente químico, ni en condiciones de operación a alta presión ni elevada temperatura.

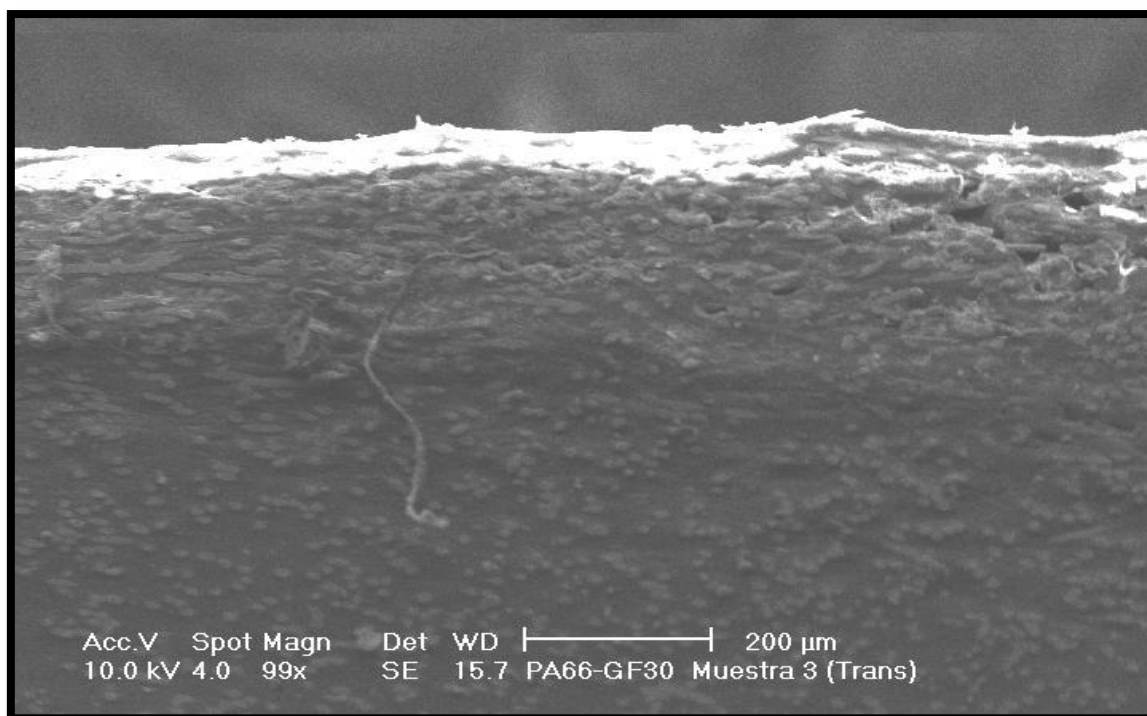


Figura 4.5 En esta tercera muestra se observa desprendimiento de la poliamida de la 11-L2.

En una tercera pieza nueva, se observa en la figura 4.6, el acomodo de las fibras de vidrio en la carcasa y es visible la disposición de las fibras de vidrio en la pieza, en menor grado a las anteriores, lo cual habla de problemas en el flujo durante el proceso de inyección.

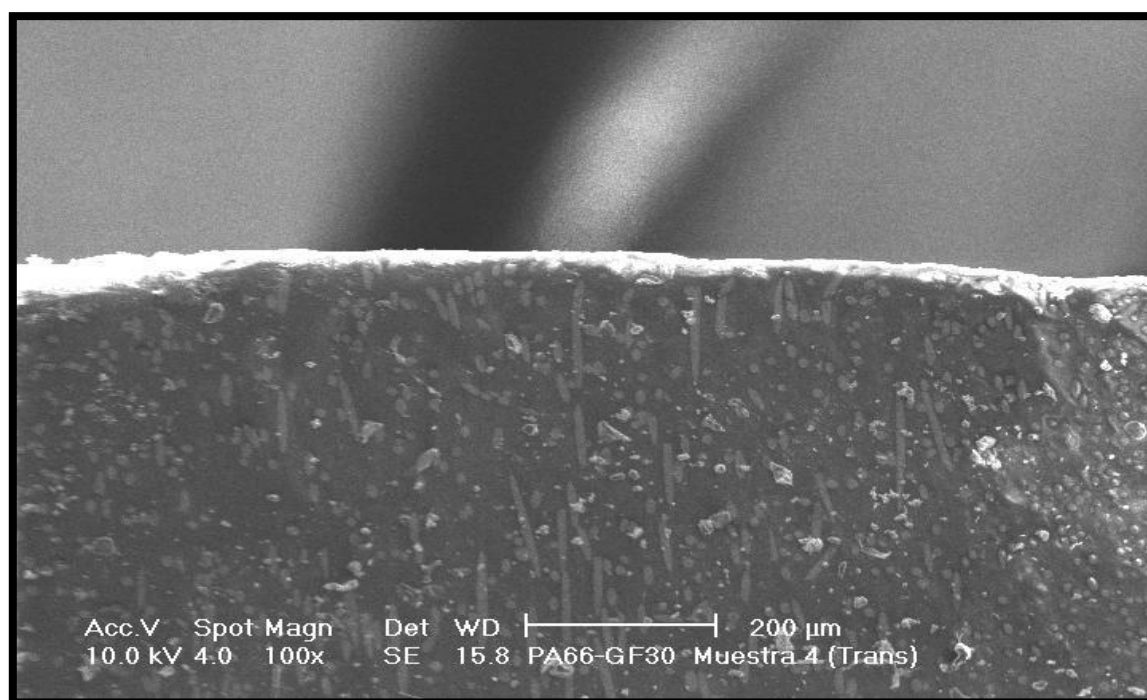


Figura 4.6 La pieza es nueva y distribución de f.v. es aleatoria del 1C-L3.

4.2 Análisis químicos

4.2.1 Calorimetría diferencial de barrido

La calorimetría diferencial de barrido es una técnica que se emplea para el estudio de un polímero que es calentado y se utiliza para analizar sus transiciones térmicas, estas son los cambios que tienen lugar en un polímero cuando se tiene a una cierta temperatura, en la cual se considera a la fusión de un polímero cristalino, de igual forma a la transición vítrea.

El polímero es calentado en dispositivo similar al que se aprecia en la figura 4.7. En este se tienen dos platillos. En uno de ellos, se coloca la muestra polimérica. El otro se deja como platillo de referencia y se encuentra vacío. Cada platillo se apoya sobre la parte superior de un calefactor. Posteriormente, se encienden los calefactores por medio de la computadora en una rango de temperatura de entre 25 - 300[°C] a una velocidad 10[°C/min]. La computadora se asegura totalmente de que la velocidad de calentamiento sea exactamente la misma a lo largo de todo el experimento.

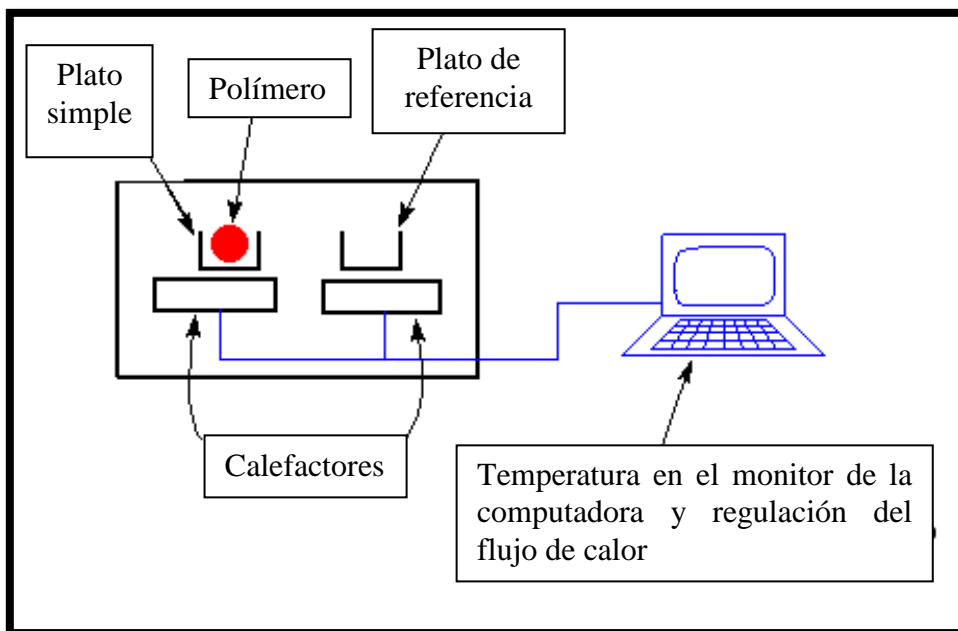


Figura 4.7 Componentes de la Calorimetría de Barrido Diferencial [23].

Por encima de la transición vítrea, los polímeros poseen una gran movilidad. Se contornean, se retuercen y nunca permanecen en una misma posición durante mucho tiempo. Cuando alcanzan la temperatura adecuada, han ganado suficiente energía para adoptar una disposición sumamente ordenada, conocida como cristales.

Cuando los polímeros se disponen en ordenamientos cristalinos, liberan calor. Y cuando este calor se pierde, el calefactor manipulado por medio de la computadora se detiene y entonces se presenta una caída en el flujo de calor el cual se aprecia.

En el caso particular de estudio, Nylon 6,6 con 30% de refuerzo de fibra de vidrio, estas distintas etapas de temperatura son vitales, considerando la función que desempeña dentro del sistema de enfriamiento, ya que estrictamente tiene la función de regular por completo el paso del flujo del líquido refrigerante tanto al motor como al sistema de calefacción del vehículo de combustión interna que corresponda.

El estudio de Calorimetría Diferencial de Barrido se realiza bajo norma ASM E 1356 -03^[24] y muestra en la figura 4.8, el comportamiento de especímenes provenientes de carcasas usadas. En esta se muestra el flujo de calor con respecto a la temperatura medida en grados Celsius, de la cual se aprecia que los cambios en la transición térmica son consistentes entre las muestras 1L – H1, 1L – H2, 1L – H1 y 3L – H3, así mismo los valores de las temperaturas, con lo que se confirma que el polímero conserva sus propiedades térmicas, tal como lo indica la literatura y las especificaciones del fabricante. En este caso se muestra una sola gráfica debido a que no existe variación entre las muestras considerable con respecto a la temperatura de fusión.

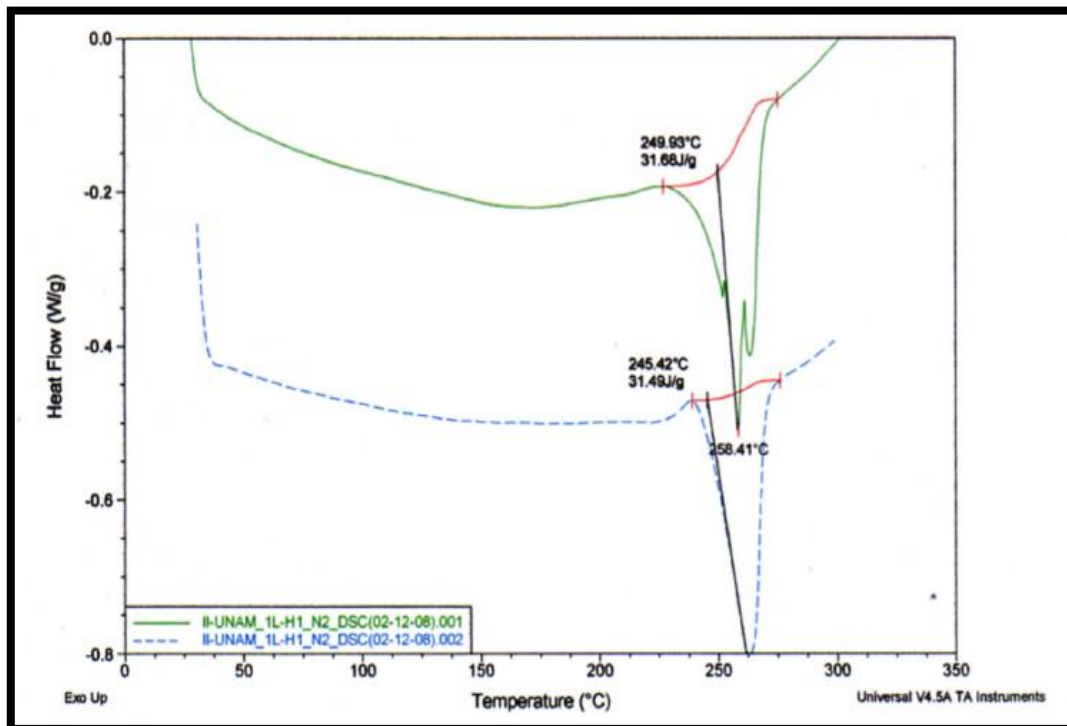


Figura 4.8 Gráfica que muestra el flujo de calor contra la temperatura de la carcasa 1L-H1.

La tabla 4.1, muestra los valores relativos a la temperatura del punto de fusión, que se encuentran en el intervalo que se tiene en la literatura, considerando la variación de este valor al ser muestras tanto de piezas usadas como de nuevas.

Las muestras de las figuras 4.9, corresponden a muestras provenientes de carcasas nuevas, 2L – C1 y 2L – C2, en éstas se observa que al igual que los fragmentos de las piezas usadas, mantienen la consistencia en las etapas de transición térmica, es decir, que no muestran una variación excesiva y están dentro del rango especificado tanto en la literatura como por las mostradas por el fabricante. De igual forma, los valores de temperatura exhiben un aumento en la resistencia dado que son piezas sin alteraciones térmicas, es decir sin uso.

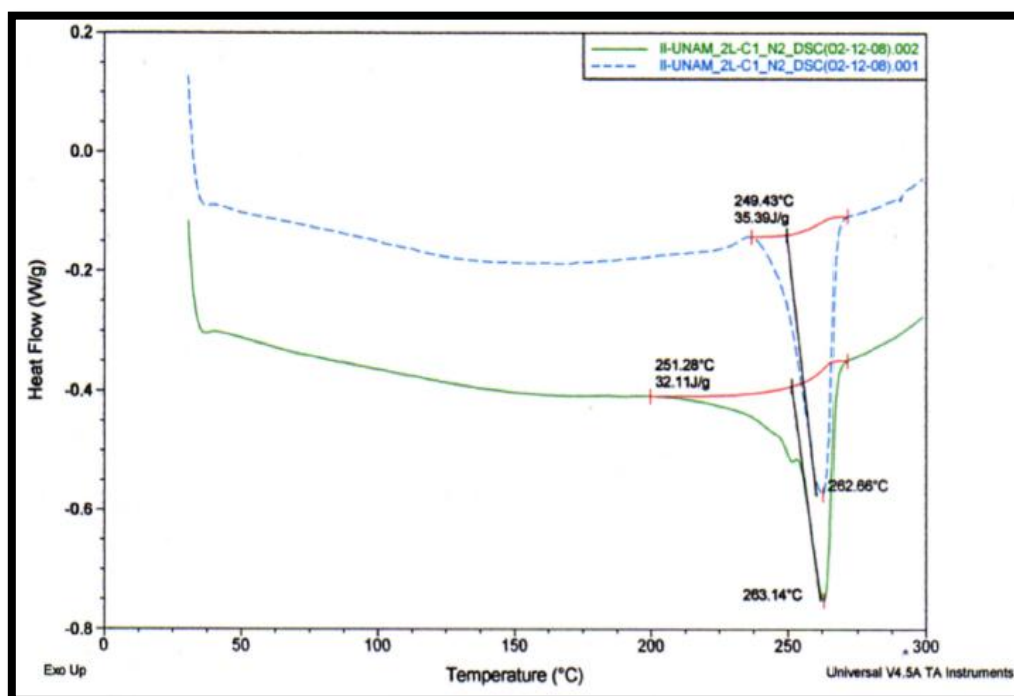


Figura 4.9 Gráfica que muestra el flujo de calor contra la temperatura de la carcasa 2L-C1.

De igual manera, se tiene que en la tabla 4.1 se observan los valores correspondientes a dos piezas nuevas, de la cual se tiene una variación de alrededor de 5[°C] en la temperatura de fusión que muestra una consistencia con relación a las piezas usadas.

Tabla 4.1 Comparación de la temperatura de fusión en las muestras de carcasa usadas y nuevas.

Muestra	Determinación	Transición vítrea [°C]	Punto de Fusión [°C]	Entalpía [J/g]
1L-H1	1	--	249.93	31.68
	2	--	245.42	31.49
1L-H2	1	--	247.22	37.08
	2	--	245.14	35.19
1L-I1	1	--	249.46	30.97
	2	--	245.43	31.18
2L-C1	1	--	249.43	35.39
	2	--	251.28	32.11
2L-C2	1	--	254.14	26.41
	2	--	249.92	29.09
3L-H3	1	--	254.14	26.41
	2	--	249.92	29.09

4.2.2 Análisis TERMOGRAVIMÉTRICO (TGA)

La determinación del contenido de refuerzo en fibra de vidrio, se realiza por medio de ensayos TGA (Thermogravimetric Analysis) bajo la norma ASM E1131^[25], lo cual muestra los siguientes resultados, considerando que la especificación técnica indica el contenido en fibra de vidrio en un rango entre 27.5 - 32.5[%].

En cada caso, teniendo 6 muestras distintas con el siguiente patrón: 1L - H1, 1L - H2, 2L - C1, 2L - C2, 1L - I1, 3L - H3. Se tienen las siguientes gráficas y tablas correspondientes.

En esta figura 4.10, se observan las curvas de termogravimétrico y derivada, en ésta se tiene un refuerzo en fibra del 27.87%, tal como se indica en la tabla 4.2, se encuentra dentro del rango en peso considerando que es un fragmento de una pieza usada, de la cual se consideraría una mayor pérdida de fibra de vidrio. En la tabla 4.3 se muestra la temperatura de flexión correspondiente.

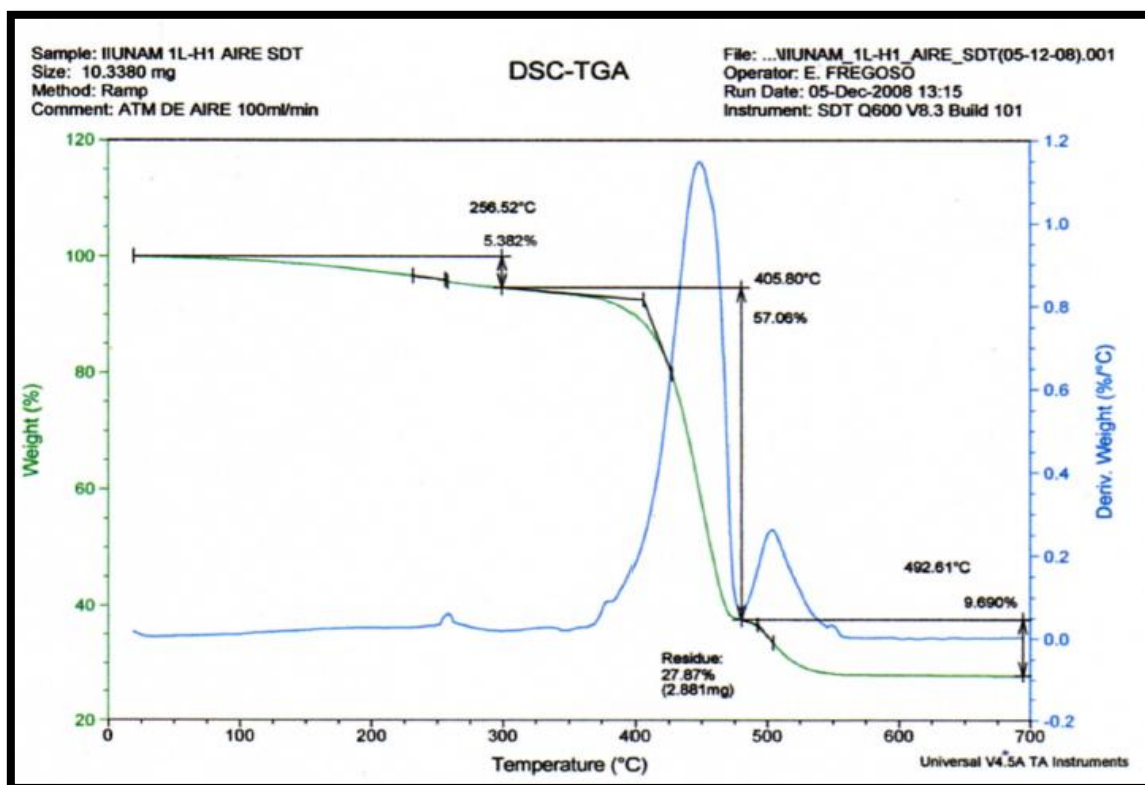


Figura 4.10 Curva de termogravimétrico (% peso) y curva derivada (% peso/°C) del 1L – H1.

Tabla 4.2 Porcentaje en peso de fibra de vidrio.

Intervalo de Temperatura [°C]	Variación de Peso [%]
25 – 300	5.382
300 – 480	57.06
480 – 700	9.69
RESIDUO	27.87

Tabla 4.3 Intervalos de temperatura de flexión.

Intervalo de Temperatura [°C]	Temperatura de Flexión [°C]
230 – 270	256.52
300 – 430	405.80
480 – 500	492.61

En la muestra 1L – H2 (figura 4.11), se ven las curvas del termogravimétrico y la curva derivada en esta el refuerzo de fibra de vidrio que se tiene es de 28.51% como se indica en la tabla 4.4, de la cual se observa que en comparación a la muestra 1l - H1, la pérdida de peso fue menor a la esperada, las temperaturas de flexión son consistentes con respecto a la muestra anterior correspondientes tabla 4.5.

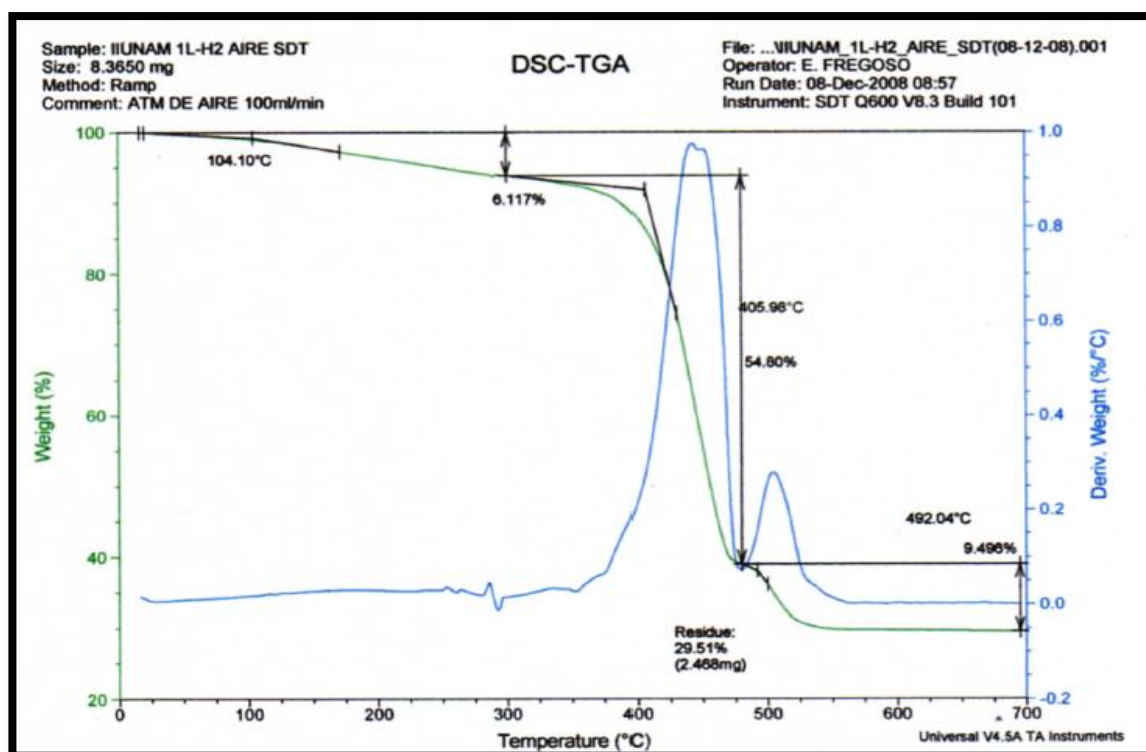


Figura 4.11 Curva de termogravimétrico (% peso) y curva derivada (% peso/°C) del 1L – H2.

Tabla 4.4 Porcentaje en peso de fibra de vidrio.

Intervalo de Temperatura [°C]	Variación de Peso [%]
25 – 300	6.117
300 – 480	54.80
480 – 700	9.486
RESIDUO	29.51

Tabla 4.5 Intervalos de temperatura de flexión.

Intervalo de Temperatura [°C]	Temperatura de Flexión [°C]
230 – 270	255.61
300 – 430	405.98
480 – 500	492.04

En esta muestra de una pieza nueva (figura 4.12), las curvas de termogravimétrico muestran un valor consistente, mientras que para la curva derivada, el refuerzo de fibra de vidrio que se tiene es de 28.36%, indicada en la tabla 4.6; se encuentra en el rango, sin embargo la pieza es nueva con lo que el valor en peso debería ser cercano al 30%, las temperaturas de flexión para esta muestra correspondientes tabla 4.7.

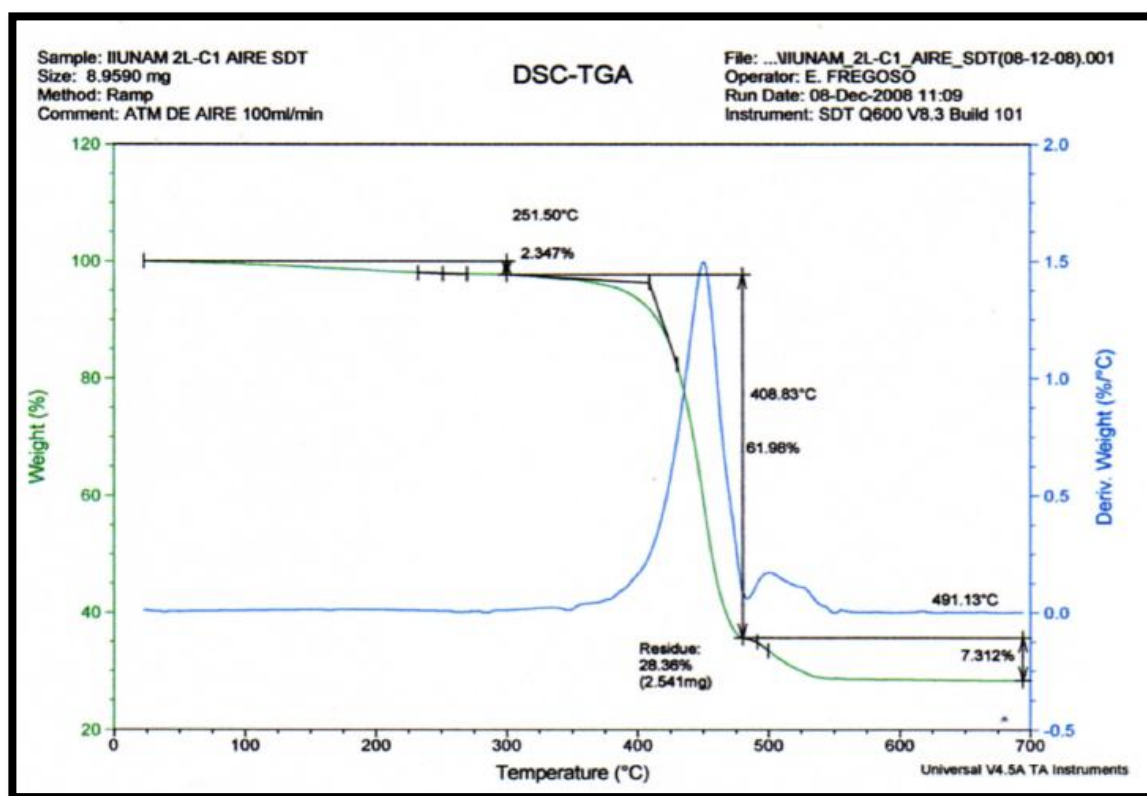


Figura 4.12 Curva de termogravimétrico (% peso) y curva derivada (% peso/°C) del 2L – C1.

Tabla 4.6 Porcentaje en peso de fibra de vidrio

Intervalo de Temperatura [°C]	Variación de Peso [%]
25 – 300	2.347
300 – 480	61.98
480 – 700	7.312
RESIDUO	28.36

Tabla 4.7 Intervalos de temperatura de flexión.

Intervalo de Temperatura [°C]	Temperatura de Flexión [°C]
230 – 270	251.50
300 – 430	408.83
480 – 500	491.13

En una segunda muestra de una pieza nueva (figura 4.13), las curvas de termogravimétrico se muestran consistentes con relación a la muestra anterior. La curva derivada del refuerzo de fibra de vidrio que se tiene es de 28.55% como se indica en la tabla 4.8, el patrón mostrado por las muestras sugiere que la proporción de fibra de vidrio es menor a la indicada por el fabricante. Las temperaturas de flexión se observan dentro del rango de operación, correspondientes a la tabla 4.9.

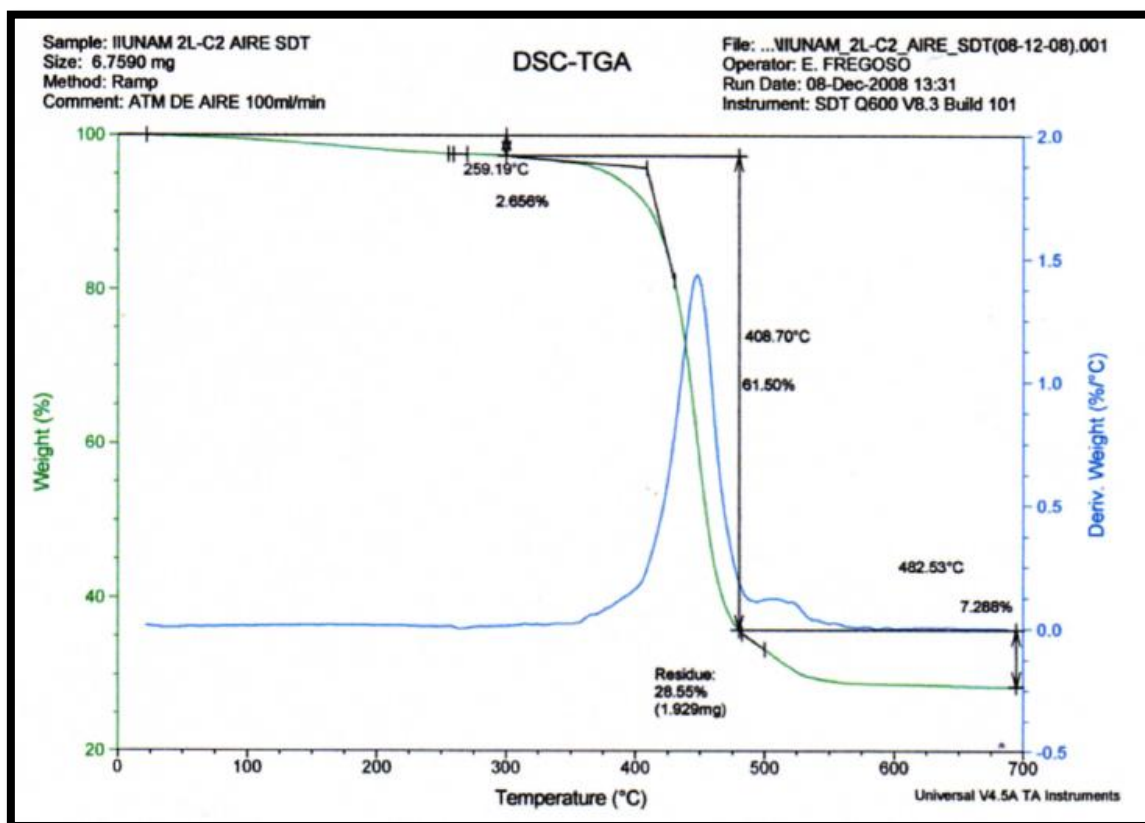


Figura 4.13 Curva de termogravimétrico (% peso) y curva derivada (% peso/°C) del 2L – C2.

Tabla 4.8 Porcentaje en peso de fibra de vidrio.

Intervalo de Temperatura [°C]	Variación de Peso [%]
25 – 300	2.656
300 – 480	61.50
480 – 700	7.288
RESIDUO	28.55

Tabla 4.9 Intervalos de temperatura de flexión.

Intervalo de Temperatura [°C]	Temperatura de Flexión [°C]
230 – 270	259.19
300 – 430	408.70
480 – 500	482.53

La muestra de una pieza usada (figura 4.14), la curva de termogravimétrico tiene el mismo patrón a las anteriores tanto las usadas como nuevas. La curva derivada del refuerzo de fibra de vidrio que se tiene es de 26.82% como se indica en la tabla 4.10, se observa una alteración en esta gráfica, así como una disminución en el porcentaje en peso. Las temperaturas de flexión correspondientes tabla 4.11, son ligeramente menores con relación a las muestras anteriores.

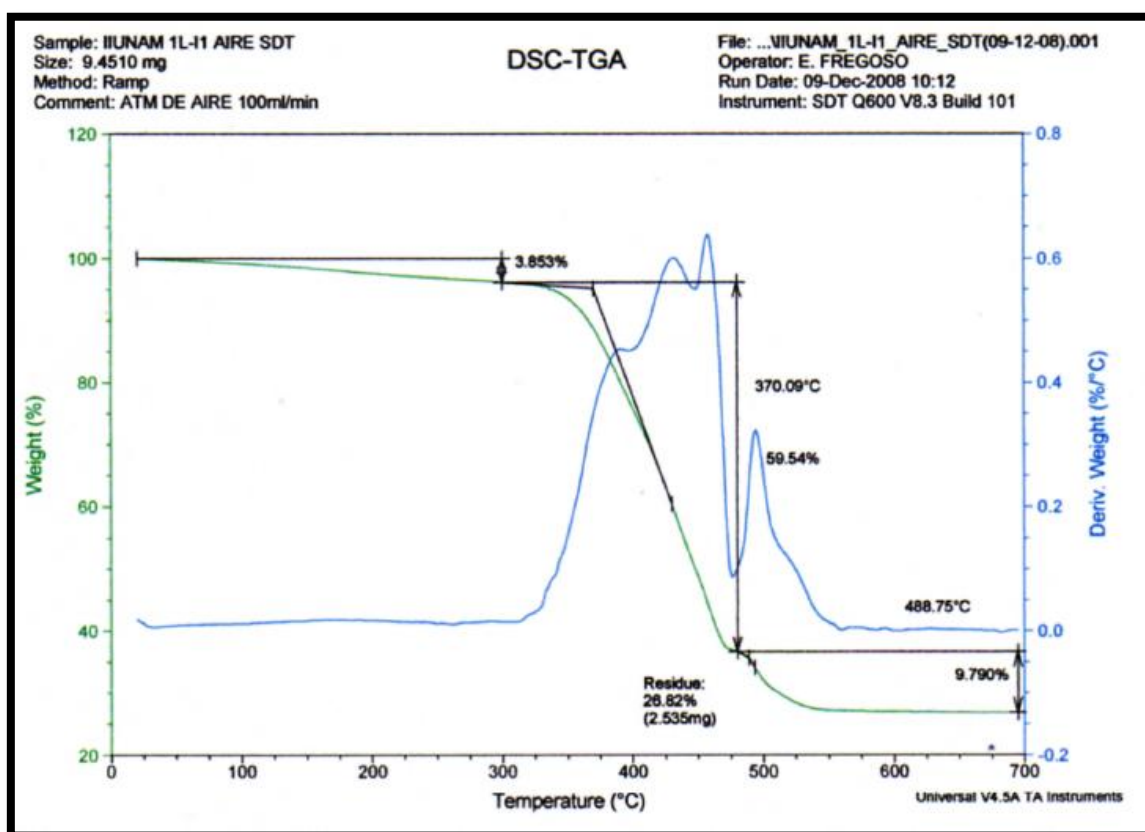


Figura 4.14 Curva de termogravimétrico (% peso) y curva derivada (% peso/°C) del 1L – 11.

Tabla 4.10 Porcentaje en peso de fibra de vidrio.

Intervalo de Temperatura [°C]	Variación de Peso [%]
25 – 300	3.853
300 – 480	59.54
480 – 700	9.790
RESIDUO	26.82

Tabla 4.11 Intervalos de temperatura de flexión.

Intervalo de Temperatura [°C]	Temperatura de Flexión [°C]
230 – 270	-
300 – 430	370.09
480 – 500	488.75

En esta última muestra de una pieza usada (figura 4.15), en las curvas de termogravimétrico se observa la misma tendencia de la curva con respecto a 1L – H1 y 1L – H2. La curva derivada del refuerzo de fibra de vidrio se mantiene dentro del rango con el valor de 28.30% como se indica en la tabla 4.12. Las temperaturas de flexión correspondientes tabla 4.13, son aproximadas a las que se observan en las dos primeras muestras usadas.

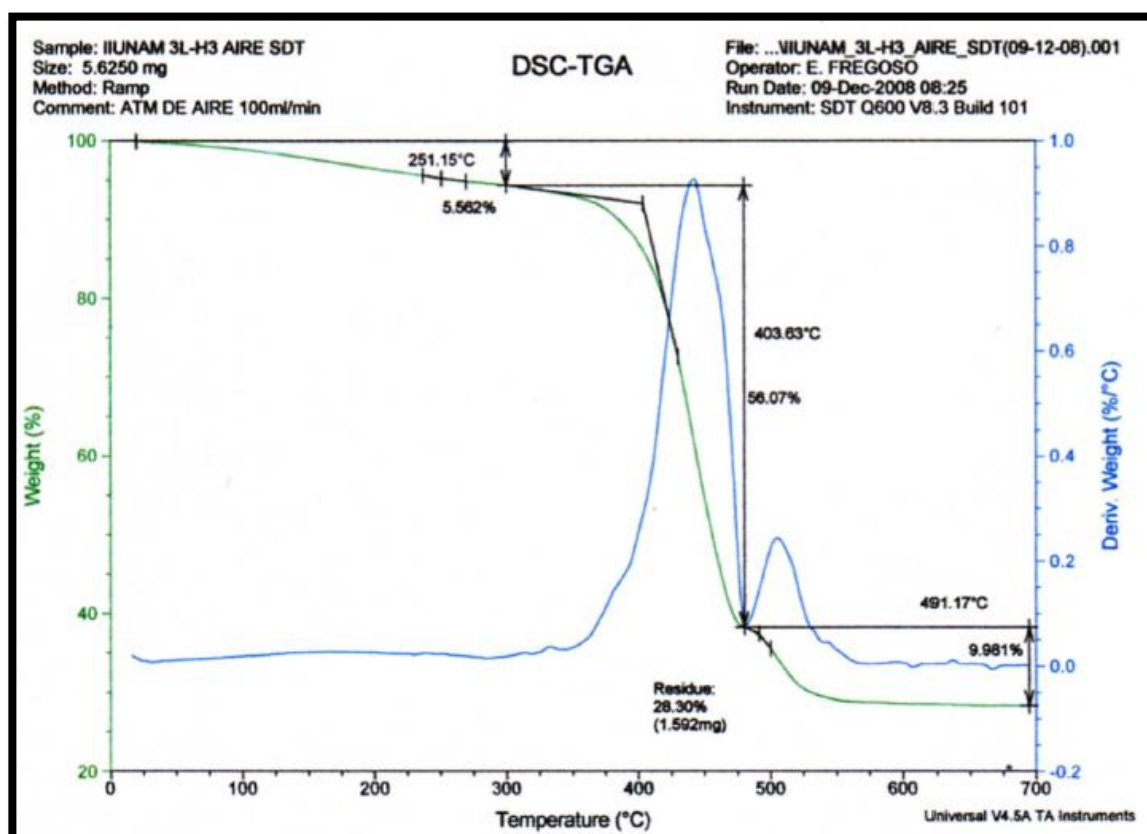


Figura 4.15 Curva de termogravimétrico (% peso) y curva derivada (% peso/°C) del 3L – H3.

Tabla 4.12 Porcentaje en peso de fibra de vidrio.

Intervalo de Temperatura [°C]	Variación de Peso [%]
25 – 300	5.562
300 – 480	56.07
480 – 700	9.981
RESIDUO	28.30

Tabla 4.13 Intervalos de temperatura de flexión.

Intervalo de Temperatura [°C]	Temperatura de Flexión [°C]
230 – 270	251.15
300 – 430	403.63
480 – 500	491.17

En las diferentes gráficas es posible observar que la variación del porcentaje en peso de cada muestra es mayor a un 10% del peso original que es del 30% en peso de fibra de vidrio, sin embargo la pérdida del porcentaje en peso de fibra de vidrio tanto para las piezas nuevas como para las usadas son aproximadas, con excepción de 1L – II. Lo cual indica que se tiene una pérdida de cierta cantidad de peso durante su integración con el Nylon 6,6 en el proceso de conformado, por lo que es necesario realizar nuevas pruebas que permitan establecer la respuesta de la degradación del polímero.

4.3 Metodología para el desarrollo de ensayos térmicos en la válvula termostática

En esta sección, se presenta la evaluación del termostato bajo norma estándar ^[26], teniendo en consideración, la importancia de su adecuado funcionamiento en la regulación del flujo de líquido refrigerante que mantiene en un rango de temperatura al subsistema de enfriamiento, dado el diseño de la válvula termostática en condiciones de alta temperatura y presión a las cuales debe operar. Este dispositivo está expuesto al deterioro paulatino, por lo que es necesario valorar y comprobar los datos proporcionados por el fabricante.

La metodología que se emplea en la evaluación de la válvula termostática, está basada en técnicas de rendimiento térmico que muestran los rangos de temperatura permisibles a los cuales actúa este dispositivo. Los pasos a seguir para este estudio contemplan la observación del comportamiento que tiene el termostato en estado natural (sin restricciones) y con restricciones.

Las etapas a seguir son las siguientes:

1. Inspección de la válvula termostática sin restricciones.
2. Examen preliminar del rango de temperaturas (VTSR).
3. Inspección de la válvula termostática con restricciones.
4. Examen preliminar del rango de temperaturas (VTCR).

4.3.1 Inspección de la válvula termostática

En primera instancia, se toma al termostato en su estado original, sin ninguna restricción y se coloca en un recipiente, de tal manera que no toque el fondo de éste, para ello se amarra un hilo y se sujeta en la parte superior, posteriormente se coloca encima de una parrilla y con un termómetro se procede a tomar las lecturas correspondiente a la temperatura, figura 4.16.

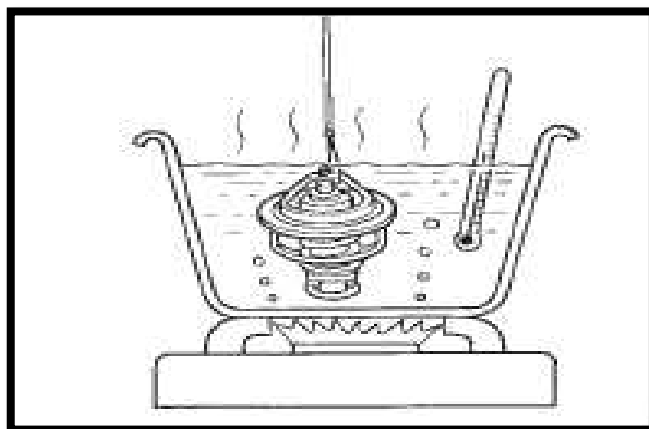


Figura 4.16 Inspección del termostato, en la cual se coloca en un recipiente a una temperatura media para obtener las lecturas correspondientes de apertura de inicio y final de la válvula termostática.

4.3.2 Examen preliminar del rango de temperaturas (VTSR)

En este primer ensayo, se somete al termostato a una prueba de desempeño, para determinar las condiciones de apertura de la válvula, para lo cual se realizaron pruebas de calentamiento de agua hasta el punto de ebullición, con inmersión constante de las muestras, con lo cual se obtuvieron los siguientes valores de la tabla 4.14.

Tabla 4.14 Temperaturas de la válvula termostática.

Condiciones	Temperatura [°C]
Temperatura de inicio de apertura de la válvula	82
Temperatura de apertura total de la válvula	94
Temperatura ambiente	19

Teniendo en consecuencia un desplazamiento del vástago de 14 mm, las temperaturas se encuentran en el rango especificado por el fabricante.

4.3.3 Inspección de la válvula termostática con restricciones

En un segundo caso bajo condiciones de ensamble, se toma al termostato para colocarle alambre de cobre alrededor y así poder sujetarlo, después se le amarra un hilo que pende de un palillo colocado en la parte superior de un vaso de precipitado que contiene 100 ml de agua aproximadamente, por último se coloca encima de una parrilla y se toman las lecturas de las temperaturas pertinentes, con esto el vástago del termostato disminuye su desplazamiento, debido a que los resortes no pueden alargarse al estar en sujeción por el alambre colocado alrededor de éste (figura 4.17).

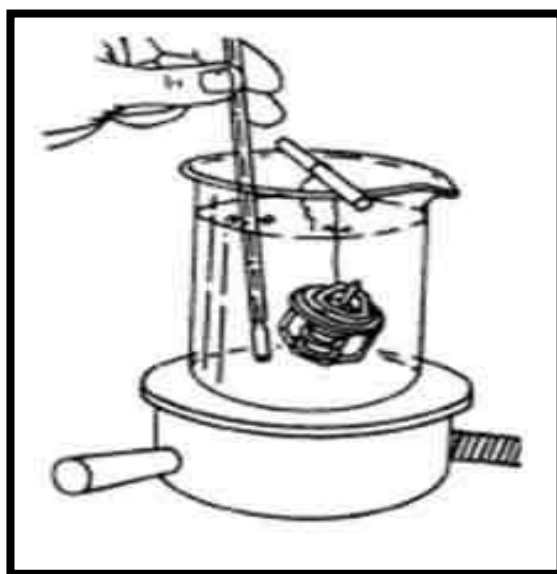


Figura 4.17 Inspección del termostato con restricciones, de igual manera se coloca en un recipiente a una cierta temperatura, para poder tomar las lecturas correspondientes.

4.3.4 Examen preliminar del rango de temperaturas (VTCR)

Considerando que en la posición de ensamble actúan dos resortes oponiéndose al desplazamiento del vástago, se restringió la posición del termostato, simulando la posición original de ensamble, con lo que se obtienen los valores de la tabla 4.15.

Tabla 4.15 Temperaturas de la válvula termostática.

Condiciones	Temperatura [°C]
Temperatura de inicio de apertura de la válvula	82
Temperatura de apertura total de la válvula	95
Temperatura ambiente	19

Para este caso el vástago se desplazó 10[mm] y se observa que la temperatura se encuentra en el rango que especifica el fabricante, así como la constante de rigidez de los resortes de oposición, restringe la apertura de la válvula; en casi un tercio, de lo que abre en condiciones libres.

Dado que se desconocen los parámetros del flujo del refrigerante, tales como el gasto másico o volumétrico, es un factor a considerar en el desempeño del sistema en general.

4.4 Metodología para el desarrollo de ensayos térmicos en la carcasa

Sobre la carcasa como elemento principal de estudio, se realiza la valoración térmica conforme a normas estándar, para obtener el factor de absorción de humedad que tiene cada una de las carcasas en presencia de una mezcla de líquido refrigerante y agua, considerando piezas tanto usadas como nuevas, para ello se procede al corte de cada carcasa, y se observan los rangos de temperatura que soporta para comparar los valores con los especificados por el fabricante.

La metodología utilizada en los ensayos que se realizan a las carcasas, consideran piezas tanto usadas como nuevas, se hacen con base a especificaciones técnicas, para poliamidas (PA 66). Con el fin de corroborar los datos referentes a la absorción de agua, temperatura de fusión (T_m) y contenido de fibra de vidrio.

Las etapas a seguir son las siguientes:

1. Índice de absorción de agua.
2. Medición del peso de las muestras.
3. Valoración del porcentaje de absorción de agua

4.4.1 Índice de absorción de agua

El ensayo para la cuantificación de la absorción de agua por el material polimérico se realiza conforme a la norma ASTM D256^[27], registrando los datos con la especificación indica un rango de 0.8-1.1 [%] de retención de agua, se toma la ecuación 4.1, que se muestra a continuación.

$$\% \text{absorción} = \frac{m_{\text{después}} - m_{\text{antes}}}{m_{\text{antes}}}$$

(4.1)

4.4.2 Medición del peso de las muestras

La Balanza Electrónica de precisión, permite tomar el peso de cada muestra antes y después de cada ensayo; y con la ecuación 4.1 se determinan los valores de la tabla 4.16.

La determinación del peso en masa de cada pieza se considera en un rango de 5 lecturas para cada muestra, con lo que se tiene un porcentaje de absorción de agua.

Tabla 4.16 Porcentaje de absorción de agua.

Muestra	% Absorción
Usada	1.166
Nueva	1.536

Es posible observar un incremento en el porcentaje de absorción de agua, siendo las piezas nuevas las que tienen un elevado porcentaje de absorción, considerando que las piezas usadas, ya tienen un factor de absorción de agua adicional.

4.4.3 Valoración del porcentaje de absorción de agua

Para corroborar el funcionamiento del líquido refrigerante se realizan los ensayos, utilizando en esta ocasión, una mezcla de agua destilada y refrigerante, en diferentes proporciones, las cuales se muestran en la tabla 4.17.

Tabla 4.17 Porcentajes de mezcla refrigerante.

Muestra	Absorción [%]			
	Agua/Refrigerante 75/25	Agua/Refrigerante 50/50	Agua/Refrigerante 25/75	Agua/Refrigerante 0/100
Usada	1.641	1.665	1.429	1.905
Nueva	1.773	1.758	1.848	2.413

Se observa el incremento del índice de absorción en la mezcla de líquido en las piezas nuevas en comparación a las que tiene un cierto tiempo de servicio, teniendo una variación mayor en el porcentaje de Agua/Refrigerante (25/75), aunque el mayor grado de daño se da en un porcentaje de 50/50, lo que sugiere una pérdida de propiedades en el líquido refrigerante, causando una deformación de los fragmentos de Nylon 6,6 (figura 4.18).

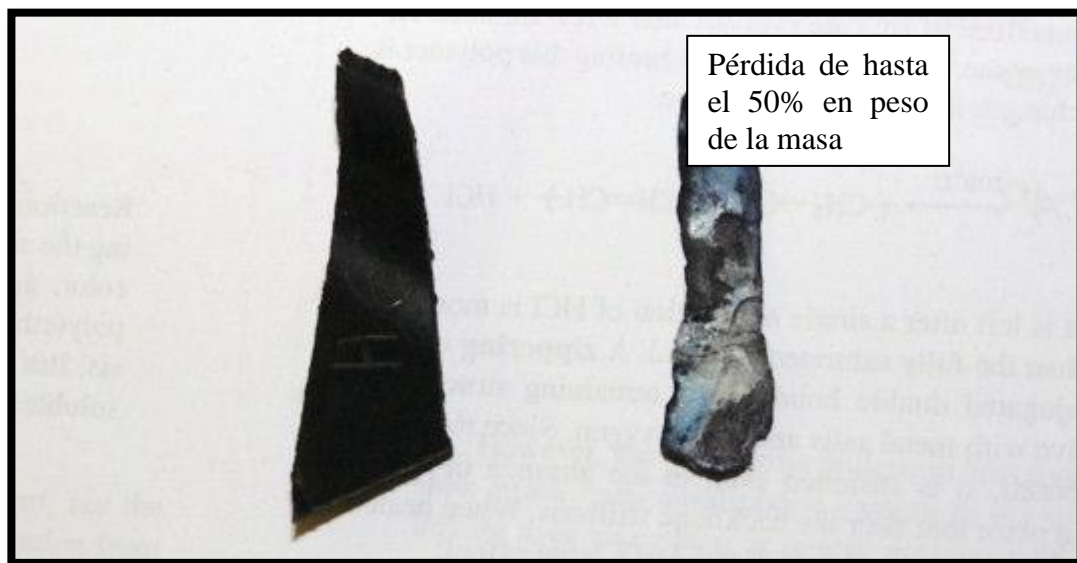


Figura 4.18 Es visible la degradación y pérdida de forma de las muestras.

Así mismo, la masa desprendida del espécimen de ensayo se queda en el recipiente y se forma una mezcla gelatinosa de tono oscuro, que en un tiempo de una hora forma una pasta semirrígida (figura 4.19).



Figura 4.19 En este vaso de precipitados se muestra el desprendimiento del material en la parte inferior, donde se precipita una capa gelatinosa de fibra de vidrio.

Este desprendimiento del polímero ocasiona un cambio en la tonalidad del refrigerante, la cual se alcanza después de rebasar la temperatura de 180[°C], en el momento en el cual la temperatura disminuye hasta la temperatura ambiente alrededor de los 20[°C]. Después de un cierto tiempo, se notan estos depósitos que se precipitan en el interior del vaso y que forman una mezcla viscosa, por lo que es necesario realizar un análisis químico para la determinación final de la degradación del Nylon 6,6 con 30% de refuerzo de fibra de vidrio.

Capítulo 5

Análisis de Resultados

5.1 Análisis para la caracterización del Nylon 6.6 con 30 de refuerzo de fibra de vidrio

La carcasa presenta un fenómeno de degradación, un problema recurrente en el sistema de enfriamiento, debido al sobrecalentamiento y pérdida de mezcla refrigerante al evaporarse, es absorbido cierto porcentaje de la humedad por la carcasa, lo cual produce el efecto de hidrólisis que es la reacción inversa a la amidación que en condiciones de temperatura ambiente se da de forma lenta, sin embargo en un medio de elevada temperatura este proceso se acelera y es catalizada por ácidos y bases contenidos en la mezcla de líquido refrigerante y agua.

El efecto que produce la absorción de humedad en la temperatura de transición vítrea T_g es una reducción de ésta, lo que también depende del grado de cristalinidad del material, el cual es consistente con el rol del agua como plastificante.

Con la presencia de hidrólisis, se observa la despolimerización de la PA (que se trata de un polímero condensado), con lo que se expone y libera el refuerzo de fibra de vidrio, quedando éste entonces en solución y recirculando con el refrigerante, en el sistema de enfriamiento y asentándose en zonas de estancamiento (sobre todo en estado de paro del motor), con ello también se hacen evidentes las líneas de flujo del refrigerante al observar los patrones de asentamiento y las zonas de mayor degradación.

En la observación por medio del Microscopio Óptico, se visualiza que el material tiene en su microestructura aberturas o huecos, que son consecuencia de la degradación de las carcasa como se muestra en la figura 5.1.

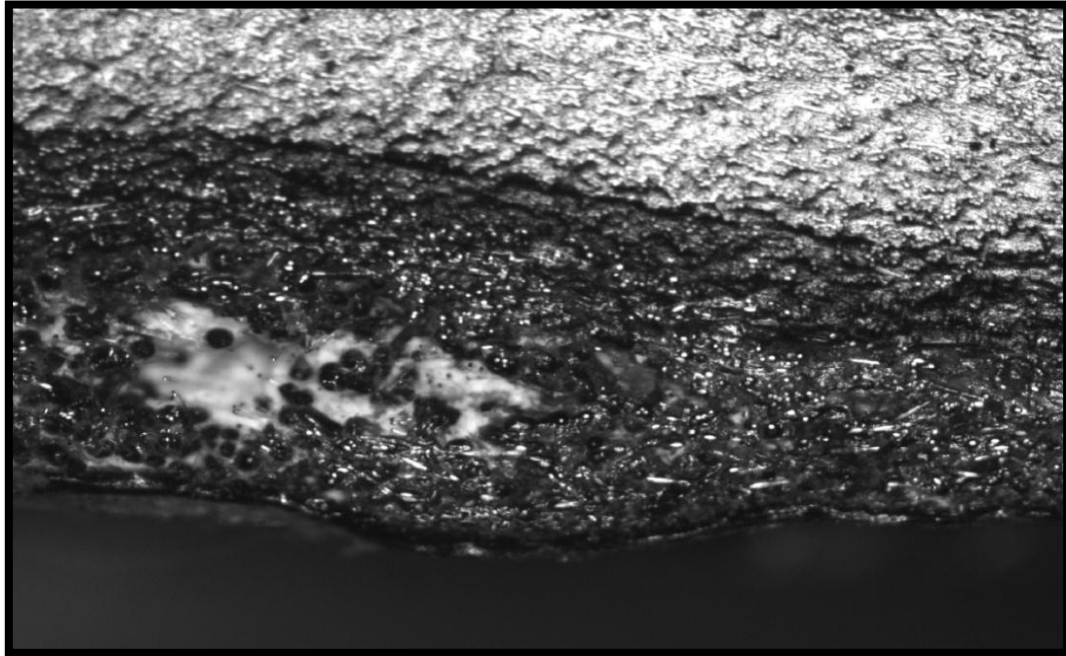


Figura 5.1 Se observa en la parte inferior de la cavidad de la carcasa una cavidad, 100x.

En una carcasa nueva, también están presentes estos huecos que se generan durante el proceso de inyección, por un inadecuado flujo de material y se refleja en la figura 5.2.

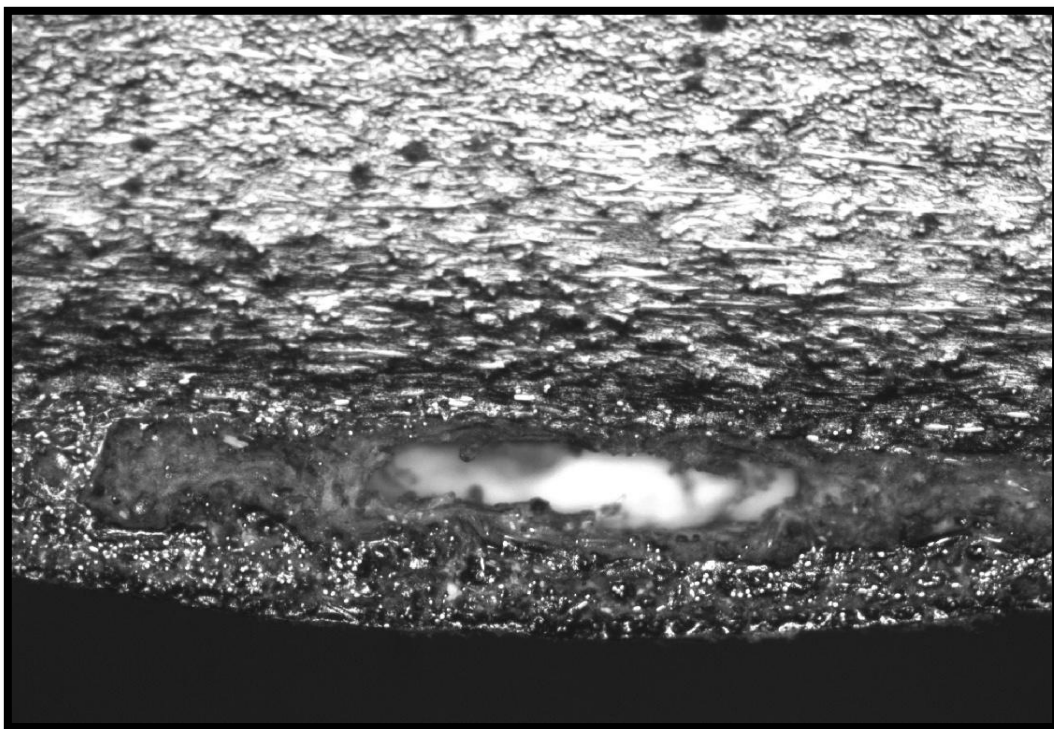


Figura 5.2 En una pieza nueva, 100x.

En la figura 5.3, es posible observar grietas en la estructura de la carcasa con lo cual condiciona el funcionamiento de la misma.

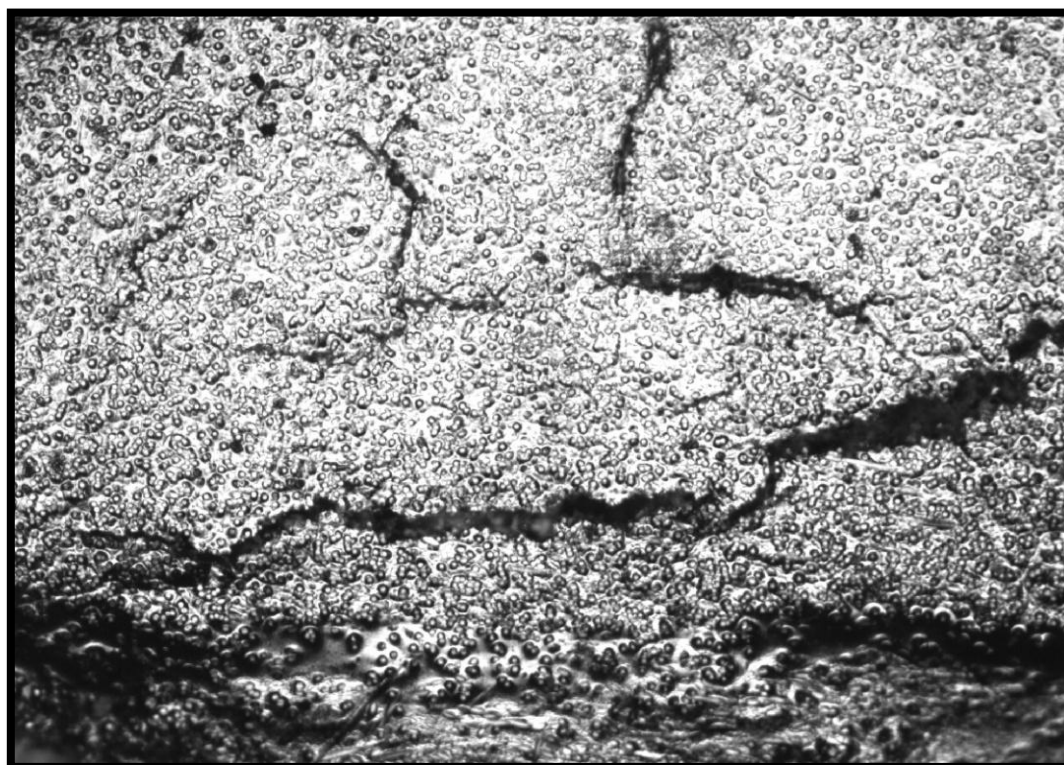


Figura 5.3 En esta se observan grietas, 100x.

Esta caracterización del Nylon 6.6, permite corroborar los valores en el cual se debe mantener tanto la temperatura de fusión, como la temperatura de transición vítrea, siendo ésta última un parámetro de estudio en el presente trabajo.

En el estudio de la Calorimetría Diferencial de Barrido el rango en el cual se presentan las muestras se encuentra entre 245-254[°C], considerando este intervalo como aceptable, debido a que las piezas utilizadas para la valoración de los distintos estudios son de carcasas nuevas y que ya han estado en operación como 1L – H1, 1L – H2, 1L – I1 y 3L – H3; las piezas provenientes de piezas nuevas corresponden a 2L – C1, 2L – C2.

En el estudio del Análisis Termogravimétrico, el porcentaje del peso de fibra de vidrio se encuentra en un intervalo de 26-29[%], sin exceder el 29% de peso es admisible, dadas las condiciones de degradación que presentan las carcasas. Esto permite observar que el daño en la pérdida de la composición y textura por los efectos térmicos, es uno de los factores a considerar en el análisis. Sin embargo es posible establecer que en el proceso de mezclado del Nylon 6,6 con el refuerzo pueden existir pérdidas de la fibra de vidrio, lo cual genera variación de las mediciones; de igual forma, la pérdida progresiva de las propiedades físicas y químicas en el uso de las carcasas.

Se observa como consecuencia en la figura 5.4, el comparativo de las distintas gráficas de la temperatura a la cual las muestras empiezan a tener una pérdida progresiva hasta el grado de la descomposición.

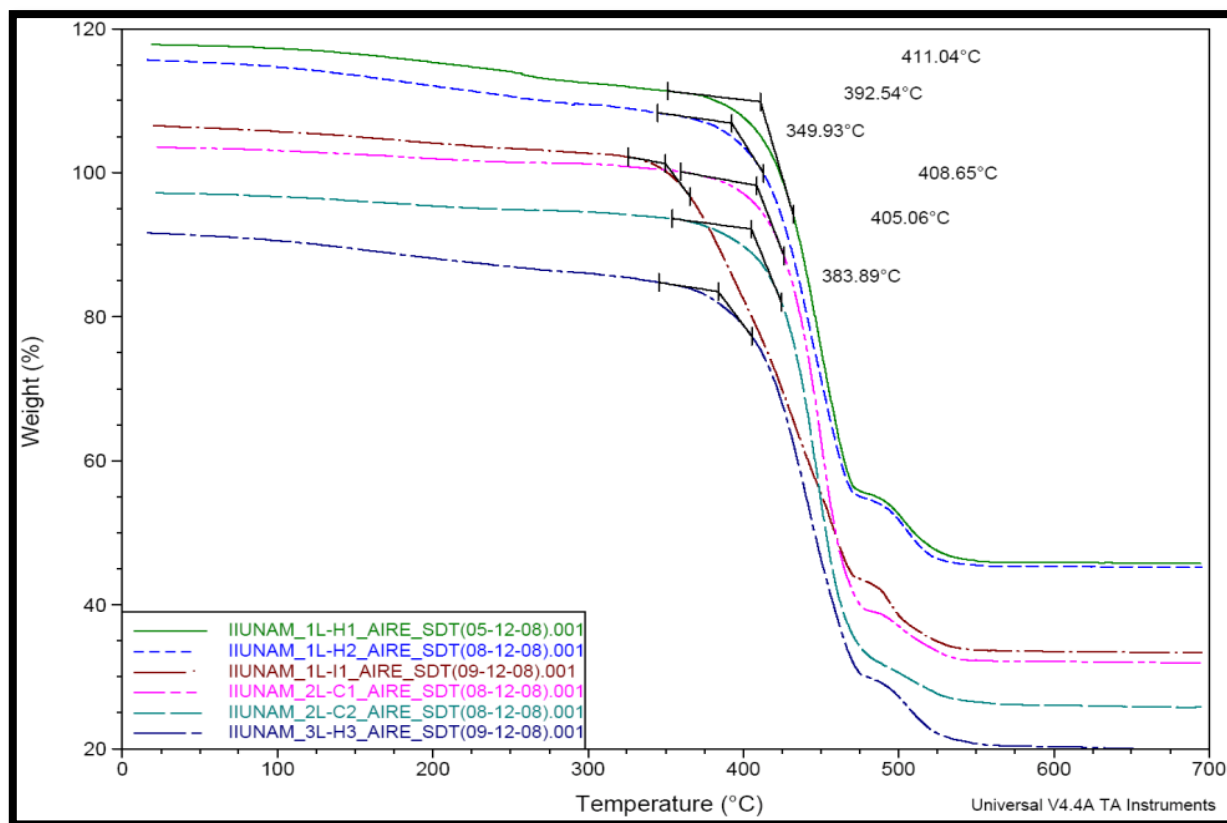


Figura 5.4 Temperaturas de descomposición de las muestras.

Pero no es suficiente indicio, que permita establecer las condiciones de degradación del material polimérico, ya que la variación de porcentaje en peso está en un rango de 4% de peso de fibra de vidrio.

5.2 Ensayos térmicos en componentes del sistema de enfriamiento

5.2.1 Termostato

En estas pruebas que se realizan para el termostato, como primer elemento de estudio, se comprobó en primera instancia la fiabilidad y el funcionamiento en operación de este componente, con lo cual, se establece que el termostato en el principio de su funcionamiento trabaja de forma adecuada, tanto en posición abierta como en posición cerrada (con restricciones), sin embargo cabe destacar que su funcionamiento está limitado por los agentes con los cuales se encuentra en contacto, tales como el líquido refrigerante que se utiliza y el agua regularmente potable, pero para este estudio se utilizó agua destilada.

5.2.2 Carcasa y líquido refrigerante

Se constató que una elevada temperatura producía deformación en la carcasa, así mismo la absorción de agua hacia que se ensancharan. En otras, simplemente, el material se degradaba y dejaba expuesto el refuerzo de fibra de vidrio.

En la figura 5.5 se observa el cambio en la tonalidad del líquido refrigerante que en su estado original es rojo y que al integrarse con el material tiene un color oscuro, considerando que la mezcla se consideraba de 50% líquido refrigerante y 50% agua destilada.

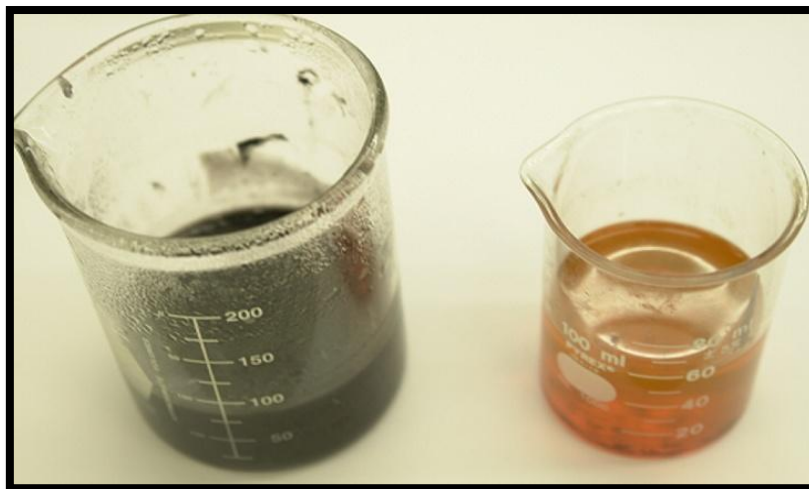


Figura 5.5 En esta se observa el cambio de tonalidad en el refrigerante.

Cabe mencionar que durante las pruebas, se observa la formación de depósitos, así como el desprendimiento de fibra de vidrio presente en prácticamente todos los ensayos que se realizaron como se muestra en la figura 5.6, donde es visible la formación de una capa gelatinosa en la parte inferior del vaso, quedando por encima de esta la mezcla refrigerante.



Figura 5.6 En este vaso de precipitados se encuentra material polimérico disuelto en el líquido refrigerante.

De esta forma, se observa que las muestras con las cuales se realizan los ensayos, tienen una pérdida de material al alcanzar una temperatura de inicio de 150[°C] hasta los 180[°C], en el cual comienza el material a deformarse y desprender, en un principio, el refuerzo de fibra de vidrio hasta pérdida paulatina de sus propiedades físicas y su forma geométrica como se observa en la figura 5.7.

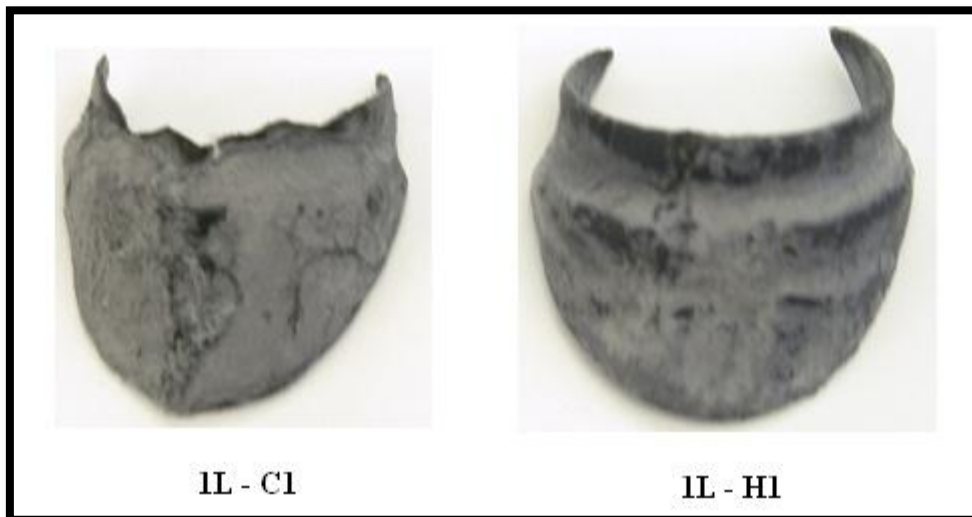


Figura 5.7 En esta prueba se toma un trozo de una pieza nueva y una usada, respectivamente 1L – C1 y 1L – H1.

Capítulo 6

Conclusiones

En el presente trabajo se estableció la problemática del módulo del sistema de enfriamiento, el cual presenta fallas debidas a la degradación y deformación. Asimismo se determinó que una de las causas que propicia el deterioro progresivo de la carcasa es el inadecuado proceso de conformado en la elaboración de ésta pieza. Aunado a una inapropiada selección del material elaborado a base de Nylon 6,6 con 30% de refuerzo de fibra de vidrio.

Durante la investigación de la carcasa se observó el mismo patrón de daño en la carcasa con cierto tiempo de uso. La calidad de la carcasa original es adecuada, en primera instancia, para la aplicación y uso en el sistema de enfriamiento, sin embargo, al ser un material que se utiliza por primera vez bajo las condiciones de elevada temperatura, era complicado predecir o esperar una falla progresiva.

Las carcasas de repuesto, tienen características un tanto distintas: son más flexibles al momento del corte realizado en cada pieza, poseen un tono brillante en comparación de las piezas originales que son de un tono totalmente opaco; aspectos a considerar en la valoración de los distintos ensayos a los cuales fueron sometidas las carcasas tanto usadas como nuevas.

Flujo de la mezcla refrigerante

Las marcas de flujo observadas en cada una de las carcasas usadas, es el rastro de la fibra de vidrio que se desprende al paso de la mezcla refrigerante. El patrón de flujo turbulento que se genera por la geometría de la carcasa y por los ductos tanto de entrada como salida de ésta, no son un factor determinante, que altere o degrade la carcasa. Sin embargo propicia que la degradación se dé de manera gradual aunado a la alta temperatura y presión, asimismo por presencia de residuos, debido al desprendimiento de material polimérico.

Valoración del termostato y sensor

Dadas las condiciones de operación en las que se encuentra el termostato, la valoración térmica mostró fiabilidad de éste en su estado original, sin embargo no se descarta completamente alguna falla por corrosión con el paso del tiempo, debido a los cambios recurrentes de temperatura, principalmente de la mezcla refrigerante.

El sensor es un dispositivo muy sensible, susceptible a fallas durante la lectura de la temperatura, ya que al estar en contacto directo con la mezcla refrigerante se generan cambios que alteran su funcionamiento y requiere de un chequeo regular, con lo cual se pueda evitar un daño en algún otro componente.

Absorción de agua en la carcasa

Durante los ensayos realizados fue factible establecer el índice de absorción de cada muestra que se utilizó para dichas pruebas. Este valor fluctuaba alrededor de 1.665% y 1.758% en una mezcla de 50/50, tanto para la muestra usada como para la nueva, respectivamente. Tomando en consideración que en normas ASTM este valor se estima en un rango de 0.8 – 1.1. En el caso de un 100% líquido refrigerante, la absorción es de 1.905% y 2.413%, usada y nueva respectivamente, lo cual permite establecer un incremento sustancial que afecta de sobremanera las propiedades del Nylon 6,6 con 30% de refuerzo de fibra de vidrio.

Porosidad en la carcasa

La presencia de porosidad en cada una de las piezas (Anexo A), sugiere que el proceso de inyección para su conformado es el adecuado. Es posible establecer que las causas de la degradación son derivadas del inadecuado flujo de Nylon 6,6 durante el proceso, ya que en las carcasas con daños por la degradación es visible la formación de capas debidas al desprendimiento de la fibra de vidrio.

Este efecto de capas por la solidificación (Anexo C) del Nylon 6,6 en distintas etapas y el grado de absorción de agua por la elevada temperatura y presión a la cual se encuentran sometidas las cavidades de la carcasa, producen una dilatación térmica, donde la carcasa experimenta un ensanchamiento que da como resultado la deformación y degradación de las piezas, en consecuencia los depósitos que se observan en éstas es sólo el efecto de la fibra de vidrio que al ser expuesta a la temperatura del ambiente toma el tono gris.

Así mismo, la proporción de líquido refrigerante para el sistema de enfriamiento debe contener menor cantidad de agentes corrosivos, que suelen dañar la superficie de la carcasa, absorbiendo mayor cantidad de agua. La proporción de 50/50 entre el líquido refrigerante y la cantidad de agua suministrada a la mezcla es adecuada al funcionamiento del sistema de enfriamiento.

Por último, respecto a un material alternativo acorde a las necesidades de temperatura y presión del subsistema de enfriamiento, se estima en diversos estudios de comparación de poliamidas (Anexo B), las ventajas de las poliftalamidas (PPA) sobre las poliamidas (PA); en el cual se considera una PPA reforzada con un 35% de fibra de vidrio de uso comercial y permite mantener su elevada resistencia estática y dinámica.

Anexo A

POROSIDAD EN EL MATERIAL

En esta sección, se observan las anomalías que presentan las distintas muestras en el corte y la preparación para la valoración de éstas en los ensayos térmicos, se muestran las discontinuidades en el material, por lo que al realizar el pulido de secciones tomadas al azar, se constató la presencia de porosidad en cada de las distintas carcasas, tanto nuevas como usadas.

A continuación se presentan las imágenes que registran este defecto.

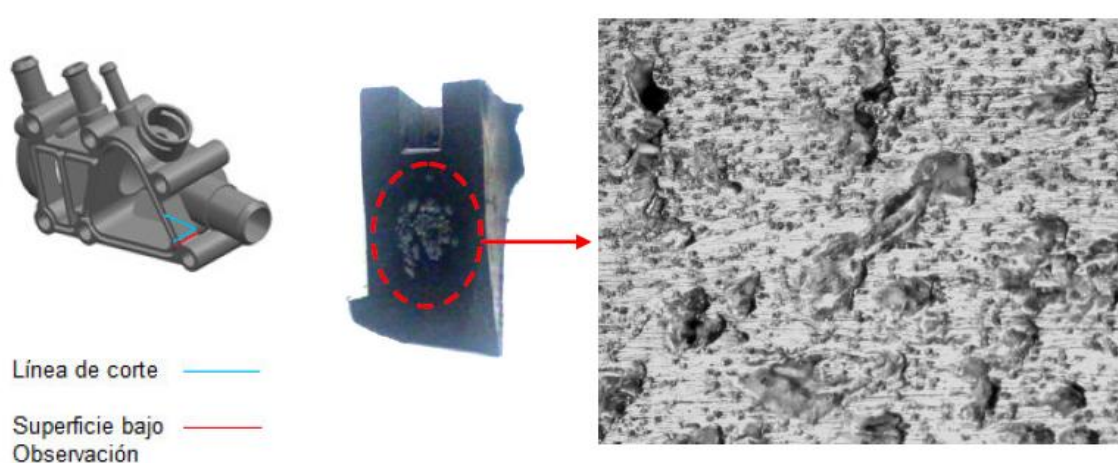


Figura A1 Muestra correspondiente a la carcasa 1L-C1, el corte es adyacente al conducto de salida hacia el radiador, las marcas en la pieza son impurezas generadas en el proceso de conformado debido a que es una carcasa nueva y como se observa fisuras en la micro estructura de la pieza.

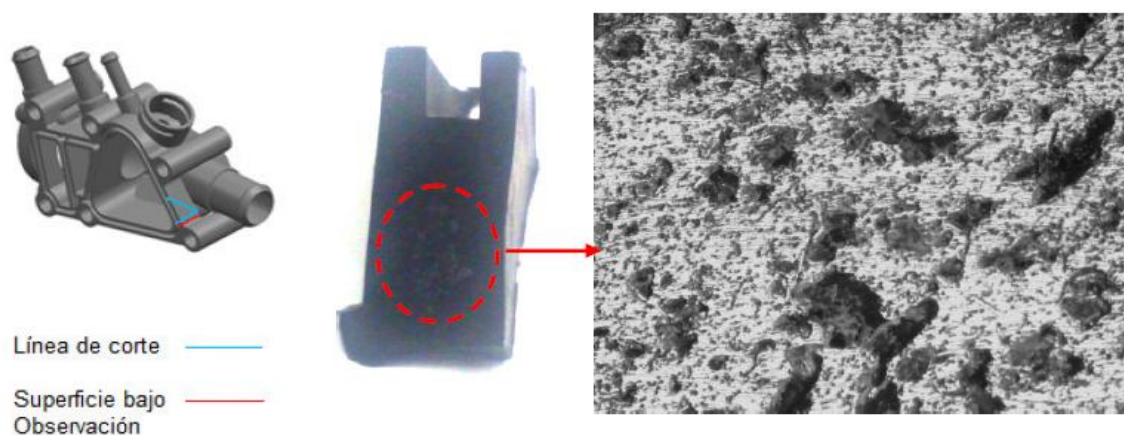


Figura A2 Muestra correspondiente a la carcasa 1L - H1, el corte es adyacente al conducto de salida hacia el radiador, en esta pieza es posible observar las marcas de los poros, tal como en la carcasa anterior, sin embargo esta pieza es de una carcasa original y también se observan fisuras en su microestructura.

A continuación se presenta una galería de imágenes de muestras con cortes transversales que exhiben porosidad, así como el diagrama de su posición en la carcasa.

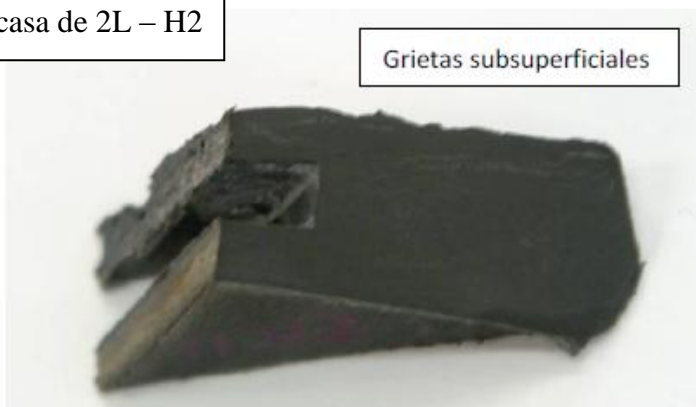
Carcasa de 2L – C2



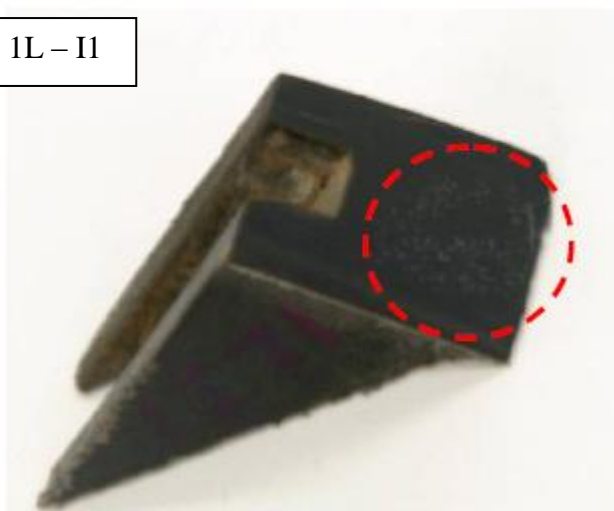
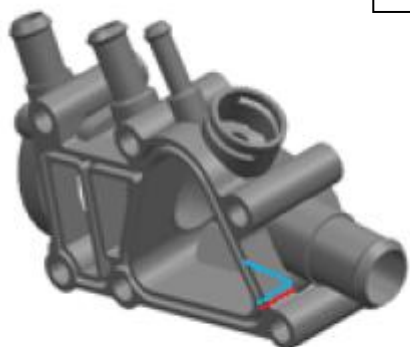
Carcasa de 2L – H2



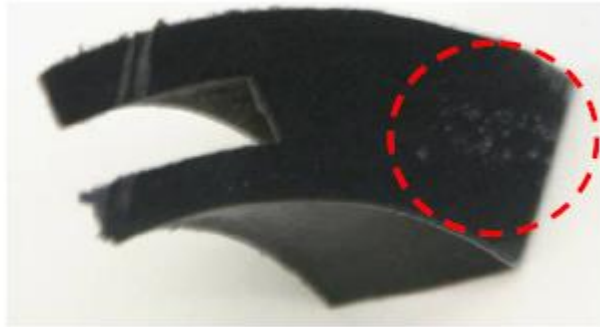
Grietas subsuperficiales



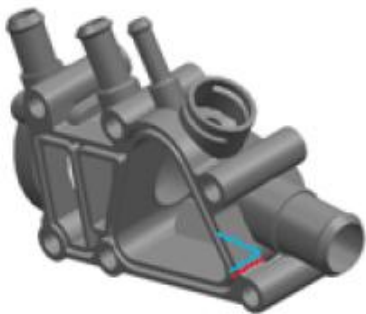
Carcasa de 1L – I1



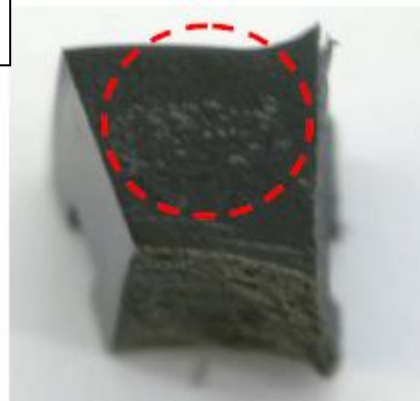
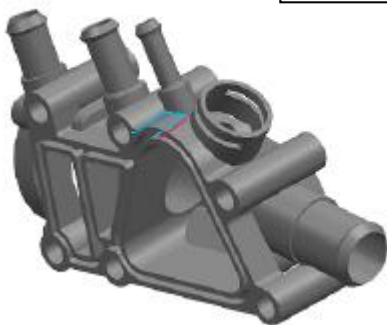
Carcasa de 2L – C1



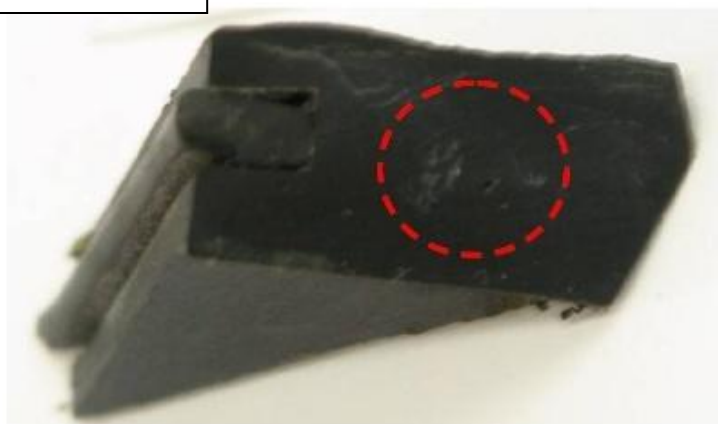
Carcasa de 1L – H1



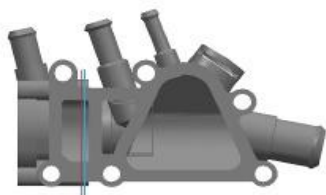
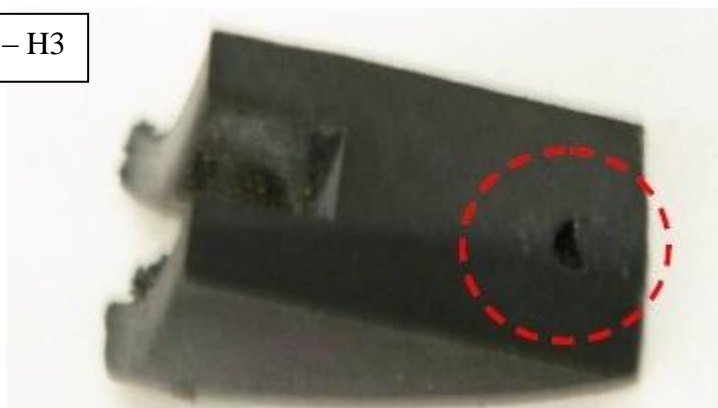
Carcasa de 1L – H2



Carcasa de 1L – H2



Carcasa de 3L – H3



Carcasa de 3L – H3

Anexo B

COMPARATIVO DE PROPIEDADES DE PA vs PPA

En la comparación referente a la estabilidad dimensional y a todas las temperaturas propias de esta aplicación, la PPA presenta mayor consistencia en su composición con relación al PA, como se observa en la figura A1. Además de una alta resistencia química y a la hidrólisis; y una elevada compatibilidad con PA 66 para el sobre-moldeado de piezas de plástico adicionales.

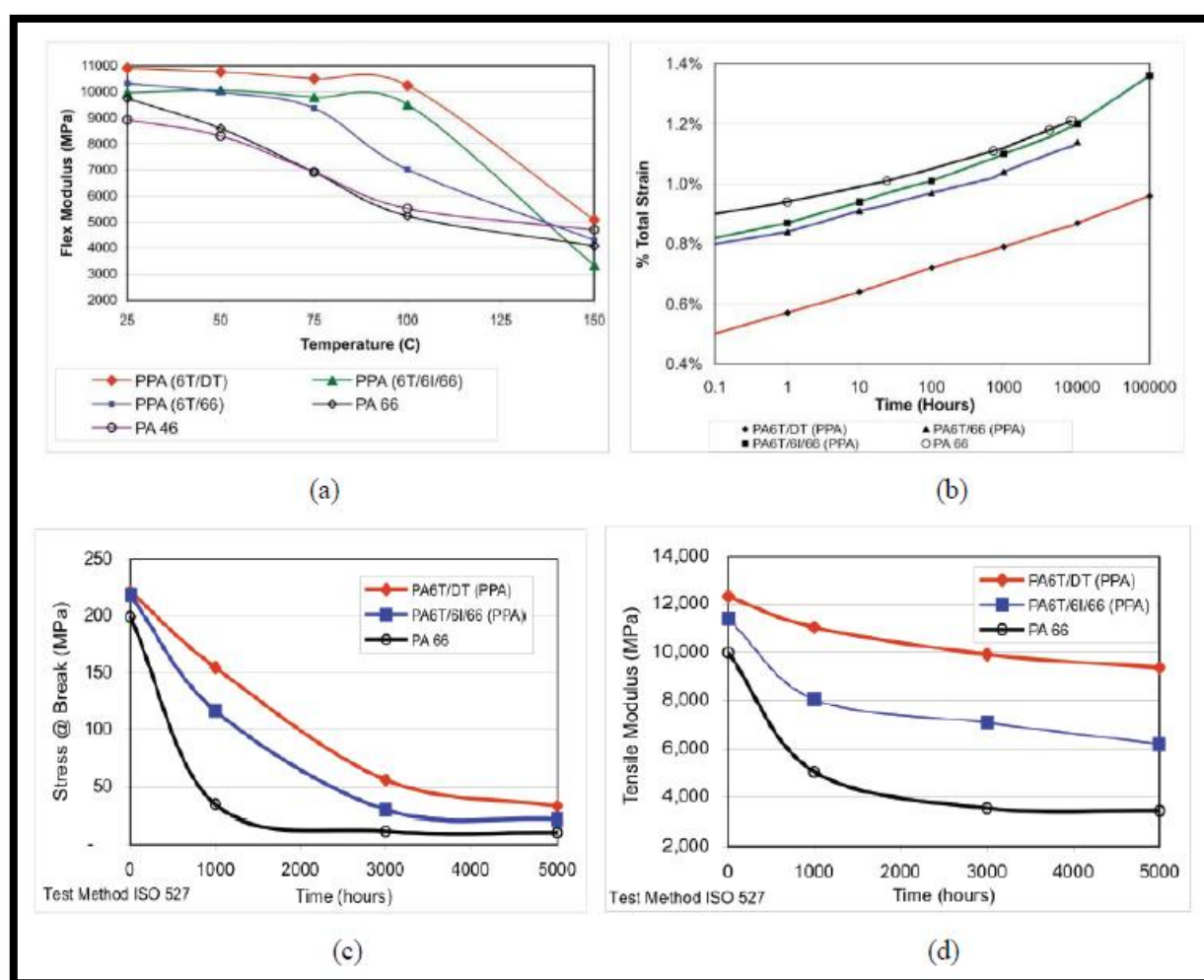


Figura B1 (a) Módulo de flexión para varas poliamidas con 30-35% de refuerzo en fibra de vidrio; (b) Deslizamiento a la flexión mediante análisis mecánico dinámico (DMA) a 150°C, 28 [MPa]; (c) esfuerzo a la ruptura para poliamidas reforzadas al 30-35% expuesto a agente químico a 130[°C]; (d) Modulo de tensión para poliamidas reforzadas al 30-35% expuesto a agente químico a 130[°C].

Anexo C

ETAPAS DE SOLIDIFICACIÓN EN EL PROCESO DE CONFORMADO DE LA CARCASA

El flujo que existe durante el moldeo es complicado porque el plástico se enfría y solidifica durante el proceso de llenado. El perfil de llenado no es una típica parábola porque el polímero cercano de la pared fría del molde solidifica formando una piel entre el molde y el núcleo, por lo que debe darse de forma uniforme para tener un flujo de llenado, que permita introducirse por todo el molde. En la figura C1, se muestran las capas durante el llenado de las cavidades del molde, cuando no se tiene una temperatura adecuada.

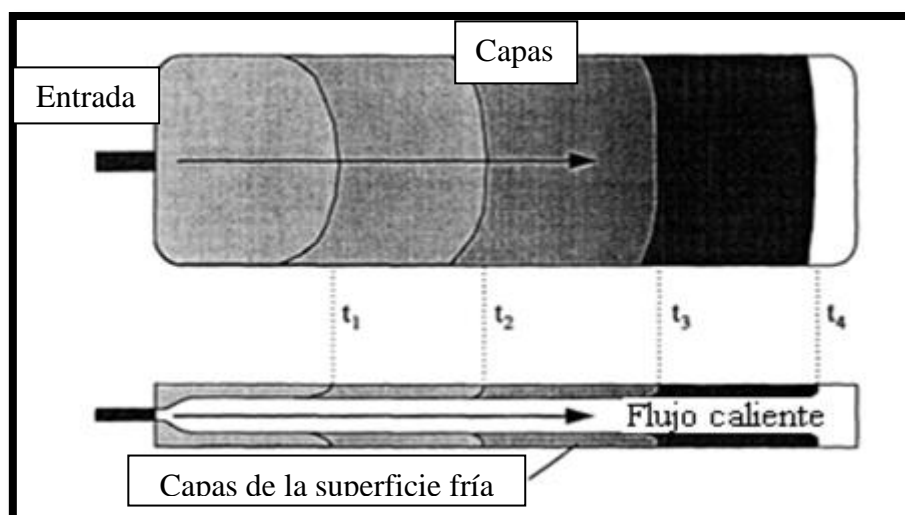


Figura C1 Capas durante la solidificación durante la inyección [28].

Durante el flujo de llenado el efecto producido en la superficie de enfriamiento sobre la microestructura, forma capas. La capa cercana a la pared del molde se enfría rápidamente (capa fría) lo que inducirá características amorfas, mientras que el núcleo, que se enfría mucho más lentamente dará lugar a una mayor cristalinidad. Este enfriamiento anisotrópico puede presentar un problema cuando lo que se desea son propiedades isotrópicas.

Para ello, la presión debe ser controlada, tanto la viscosidad del material que se tiene, debido a la fluidez que presenta, así como la carga que se deba tener del mismo. De igual manera la geometría del molde, en la figura C2 se muestra la carcasa en 3D, en la cual se observa que el punto de inyección está en la parte posterior de esta, lo que dificulta el flujo del material debido a lo complejo de la geometría.

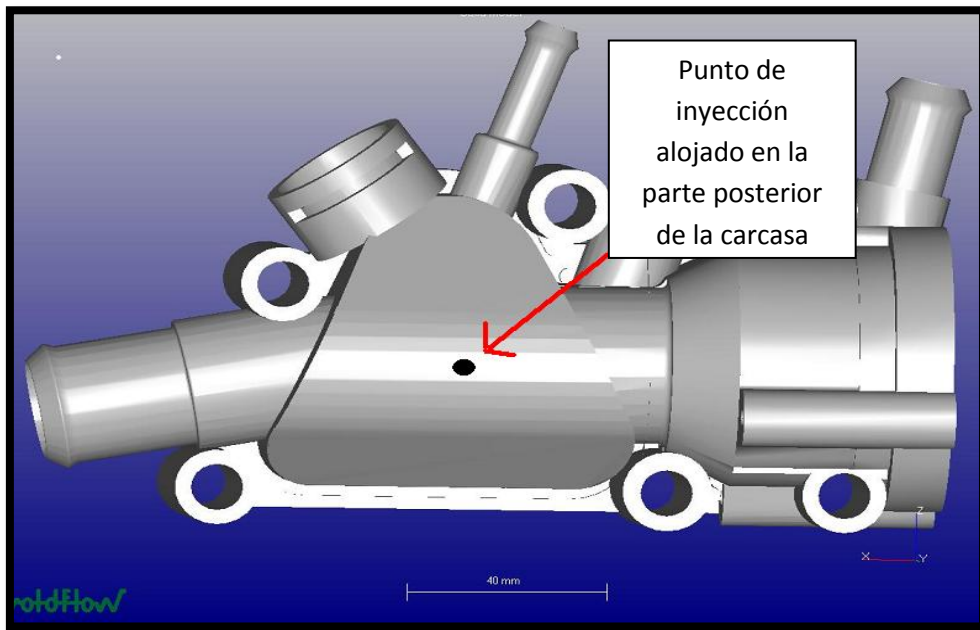


Figura C2 El punto de inyección se encuentra en la parte opuesta de la carcasa, lo que dificulta la distribución adecuada del material polimérico.

La velocidad a la que se realiza la inyección influye en el llenado, dado el perfil de velocidades que se tiene por la geometría de la pieza que puede ser de gran longitud, espesor o compleja, esto puede ocasionar que el molde no se llene o se tengan distintas etapas de solidificación en la pieza (figura C3).

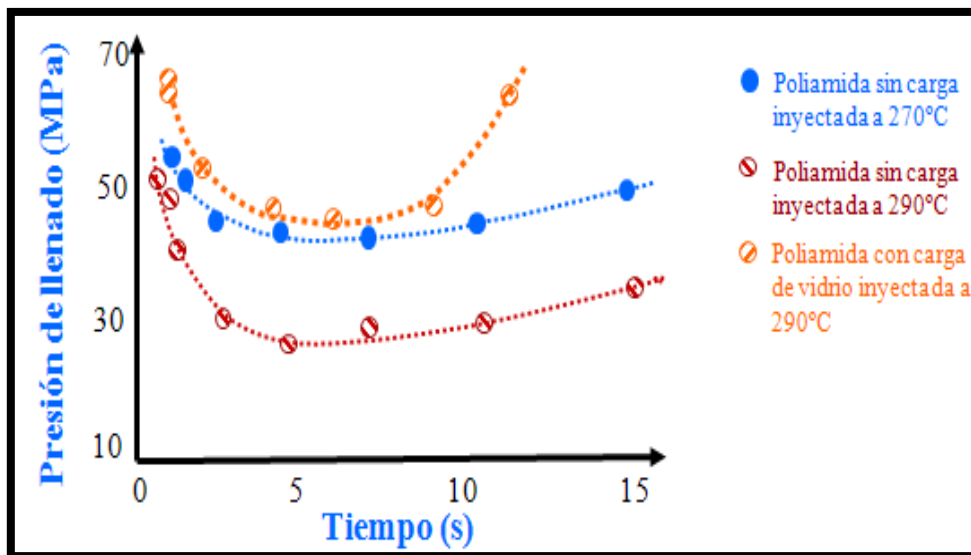


Figura C3 Gráfica de presión de llenado contra tiempo [29].

En la figura C4, se muestra la evolución de la presión durante el ciclo de inyección, de la que se observa que el tiempo de la refrigeración es mayor al tiempo de cierre, y se da la solidificación de entrada, se ve como decrece la presión de la cavidad al transcurso del tiempo.

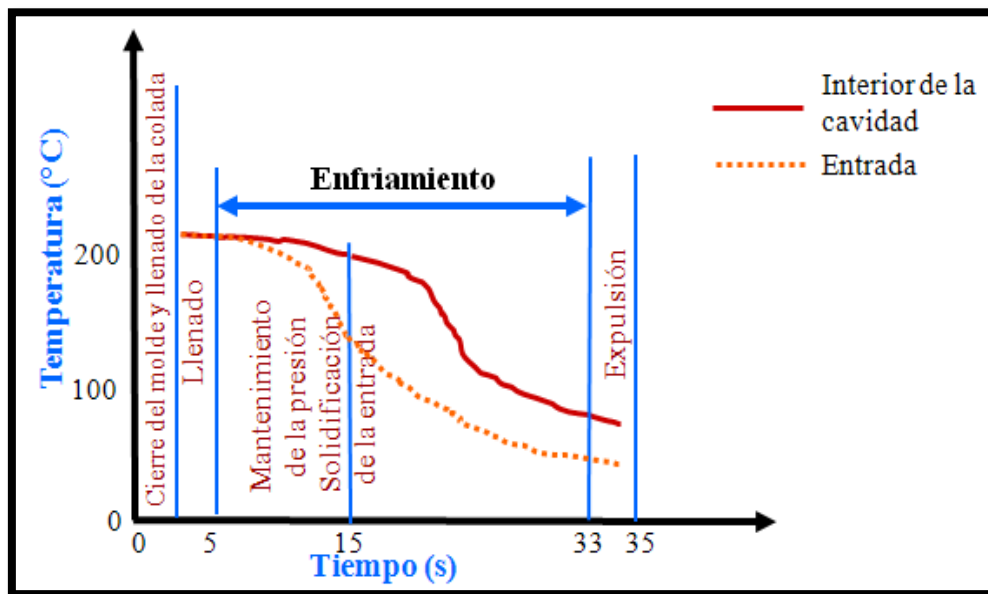


Figura C4 Gráfica de temperatura durante el ciclo de inyección.

Esta representación muestra la evolución de la temperatura durante el ciclo de inyección, de igual forma se ve como la curva en el interior de la cavidad decrece al transcurrir al ir enfriándose el fluido. Por lo que es conveniente establecer los parámetros de cada etapa en la solidificación para evitar la formación de capas que puedan dañar los componentes durante su tiempo de uso. Considerando que la geometría de la carcasa es compleja dichas etapas se producen en un menor tiempo, formando capas que generan la pérdida del material polimérico.

Referencias

DOCUMENTOS

- [5] INCROPERA, F-DEWITT, D. Fundamentals Heat & Mass Transfer. Editorial John Wiley& Sons INC. 1990.
- [8] Jo E., Hage, E., Carvalho A, Morphological, mechanical and thermal properties of nylon 6/ABS blends. Journal of Materials Science. 2005. Vol 40 No. 16
- [9] Op. cit. MANESChanda, SALIL K.Roy. Plastics Technology Handbook. Marcel Dekker, inc. USA.3th edition. 1998.
- [10] *Ibidem.*
- [12] Op. cit. SHENOY A. V., SAINI D. R. Thermoplastic Melt Rheology and Processing. Marcel Dekker, Inc. London, England. 1996.
- [13] Dr. Ing. C. M. MEYSENBUG Von. Tecnología de Plásticos para Ingenieros. Urmo. España. 1973.
- [14] MANESChanda, SALIL K.Roy. Plastics Technology Handbook. Marcel Dekker, inc. USA.3th edition. 1998.
- [15] MANES Chanda, SALIL K. Roy. Plastics Technology Handbook. Marcel Dekker, inc. USA.3th edition. 1998. Pág. 640
- [16] PRITCHARD Geoffrey. Reinforced Plastic Durability. CRC. New York. 1999.
- [17] GHOST Malay K., MITTAL K. L. Polyamides, Fundamentals and Applications. Marcel Dekker, Inc. New York. 1996.
- [22] BILLMEYER Fred W. Ciencia de los Polímeros. REVERTE. México. 2001.
- [23] MITTAL K. L. Polyamides Synthesis, Characterization and Applications. Plenum Press. New York. 1982.

[24] Standard Test Method for Assignment of the Glass Transition Temperatures by Differential Scanning Calorimetry, E 1356 – 03, ASTM International.

[25] Standard Test Method for Compositional Analysis by Thermogravimetry, E 1131-03ASTM International.

[26] ASTM International.

[27] Standard test method for water absorption of plastics, D 570-98, ASTM International.

[28] Tesis doctoral de Hans Ziudema. Univ. Tech. Eindhoven. 2000

INTERNET

[18] Propiedades mecánicas y térmicas del Nylon 6,6.
www.matweb.com

[19] *Ibidem*

[20] MOUHMI B. A Study of the mechanical behavior of a glass fiber reinforced polyamide 6, 6; Experimental investigation. Polymer Testing. 2006.
<http://www.sciencedirect.com>

[21] <http://www.deautos.com/info/info2.asp?id=28>

IMAGENES

[1] vochoweb.com

[2] rdmturbo.com.ar

[3] www.uamerica.edu.co

[4] www.reycomotor.com/Reyco/Images/Dana/Sleeve.gif

[6] <http://usaenvioexpress.com/Envios.aspx>

[7] <http://www.mbspolymer.com/Assets/170MaackDubaiPlastBroe.pdf>

[11] perso.wanadoo.es/.../articulo/fibras/dos.jpg

[29] <http://islnotes.cps.msu.edu/trp/inj>

DOCUMENTOS ADICIONALES

- [30] NELSON W. E. Nylon Plastics Technology. The Plastics PubberInstitite. London. 1976.
- [31] AHARONI Shaul M. n-Nylons: Their Syntesis, Structure and Propieties. Jhon Wiley and Sons. New York. 1988.
- [32] BELLEGER V, et.al. Thermal and mechanical fatigue of a PA66/glass fibers composite material. Elsevier,International Journal of Fatigue 28, 2006.
- [33]TUSCHAK Peter and Debbie Lloyd, Selector of Materials DuPont, DuPont the miracles of science, Engineering Design Journal 2008-1.
- [34] ANDRESSOldeweme, et. al., PolyphthalamideZitel HTN DuPont, DuPont The miracles of science, Engineering Design Journal 2008-1.
- [35] Standard test method of plastics, ASTM International.
- [36] Handbook of thermoplastics, Ed. OlagokeOlabisi E.U 1997.

INTERNET

- [37] www.automotriz.net/.../radiador-gif_2.gif
- [38] www.midas.com/Portals/1/19_EngineCooling_sp.jpg
- [39] www.hmaemotos.com
- [40] www.forocoches.com
- [41] www.uamerica.edu.com
- [42] www.vagclub.com