

CENTRO DE INVESTIGACIÓN EN QUÍMICA APLICADA



ANÁLISIS DEL PROCESO DE SOBREMOLDEO (OVERMOLDING) PARA LA OBTENCIÓN DE UNA PIEZA A BASE DE ELASTOMERO TERMOPLÁSTICO CON MEJORADAS CARACTERÍSTICAS DE DESEMPEÑO

CASO DE ESTUDIO

PRESENTADO COMO REQUISITO PARCIAL PARA OBTENER EL GRADO DE:

ESPECIALIZACIÓN EN QUÍMICA APLICADA

OPCIÓN: PROCESOS DE TRANSFORMACIÓN DE PLÁSTICOS

PRESENTA:

ANA SUSANA SANTOS HERNÁNDEZ

Asesor: Dr. Saúl Sánchez Valdez

EVALUADORES:

Dr. Florentino Soriano Corral
Presidente

Dr. Rafael Aguirre Flores
Vocal



CENTRO DE INFORMACIÓN

SALTILLO, COAHUILA

22 AGO 2011

AGOSTO 2011.

RECIBIDO

INDICE

I INTRODUCCIÓN.....	1
II OBJETIVO.....	2
III JUSTIFICACIÓN.....	3
IV REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA.....	3
4.1 Proceso de sobre-moldeo (overmolding).....	3
4.2 Características Generales de Moldeo de Inyección de Sobre moldeo.....	5
4.2.1 Descripción del proceso.....	6
4.2.2 Ventajas del proceso.....	9
4.2.3 Desventajas del proceso.....	10
4.2.4 Materiales utilizados en este proceso.....	11
4.2.5 Aplicaciones típicas.....	14
4.3 Principales características para el diseño de molde y la pieza.....	15
4.3.1 Selección del proceso de sobre-moldeo.....	16
4.4 Selección del material: Espesor, Dureza y Coeficiente de fricción.....	16
4.5 Diseño de molde y la pieza.....	16
4.5.1 Factores que afectan el diseño de una pieza.....	17
4.5.2 Factores adicionales que afectan la adhesión.....	18
4.5.3 Consideraciones adicionales en el diseño del molde.....	19
4.6 Preparación del Sustrato y el Molde.....	19
4.7 Problemas, causas y soluciones en el proceso de sobre- moldeo	20
4.8 Otros Procesos y Formas de aplicar el proceso de sobre-moldeo.....	23

4.8.1 Moldeo de coinyección	23
4.8.2 Descripción del proceso.....	24
4.8.3 Ventajas y Desventajas.....	24
4.8.4 Aplicaciones	26
4.8.5 Moldeo por inserto.....	28
4.8.6 Ventajas y Desventajas.....	28
4.8.7 Esquema del proceso de Inserto.....	28
4.8.8 Aplicaciones.....	30
V ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO.....	31
5.1 Estudios del proceso sobre-moldeo.....	31
VI AREAS DE OPORTUNIDAD.....	37
VII CONCLUSIONES.....	38
VIII REFERENCIAS.....	39

INDICE DE FIGURAS

- Figura 1.** Algunas aplicaciones de piezas sobre moldeadas.
- Figura 2.** Principio funcional de la técnica de rotación.
- Figura 3.** Variantes de proceso de la técnica de rotación.
- Figura 4.** Técnica núcleo retractil (Core-back).
- Figura 5.** Método de prueba para determinar la fuerza de enlace.
- Figura 6.** Técnica de sobre-moldeo por acoplamiento mecánico de partes.
- Figura 7.** Ejemplos de productos sobremoldeados.
- Figura 8.** Ejemplo del diseño de shut-off.
- Figura 9.** Descripción del proceso de Co-inyección.
- Figura 10.** Diferencia entre inyección Tradicional con Co-inyección.
- Figura 11.** Productos moldeados por la técnica de Co-inyección.
- Figura 12.** Pieza hecha por el proceso de Moldeo por Inserto.
- Figura 13.** Productos plásticos hechos por el Moldeo por Inserto.
- Figura 14.** Ilustración de la Barra T.

INDICE DE TABLAS

- Tabla 1.-** Compatibilidad de los materiales usados para el proceso de sobre-moldeo.
- Tabla 2** .Algunas aplicaciones del proceso de Sobre- moldeo.
- Tabla 3.-** Problemas típicos en el procesamiento de TPE en el sobre-moldeo.
- Tabla 4.** Resultados de la prueba de delaminado a 90 grados.

I INTRODUCCIÓN

Los materiales plásticos han tenido un continuo auge y un gran impacto en el mundo actual en la obtención de productos para una gran variedad de aplicaciones que van desde sector automotriz, hasta sectores de medicina y el hogar. En un momento en el que los altos precios de las resinas, y otros costos, restringen cada vez más los márgenes de ganancia, es imperativo para los procesadores de plásticos encontrar alternativas para optimizar su operación y producir piezas de alta calidad, diseño atractivo y funcional, sin dejar de lado la rentabilidad. Una opción para optimizar el desempeño de una pieza plástica es utilizar las técnicas de sobre moldeo que combinan las características de diferentes materiales plásticos para obtener un nuevo producto con propiedades mejoradas. Es por ello que en este trabajo se analiza el proceso de sobre-moldeo (overmolding) ya que las exigencias del mercado demandan constantemente procesos eficientes, novedosos que promuevan mayor productividad, bajos costos y mejor calidad.

El sobre-moldeo es una alternativa para la obtención de productos en menor tiempo ya que consiste en moldear un material polimérico por el proceso de inyección, el cual puede ser un material suave, como un elastómero vulcanizable o un elastómero termoplástico (TPE) sobre un segundo material, el cual normalmente es un termoplástico rígido donde se omite el uso de un adhesivo debido a que las característica de los dos materiales les permite cierta compatibilidad para así obtener una pieza con mejoradas propiedades resultantes de la combinación de los diferentes materiales que la forman. La producción de estas nuevas piezas por este proceso combinan diferentes propiedades, con las siguientes características: Mayor durabilidad, mejoradas características ergonómicas, ligereza, mejor presentación exterior y mejor calidad.

De tal manera que en el desarrollo de esta investigación se dan a conocer los objetivos, justificación y en el cuerpo del trabajo se describe el estado del conocimiento considerando aspectos relevantes del proceso de sobre-moldeo, clasificación, características, ventajas, principales problemas y soluciones, así como el análisis de los materiales plásticos de acuerdo a su propiedades para el diseño de una pieza llevando a cabo un análisis de dicho proceso.

II OBJETIVO

Comprender las bases del funcionamiento del proceso de sobre-moldeo para obtener una pieza inyectada con mejorado desempeño. Analizar y establecer los principales problemas, causas y soluciones en este proceso, para la obtención de piezas moldeadas de buena calidad.

III JUSTIFICACIÓN

En el mundo actual las empresas que utilizan el proceso de inyección han estado innovando sus procesos y han ido implementando las técnicas de sobre-moldeo ante la alta demanda de procesos cada vez más eficientes y las elevadas posibilidades de expansión para satisfacer las exigencias cada vez más sofisticadas del producto final inyectado. Este proceso permite reducir gastos en materiales extra, reduce los tiempos de ciclo y permite una productividad más eficiente; por lo que es de vital importancia conocer el funcionamiento del proceso y analizar las dificultades que se pueden presentar para dar solución de manera eficiente y así optimizar el proceso para la obtención de piezas con mejor desempeño.

IV REVISIÓN BIBLIOGRÁFICA

4.1 Proceso de sobre-moldeo (overmolding)

Para la obtención de nuevos y diferentes diseños de productos que combinen las características de diferentes tipos de materiales, se han desarrollado diferentes métodos de moldeo por inyección por ejemplo; moldeo con insertos, moldeo de doble disparo (two-shot), moldeo por coinyección, moldeo de multi-materiales (multi-material moulding), decoración dentro del molde (in-mould decoration) moldeo de co-inyección con una sola unidad de inyección (Twin-Shot) entre otros. Todos estos procesos se pueden agrupar dentro del proceso de sobre-moldeo o inyección de multi-materiales que involucran el sobre-moldeo de un material sobre otro o la combinación de diferentes materiales para obtener una nueva pieza.

El proceso de sobre-moldeo o inyección de multi-materiales hace referencia a una nueva técnica de moldeo por inyección, la aplicación de esta técnica es cada vez más amplia en el desarrollo de productos, de piezas que combinan dureza con suavidad para varios sectores industriales (automotriz, médico, embalaje). Donde un elastómero (suave) es unido con un polímero rígido (duro) formando una pieza sin necesidad de adhesivo, modificando y/o mejorando sus propiedades finales lo que demanda un mayor conocimiento acerca de la aplicabilidad de la misma, así como, de las ventajas que esta técnica ofrece ^[1].

Entre las principales ventajas que ofrece el proceso de sobre-moldeo se pueden mencionar las siguientes:

Eliminación de operaciones secundarias. Esto se logra ya que se combinan materiales diferentes en una pieza directamente en el proceso de moldeo sin el uso de un adhesivo extra para unirlos eliminando así operaciones secundarias de ensamble así como la reducción en el rechazo de piezas por problemas durante su ensamble.

Ensamble durante el moldeo. Mediante el uso de diseños especiales de molde con partes móviles se puede lograr la inyección de sobre-moldeo directamente en el ciclo de moldeo, permitiendo que materiales diferentes se ensamben y se adhieran ya sea mecánicamente o químicamente por compatibilidad química entre ellos.

Acabado ergonómico suave. La ergonomía ha probado ser un factor decisivo en el mercado de consumo actual. Los procesos de sobre-moldeo que combinan diferentes tipos de materiales ofrecen la posibilidad de combinar un material suave con uno rígido, diferentes colores y texturas que los hacen más atractivos al consumidor.

Soluciones efectivas y económicas. Este proceso permite el ahorro en tiempo de máquina; debido a que se obtiene en un sola etapa una pieza ensamblada; respecto a la fuerza laboral; se eliminan las etapas secundarias como el ensamble manual porque los dos materiales se inyectan secuencialmente dentro del molde; así mismo, disminuye el almacenamiento, al quitar la necesidad de tener varias piezas almacenadas para su posterior ensamble. Por otro lado la cantidad de moldes se reduce debido a que se utiliza un solo molde donde se inyectan los diferentes materiales en un solo ciclo. Todo esto hace al proceso económicamente más atractivo.

Impresiones directas en el proceso de inyección. Este proceso permite imprimir logos, texto o cualquier información directamente en ciclo de inyección sin la necesidad de procesos secundarios post moldeo y evita el uso de etiquetas costosas que pueden después desgastarse, opacarse, y despegarse.

Actualmente los principales componentes suaves que se utilizan en los diferentes tipos de sobre-moldeo son elastómeros termoplásticos (TPE) a base de poliolefinas (TPO), a base de poliuretano (TPU), elastómeros termoplásticos vulcanizados (TPV), o polímeros en bloque estireno-etileno/ butileno-estireno (SEBS), copolímero etileno-propileno –dieno (EPDM), entre otros. Mientras que como substrato o componente rígido se pueden encontrar: terpolimeros acrilonitrilo-butadieno-estireno (ABS), policarbonato (PC), poliamidas (PA), poliésteres, poliestireno (PS) poliestireno de alto impacto (HIPS), polietileno tereftalato (PET), polimetilmetacrilato (PMMA), estireno acrilonitrilo (SAN) y termoplásticos comodites o de gran volumen tales como Polipropileno (PP) y polietileno (PE) ^[2].

Cabe señalar que otros de los aspectos claves del sobre-moldeo se encuentran la adhesión que debe contar el material suave y rígido. Sin embargo no existe un modelo universal para la explicación de los diferentes tipos de adhesión. Los mecanismos de adhesión son varios tipos de fuerzas intrínsecas pueden operar a través de la interface Adhesivo/substrato ^[18]. En general en cada tipo de adhesión puede ser explicado considerando varios mecanismos como: la adhesión mecánica, de absorción, químico, de

difusión ^[1]. El mecanismo de adhesión mecánica propone la solución mecánica de la adhesión dentro de las irregularidades de la superficie del sustrato es la principal fuente de la adhesión intrínseca. El sustrato tiene que ser pretratado para la obtención de una topografía apropiada para que pueda ocurrir la adhesión mecánica. Frecuentemente se observa un aumento en la medida de la adhesión con el aumento de la rugosidad de la superficie. Por otra parte el mecanismo de difusión establece que la difusión intrínseca en polímeros es debido a la mutua difusión de moléculas de polímero a través de la interface (adhesivo y sustrato) este requiere macromoléculas o segmentos de cadena de polímero que posean suficiente movilidad y sean mutuamente solubles. Otro mecanismo de adhesión es de absorción provee un suficiente contacto molecular y mejora la interface, los materiales se adhieren debido a fuerzas intermoleculares que establecen en la superficie de las moléculas del adhesivo y el sustrato. Las fuerzas más comunes son las Van der Waals estas se refieren a enlaces secundarios además se pueden incluir enlaces de hidrogeno. También enlaces químicos pueden algunas veces formarse a través de la interface ^[18]. El mecanismo de adhesión química requiere que los puntos de fusión entre ambos componentes sean cercanos y afinidad en su naturaleza química donde los componentes se mezclen mutuamente en la interface y se adhieran ^[8].

A continuación se mencionan características propias del sobre-moldeo, posteriormente se describirá cada uno de los procesos con sus respectivas ventajas y desventajas que pueden presentar. Considerando que el sobre-moldeo puede utilizar dichos procesos de acuerdo a las características de las piezas que se quieren obtener.

4.2 Características Generales de Moldeo de Inyección de sobre-moldeo o inyección de Multi-materiales o multi-componentes

El moldeo por inyección de multi-componentes también conocido como sobre-moldeo, es un proceso muy versátil que está ganando cada vez más popularidad y que ofrece una gran flexibilidad de diseño para elaborar piezas ya sea de multi colores o multi funciones con costos bastante reducidos. Este proceso consiste en inyectar un polímero sobre otro sustrato previamente moldeado reuniendo las mejores características de cada material reduciendo o eliminando operaciones de post moldeo de ensamble, unión o soldadura. Se requiere el uso de equipo especial con múltiples unidades de inyección, una base giratoria

para el molde y/o núcleos móviles para completar el proceso de sobre-moldeo en un solo ciclo ^[3].

4.2.1 Descripción del proceso

El proceso de sobre moldeo (over molding) es un proceso especial utilizado en la industria de transformación de plásticos y es sinónimo al proceso de inyección de multi materiales (multi-shot) y al de ensamble durante el moldeo (in mold assembly). Este proceso sin embargo difiere del proceso de co-inyección el cual también involucra la unión de diferentes materiales en una sola pieza. Para ser más específicos el proceso de co-inyección involucra la inyección secuencial y/o concurrente de dos materiales diferentes pero compatibles dentro de una cavidad para producir piezas que presentan una estructura tipo sándwich con el núcleo o centro de esta estructura embebido entre capas de un material que forma la piel de dicha estructura. Mientras que por otro lado, en la inyección por sobre-moldeo se inyectan diferentes materiales poliméricos en diferentes etapas del proceso usando diferentes cavidades o geometrías de cavidades. En particular, un inserto plástico es previamente moldeado para luego ser transferido a otra cavidad y posteriormente ser sobre moldeoado por el segundo polímero llenando la cavidad definida por la superficie que existe entre el inserto previamente moldeado y el molde.

Este proceso se empezó a usar hace varias décadas en la inyección multicolor de teclas para maquinas de escribir, computadoras para producir caracteres permanentes que no se desgastaran durante su uso. Desde entonces este proceso ha permitido la producción consistente y económica de productos multi color o multi funcionales en una gran variedad de métodos comúnmente usados e innovadores. En la figura 1 se presentan algunas aplicaciones de este método. La decisión de seleccionar este método depende del volumen de producción, requerimientos de calidad y capacidades y preferencias del moldeador. Es así que sin la necesidad de invertir en equipo adicional, uno puede usar dos moldes separados con la misma máquina convencional de inyección para producir una pieza con multi componentes. En este esquema, el inserto es primero moldeado y luego transferido a un segundo molde donde es sobre moldeoado con un segundo polímero. Este esquema tiene como desventaja la inclusión de pasos adicional tales como la transferencia y ajuste del inserto previamente moldeado hacia el segundo molde. Sin embargo esto puede acelerarse utilizando brazos robóticos en un sistema automatizado de inyección ^[3].

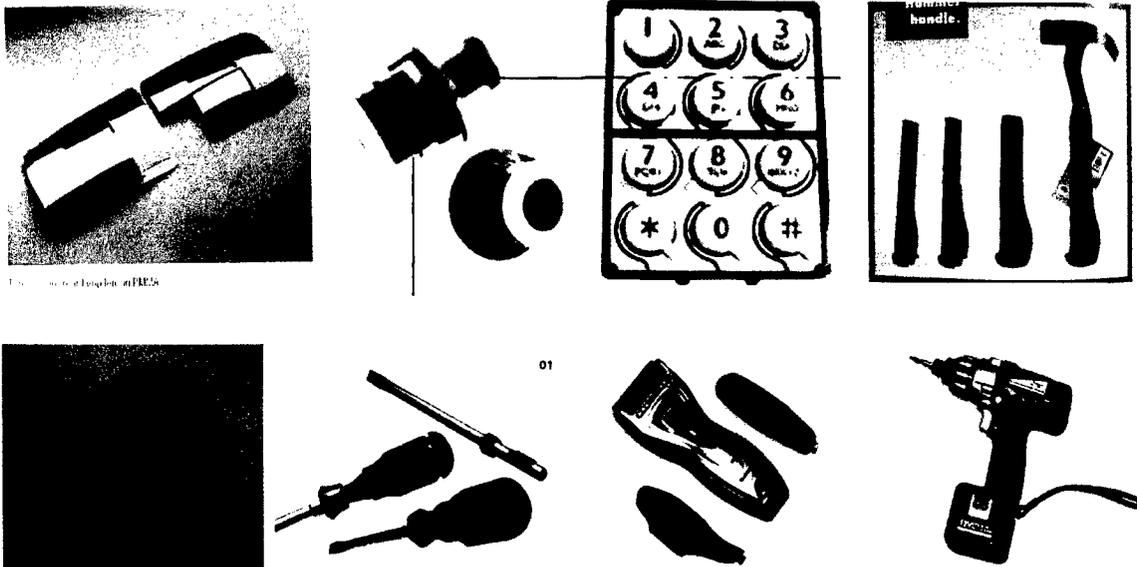


Figura 1. Algunas aplicaciones de piezas sobre moldeadas

Otro esquema de inyección de multi componentes es el que utiliza un molde giratorio y varias unidades de inyección como se muestra en la figura 2. Una vez que el inserto ha sido moldeado, un sistema servo eléctrico o hidráulico hace girar el núcleo del molde y la pieza a 180 grados (o 120 grados si es un sistema de 3 disparos) permitiendo alternar la inyección de los polímeros. Este es el sistema más rápido y más comúnmente utilizado ya que dos o más piezas pueden ser moldeadas en cada ciclo. Los aditamentos para el giro del molde (por ejemplo agua de enfriamiento, aire comprimido o calentamiento especial) se conectan a través de una unión giratoria central. El mecanismo para hacer girar el molde puede ser montado en el molde o en la platina porta moldes. Si el molde es multi familiar (que tengan diferentes tamaño de cavidad) requiere transferencias rotacional es más conveniente fijar el mecanismo de giro en la maquina (solo se invierte en su montaje una vez) que fijarlo en cada molde familiar diferente.

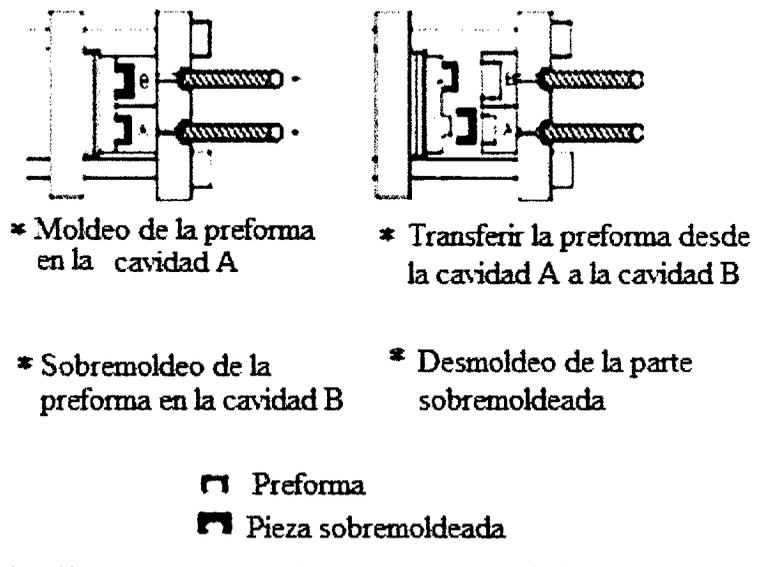


Figura 2. Principio funcional de la técnica de rotación.

Los tipos de técnicas más utilizados son: tabla rotatoria, molde con mecanismo rotatorio y el mecanismo de inserto rotatorio en el molde. En las siguientes figuras se muestran estos tipos de técnicas.

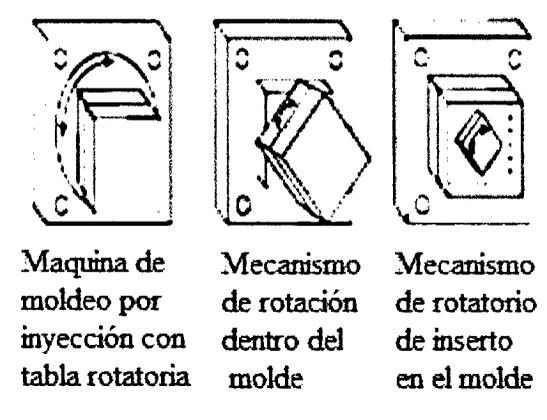


Figura 3. Variantes de proceso de la técnica de rotación.

La técnica de rotación se basa en que durante cada ciclo, una preforma y una pieza sobre moldeada son desmoldeadas y dicha preforma es transportada a lo largo de la cavidad por un movimiento rotacional para luego sobre moldear el otro material sobre ella ^[4].

Otra variación de este proceso involucra la expansión automática de la geometría original de la cavidad mediante el uso de núcleos colapsables o retractiles o elementos deslizables mientras el inserto esta dentro del molde. Este proceso se conoce como núcleo retráctil (core-back o core-pull) como se muestra en la figura 4. El núcleo se retrae después de que el inserto ya solidifico creando volumen que será llenado por el segundo material dentro del mismo molde ^[3].

La complejidad de la partes (diseños complejos) es limitado porque la preforma no son desmoldeadas ya que son liberadas solo parcialmente. Asimismo, la producción secuencial de preformas y la parte sobremoldeada conduce comparativamente a tiempos de ciclos largos. ^[4].

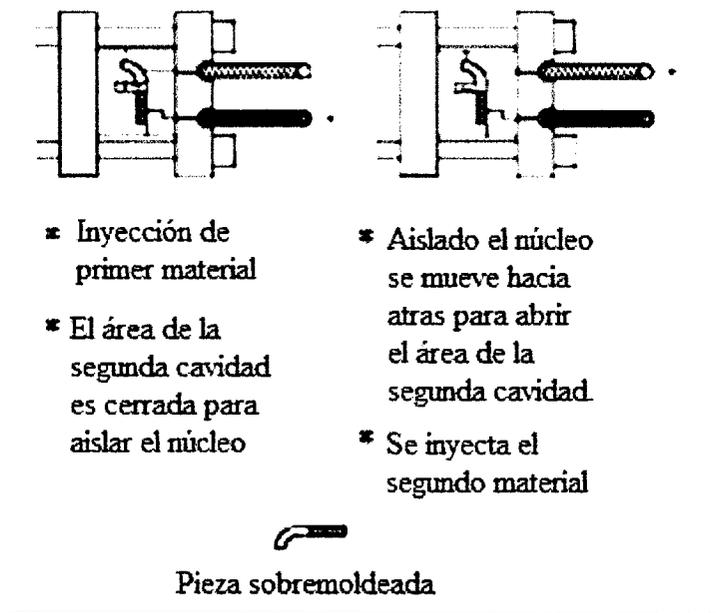


Figura 4. Técnica núcleo retráctil (Core-back).

4.2.2 Ventajas del proceso.

Este proceso permite un nuevo grado de libertad en el diseño industrial y mejora la estética de la pieza inyectada, su valor calidad y funcionalidad. ^[5] Algunos aspectos de la calidad que pueden mejorar en las aplicaciones de inyección de multicomponentes, pueden ser las siguientes:

- ✓ Seguridad: presentan mejores ventajas debido a que se pueden usar las piezas tanto en ambientes secos y húmedos, amortiguación de vibraciones.
- ✓ Funcionalidad del producto, Sellado resistente al agua caliente, Absorción del sonido, aislamiento eléctrico.
- ✓ Apariencia y color.
- ✓ Protección UV, ya que uno de los materiales se les puede añadir un aditivo.
- ✓ Diferenciación del producto.
- ✓ Reducción del peso de la pieza.
- ✓ Eficiencia en ensamble.
- ✓ Mejora el desempeño (Claridad porque la mayoría de los polímeros utilizados tienen una naturaleza poco cristalina, Calor y rigidez debido se utilizan materiales elastoméricos).

4.2.3 Desventajas del proceso

La principal desventaja de este proceso es la inversión en aditamentos complejos para hacer rotar el molde y en el ajuste del sistema de inyección con múltiples unidades de inyección y unidades de control del sistema. En algunos sistemas este proceso también requiere la transferencia del inserto hacia un molde diferente o el uso de herramientas complejas y operaciones de proceso más complicadas. Debe hacerse notar, sin embargo, que las barreras de costo han sido reducidas como resultado de la fabricación de módulos por los fabricantes de los equipos ^[3].

En cuanto a la mala adhesión si se presenta un problema de incompatibilidad de los materiales usados se debe a una diferencia muy grande punto de fusión, su enlace químico es débil, podría consultarse a la literatura para saber si hay algún tipo de compatibilizante que se pueda usar y se tenga una mayor afinidad.

4.2.4 Materiales utilizados en este proceso.

La selección de material es vital para un adecuado funcionamiento de este proceso. Se debe de hacer un análisis para determinar la compatibilidad entre los materiales, tanto compatibilidad química como resistencia al desgaste, desempeño ambiental ya que depende del medio en donde se vaya a utilizar. Varias combinaciones de materiales resultaran en niveles de adhesión ampliamente diferentes entre el material base y los materiales sobre moldeados. Es posible lograr enlaces que van desde no adhesión hasta enlaces químicos puros, donde el material interactúa a niveles moleculares y produce una resistencia de sello extraordinaria a la vez de que se mejora la durabilidad química y ambiental. Debido a que la adhesión entre los materiales es un aspecto crítico en este proceso, los factores que afectan la adhesión involucran el grado de compatibilidad, temperatura de proceso, área de contacto y textura, secuencia de moldeo y mecanismo de unión (adhesión) entre los materiales ^[3]. Una de las aplicaciones más populares es el sobre moldeo de un elastómero termoplástico (TPE) sobre un substrato rígido para crear una pieza suave al tacto y facilidad en su manejo.

La tabla 1 ofrece una guía básica de las características de adhesión entre una amplia variedad de combinaciones de materiales, sin embargo es muy recomendado verificar con el proveedor de la resina las características de compatibilidad entre los diferentes materiales.

Esta tecnología tiene más auge en su uso en Europa con un 65% comparado con Estados Unidos 10% y el 25 % es el resto del mundo ^[6].

Tabla 1.- Compatibilidad de los materiales usados para el proceso de sobre-moldeo.

ABS	+	+	+	+			+	-	-	+	-	-	0	0	+	+	+	+	+
ASA	+	+	+	+			+	-	-	+	-	-	0	0	+	+	+	+	+
CA	+	+	+	0				-	-		-	-	-	-	+	+		+	+
EVA	+	+	0	+				+	+			+	+	+		+			
PA6	+	+			+	+	+	0	0		-	0	-	-	+	+	+	+	
PA66	+	+			+	+	0	0	0		-	-	-	-	+	+	+	+	
PC	+	+			+	0	+	-	-		-	-	-	-	+	+	+	+	+
PE-HD	-	-	-	+	0	0	-	+	+	0	0	-	-	-	-	-	-	-	0
PE-LD	-	-	-	+	0	0	-	+	+	0	0	+	0	-	-	-	-	-	
PMM A	+	+						0	0	+		0	-	-		+	+	-	+
POM	-	-	-		-	-	-	0	0		+	-	-	-	-	-	-	-	
PP	-	-	-	+	0	-	-	-	+	0	-	+	-	-	-	-	-	-	0
PSGP	0	0	-	+	-	-	-	-	0	-	-	-	+	+	-	-	-	-	0
PS-HI	0	-	-	+	-	-	-	-	-	-	-	-	+	+	-	-	-	-	0
TPU	+	+	+		+	+	+	-	-			-	-	-	+	+	+	+	+
SAN	+	+	+	+	+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+
PC/AB S	+	+			+	+	+	-	-	+	-	-	-	-	+	+	+	+	+
PBT	+	+	+		+	+	+	-	-	-	-	-	-	-	+	+	+	+	+
PVC - W	+	+	+	-			+	0		+		0	0	0	+	+	+	+	+

Tabla 1. + Buena adhesión, 0 Adhesión Pobre, - Sin adhesión

ABS(Acrilonitrilo-Butadieno-Estireno), **ASA**(Acilo-Estireno-Acrilonitrilo), **CA**(Acetato de Celulosa), **EVA**(Etilen-Vinil-Acetato), **PA6**(Poliamida 6), **PA66** (Poliamida 66), **PBT** (Polibutilen-Tereftalato), **PC**(Policarbonato), **PC/ABS**(Policarbonato/ Acrilnitrilo Butadieno-Estireno), **PEHD**(Polietileno de alta densidad), **PELD**(Polietileno de baja densidad), **PET**(Polietileno-Tereftalato), **PMMA**(Polimetilmetacrilato), **POM** (Polioxido de metileno), **PP**(Polipropileno), **PSGP** (Poliestireno de uso general), **PSHI**(Poliestireno de alto impacto), **SAN**(Estireno-Acrilonitrilo), **TPU**(Poliuretano Termoplástico),**PVC-W** (Policloruro de vinilo).

También es importante en el sobre-moldeo determinar la adhesión ya que representa el principal problema cuando se diseñan la partes sobremoldeadas. Actualmente, es imposible predecir la fuerza de enlace de combinaciones de polímero producidas por sobre-moldeo por el conocimiento limitado entre los factores que influyen y que pueden predecir dificultades para su determinación. Estos factores pueden ser el grado de adhesión y los mecanismos de difusión así como la influencia de los parámetros de proceso, geometría de la parte y diseño del molde. Sin embargo existen métodos que se pueden aplicar para determinar la fuerza de enlace, en la siguiente figura se muestra algunos de estos métodos: Prueba de tensión, prueba delaminado.

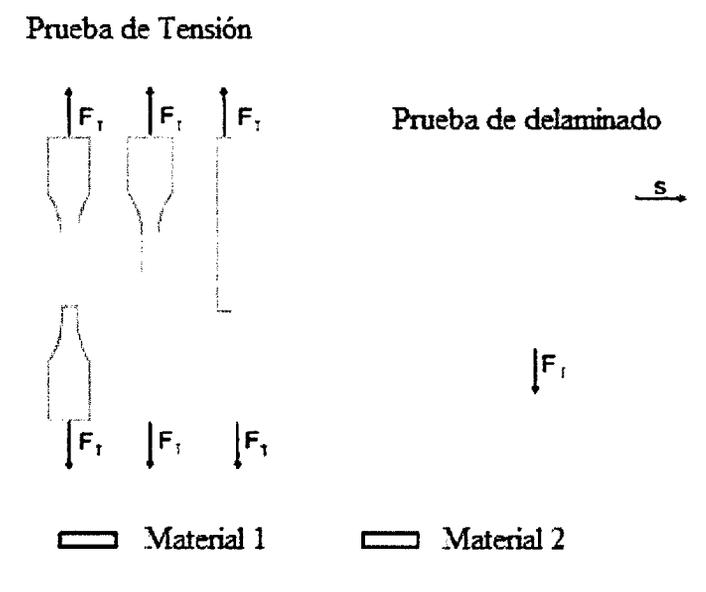


Figura 5. Método de prueba para determinar la fuerza de enlace.

Como se menciona anteriormente existen materiales compatibles e incompatibles, el moldeo por inyección considera el ensamble que es definido como el procesamiento de materiales incompatibles que no producen enlaces adhesivos. Aquí, la transferencia tensil y la fuerza de corte entre los diferentes materiales son realizadas por pequeños cortes (o muescas), o pequeñas aberturas, que crean enlaces. Estos elementos suministran una conexión mecánica entre los materiales ^[4].

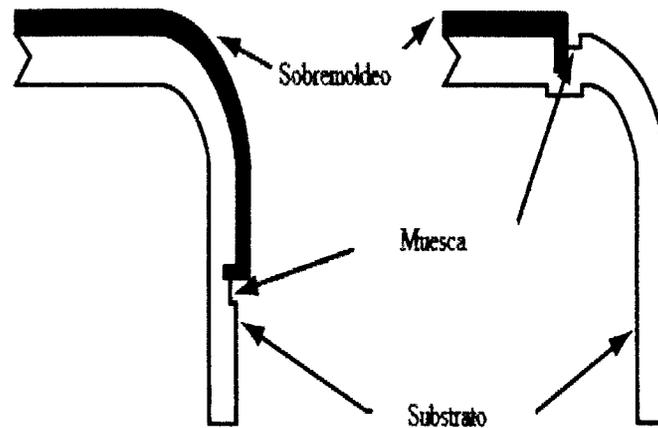


Figura 6. Técnica de sobre-moldeo por acoplamiento mecánico de partes.

4.2.5 Aplicaciones típicas

Se puede aplicar en una gran variedad de productos, desde eléctricos, de consumo, industriales, automotrices. La tabla 2 muestra un número de partes y productos elaborados con el proceso de sobre-moldeo.

Tabla 2. Algunas aplicaciones del proceso de Sobre- moldeo

Industria automotriz	Otras aplicaciones
Cerradura (Lock Housing).	Cepillos de dientes.
Parrilla de ventilación (HVAC vent grille).	Herramientas de mano (Tool handles).
Conectores de bolsa de aire.	Juguetes articulados (Articulating toys).
Ajustes de ductos de aire de las llantas (air ducts adjustment wheel).	Afeitadoras.
Faros multicolor (Multi-colored taillight lenses).	Unidades de control remoto de TV/VCR.
	Carcasa de ensamble de cepillos de dientes eléctricos.

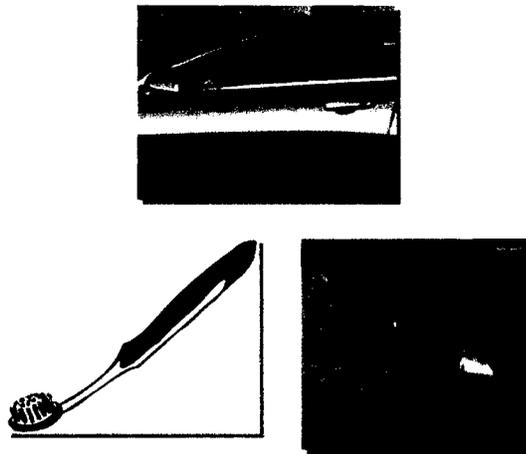


Figura 7. Ejemplos de productos sobremoldeados.

4.3 Principales características para el diseño de molde y la pieza

Para el diseño del molde y la pieza se deben tomar diferentes consideraciones antes de su procesado como puede ser, la selección del material es crítica para asegurar un buen enlace y también para elaborar el molde con material adecuado, selección del proceso.

4.3.1 Selección del proceso de sobre-moldeo

Para la selección del proceso de sobre-moldeo en ciertos TPEs puede variar la fuerza de enlace en la aplicación, por ejemplo si se elige el proceso de moldeo por multi disparo (multi-shot) comparado con el moldeo por inserto, el primero promueve cierta mayor fuerza de enlace o unión debido a que los dos materiales en estado fundido al unirse, mientras que el segundo da un enlace pobre porque uno de los dos materiales (plástico) se sobrepone en el otro que no está fundido (metal). Por lo que la selección del proceso a aplicar es un factor clave para producir un producto de alta calidad ^[7].

4.4 Selección del material: Espesor, Dureza y Coeficiente de fricción.

En cuestión de la selección del material, depende de la empresa y del producto que maneja, donde se tiene que considerar las características de cada material para la aplicación del sobremoldeado, ya que existen una gran variedad de materiales que tienen diferentes propiedades que dan suavidad, textura, adherencia, y espesor de pared del material.

En el caso del efecto del espesor es necesario conocer la dureza del material, por ejemplo cuando se tiene un material TPE con bajo espesor (típicamente > 0.040 in) se percibiría más duro y viceversa cuando se tiene un espesor mayor a $.040$ in se sentirá suave.

Para asegurar un buen enlace en sobre-moldeo su busca un espesor en el rango 0.060 in para la mayoría de aplicaciones de sobre-moldeo.

La dureza está relacionada directamente con la flexibilidad, aunque se tiene excepciones dependiendo del tipo de material suave que se aplique, por ello se requiere medir el modulo de flexión, lo cual mide la rigidez del material, ya que si se tiene un alto modulo se obtiene un material duro e inflexible.

El coeficiente de fricción es caracterizado por el grado de fuerza requerida para mover una superficie sobre otra, ya sea por fricción estática o por la superficie en movimiento (fricción cinética) esto beneficia a la pieza fabricada debido a que existe una buena adherencia entre los materiales logrando un buen desempeño en su vida útil ^[7].

4.5 Diseño de molde y la pieza

Para el diseño del molde y la pieza se tiene que tomar en cuenta el espesor de pared del substrato y del sobre-moldeado, los cuales deberían ser lo más uniformes posibles para obtener el mejor tiempo de ciclo de moldeo.

El espesor de pared juega un papel importante para garantizar un buen enlace en muchas aplicaciones de sobre-moldeo. Por ejemplo, si una pieza requiere el uso de espesores mayores para zonas suaves, estas deberían estar fuera del núcleo para minimizar problemas de contracciones, ocasionados porque se tiene que alargar el tiempo de enfriamiento al tenerlos en el núcleo, si se estas zonas se tienen fuera del núcleo reducen el peso de la pieza y disminuyendo así el ciclo al no tener que enfriar por tiempos prolongados.

Las transiciones entre espesores deberían ser graduales para reducir problemas de flujo, y garantizar un fácil llenado en todos los espesores y evitar que se quede aire atrapado. El radio general en las piezas puede ser de mínimo 0.020in o 0.5mm, para evitar esquinas pronunciadas y que estos radios ayuden a reducir la localización de los esfuerzos residuales.

Las costillas o refuerzos pronunciados en las piezas deben de evitarse en este proceso ya que dificultan su llenado además los ángulos de desmóldeo deben de ser 3-5° por cada lado para facilitar la eyección de la pieza en TPEs. En el caso del espesor del componente suave (TPE) debería ser menor o igual que del espesor del sustrato para prevenir el alabeo o distorsión de la pieza; esto se vuelve especialmente crítico para ciertas longitudes y geometrías planas ^[7].

4.5.1 Factores que afectan el diseño de una pieza

Los dos principales factores que afectan el máximo recorrido de flujo para un TPE en específico son: las propiedades de flujo individual del TPE y las condiciones de operación usados en el procesos de sobre-moldeo (espesor de la pared, temperatura, presión de inyección, etc.).

Las características de flujo de un TPE pueden ser cuantificados por la prueba de flujo en espiral. La prueba de flujo en espiral, el cual ha sido utilizado tradicionalmente para los termoplásticos, suministra un análisis comparativo de la facilidad con que se llena una pieza bajo ciertas condiciones de proceso. Este análisis es recomendable para aplicaciones con requerimientos de fuerza de enlace alta y recorridos de flujo cortos.

Así mismo la contracción es otro de los factores que afectan a la pieza ya que depende del material elegido, el diseño de la pieza (geometría de la muestra) y del molde así como de las condiciones de procesamiento para moldear la pieza. La temperatura del molde y la temperatura del fundido provocan hundimiento si la temperatura es alta. Las temperaturas del molde que estén demasiados fríos pueden generar esfuerzos residuales en la pieza lo que puede contribuir al alabeo. También la Baja presión de empaquetamiento provoca contracción. Al igual el diseño de desconexión (shut off) o cambio de cuando inyectar un material y cuando inyectar el otro, se deben de ajustar con el propósito de disminuir riesgos de rebabas en el TPE o reducir la oportunidad que ocurra delaminación del TPE, el sobremoldeo debería ser diseñado de acuerdo a lo siguiente:

- ✓ El extremo del TPE debe de estar a un nivel más profundo que la superficie del sustrato.
- ✓ No diseñar el extremo del TPE al mínimo nivel o a un nivel superior que el de la pieza ya que esto ocasionaría que se delaminara fácilmente durante su uso.

Para reducir la probabilidad de rebaba o flash en la pieza, la cavidad del material que se va a sobre moldear deberá ser diseñado con una profundidad de 0.015 a 0.030'' (0.30-0.76mm) en el espacio del sustrato, como se observa en la figura 8. Además la contracción del TPE y el sustrato deberían ser considerados [7].

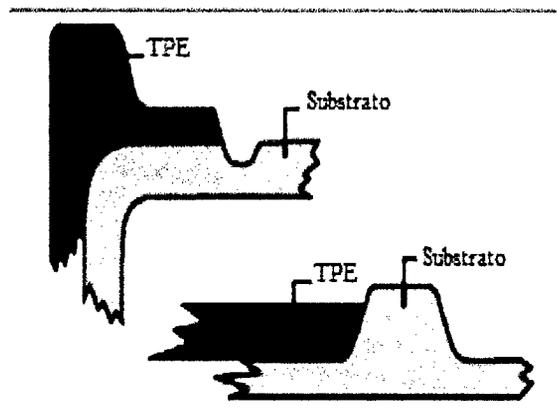


Figura 8. Ejemplo del diseño de shut-off.

4.5.2 Factores adicionales que afectan adhesión

En lo que respecta al material de TPE, los factores que se deben tener en cuenta son el tipo de sustrato plástico, verificar que el polímero en la superficie del sustrato este lo mejor adherido posible. Verificar que el diseño sea el correcto para un buena adhesión del sustrato con el otro material, y que la zona de venteo en el molde sea adecuada especialmente al final del flujo [6].

4.5.3 Consideraciones generales del diseño del molde

La viscosidad de los TPEs sobremoldeados son dependiente del esfuerzo de corte y este debería ser considerado con el diseño del molde y el efecto que tendrían las condiciones de proceso.

Se debe empezar con la inyección TPE con una entrada o punto de inyección pequeño para obtener un menor llenado con un mínimo en la marca que deja la entrada. Así mismo las entradas deberían ser localizadas en la sección de pared del TPE. También es importante tener un adecuado enfriamiento que será suministrado en la cavidad TPE para reducir el tiempo de ciclo. Además la relación de recorrido de flujo no debería exceder 150:1 (Longitud/Espesor) porque no es recomendable trabajar a presiones muy altas debido a que el molde sufre deterioro el cual se ha determinado como un valor máximo absoluto.

La construcción del molde es también muy importante debido a que la selección del herramental depende de la calidad y cantidad de piezas que serán producidas, tiempo de vida requerida del molde y el tipo de sustrato que será utilizado. El material sustrato puede reforzarse con fibras o cargas inorgánicas, si se requiere una resistencia a la abrasión alta. Además de ello la distribución del molde y del soporte debe estar balanceada y más si se trata de múltiples cavidades, para permitir un flujo de fundido del TPE uniforme para cada cavidad y que llenen en tiempos iguales bajo una presión uniforme. Así mismo los corredores sin balancear ocasionan que se tenga un peso inconsistente de la pieza y variabilidad dimensional. Si el venteo no es incorporado dentro del diseño del molde, la adhesión de TPE hacia el sustrato puede ser críticamente afectada en áreas específicas de la pieza donde queda aire atrapado en la cavidad durante la inyección y dificulta la adhesión ^[7].

4.6 Preparación del Sustrato y el Molde

Si se selecciona el proceso de moldeo por inserto, la preparación y el molde del inserto pueden ser críticos para conseguir la adhesión óptima entre el TPE y el sustrato. Si una superficie del inserto no está limpia, aumenta la posibilidad de pérdida de adhesión entre el TPE y el sustrato. El inserto debería ser moldeado de acuerdo con las recomendaciones del proveedor (secado adecuado, temperatura de molde, etc.).

Estudios han demostrado que un precalentamiento antes del sobre-moldeo puede ser benéfico para la calidad final de las piezas moldeadas por inserto ya que la temperatura favorece la interacción entre la interface. La óptima temperatura del inserto podría variar dependiendo del material del inserto y del tipo de TPE usado [7].

A continuación se muestran algunos problemas típicos que puede generarse en el proceso de sobre-moldeo al ocupar Elastómeros termoplásticos (TPE), con sus respectivas acciones que se pueden hacer para mejorarlo.

4.7 Problemas, causas y soluciones en el proceso de sobre- moldeo utilizando TPE.

Tabla 3.- Problemas típicos en el procesamiento de TPE en el sobremoldeo

Problemas típicos en el procesamiento de TPE en el sobremoldeo	
Rebaba (sobre el sustrato o en el contorno de la pieza)	Pobre ajuste del molde. Aumentar la fuerza de cierre.
	Tonelaje de la maquina inadecuado. ↑ el tonelaje a un minimo de 2 T/in ²
	Contracción del sustrato/ falta de soporte. Checar rechupados o hundimientos en el sustrato y añada soportes o nervios en el sustrato.
	Presión de inyección muy alta. ↓ Presión de inyección y el Tiempo de llenado.
	Tamaño de disparo alto. ↓ Tamaño de disparo.
	Viscosidad del material muy baja. ↓ Velocidad de inyección ↓ Temperatura de fundido del TPE en intervalos de 10°F/C.

	Insuficiente capacidad de cierre	↑ Tonelaje de la maquina (mínimo 2 ton/in ²) utilizando una maquina mas grande.
	Venteos muy profundos	↓ Espesor del venteo (Profundidad máxima 0.001'' o 0.025mm).
Pobre adhesión	Velocidad de inyección y temperatura de fundido bajas.	Incremente velocidad y temperatura de fundido Checar el grado correcto del TPE.
	Contaminación.	Verificar la compatibilidad del concentrado de pigmento.
	Material incompatible	Evitar grados de plástico lubricados y no usar desmoldante en molde.
Disparo corto	Material insuficiente	↑ Tamaño de disparo. Determinar que el barril de la maquina, tenga suficiente capacidad de llenado para el TPE. Reduzca Rpm's y contrapresión.
	Viscosidad alta de TPE	↑ Velocidad de inyección.
	Insuficiente presión de inyección.	↑ Temperatura de fundido
	Venteo bloqueado	↑ Presión de inyección. Inspeccionar y limpiar el área de venteos.
	Contracción del sustrato / falta de soportes	Checar el hundimiento o rechupado del sustrato y añadir soportes al sustrato.

<p>Ruptura de el sobremoldeado</p>	<p>Presión de inyección y temperatura de fundido altas</p> <p>Fundido del sustrato.</p> <p>Localización errónea de la entrada.</p> <p>Soporte del sustrato incorrecto</p>	<p>↓ Presión de inyección y la temperatura de fundido TPE</p> <p>↓ Temperatura de fundido (velocidad de inyección), Cambiar el material de substarto.</p> <p>Relocalizar la entrada hacia la sección de mayor espesor; evitar la entrada en paredes delgadas del sustrato.</p> <p>Soportar adecuadamente el sustrato (rígido).</p>
<p>Piezas alabeadas (distorcionadas)</p>	<p>Contracción post-moldeo</p> <p>El espesor del sustrato es mayor comparado con TPE sobremoldeado</p>	<p>↑ Temperatura del fundido, tiempo de enfriamiento, la dureza del sustrato incluyendo fibra de vidrio o incrementar el espesor.</p> <p>Diseñar el espesor del sustrato \geq espesor de TPE</p>

4.8 Otros Procesos y Formas de aplicar el proceso de sobre-moldeo

Considerando las características del proceso de sobre-moldeo, es importante analizar otros procesos similares para obtener piezas con diferentes materiales, entre los más comunes y comercialmente atractivos para obtener una pieza integrada que combinen diferentes tipos de materiales plásticos o colores plásticos se encuentra los siguientes:

4.8.1 Moldeo de coinyección

En el proceso de coinyección, consiste en tener un substrato (rígido) y una piel suave, generalmente un TPE que son inyectados simultáneamente dentro del molde. El componente suave (TPE) forma la capa exterior que encapsula al substrato rígido. Es decir, comprende la inyección de un material que forma la piel en la parte exterior y un material distinto pero compatible que forma el núcleo dentro de la cavidad, para así formar una estructura tipo sándwich. A diferencia del proceso de sobre moldeo o multi materiales en el proceso de co-inyección generalmente un material encapsula al otro por lo que en la pieza final solo se aprecia la capa externa ^[3].

El mecanismo del proceso depende de la inyección secuencial de los dos diferentes materiales a través de una misma entrada.

El grado de compatibilidad entre materiales, es crítico para este proceso y debe ser cuidadosamente controlado. Este proceso es relativamente caro y más difícil de controlar por lo que se debe tomar como última opción dentro del los proceso de sobre- moldeo ^[8].

Es un proceso innovador que ofrece una gran flexibilidad, ya que combina las propiedades óptimas de cada material para reducir costos de material, presión de inyección, fuerzas de cierre y esfuerzos residuales que modifican las propiedades finales de la pieza moldeada y permite obtener efectos particulares en la ingeniería de la pieza ^[3].

4.8.2 Descripción del proceso

Este proceso requiere de una maquina con dos unidades de inyección separadas e individualmente controladas unidas a una boquilla común con un sistema de válvulas de control para permitir o secuenciar el flujo de cada unidad de inyección en la figura 9 se ilustra este proceso.

El principio de este proceso es relativamente simple: dos corrientes de polímeros diferentes provenientes de cada unidad de inyección se inyectan uno después del otro en una cavidad. En particular en la primera etapa se inyecta un disparo corto en el molde, esto es no se llena totalmente la cavidad. El comportamiento de flujo del fundido (pseudoplástico) permite la formación de una capa solidificada en contacto con las paredes del molde más frías, lo que deja el centro con material fundido más caliente para que pueda fluir el material que formara el núcleo de la pieza. Conforme fluye el material a través del centro del fundido en medio de las capas solidificadas lo que fuerza al material que forma la piel a terminar de llenar la cavidad. Debido al flujo fuente del fundido polimérico, la capa de piel en la parte frontal del fundido terminara de llenar y encapsular al otro material evitando que este salga.

Este proceso continua hasta que la cavidad se ha llenado y posteriormente se inyecta una cantidad adicional de material que forma la piel para purgar de la boquilla el material que forma el núcleo y encapsular totalmente al núcleo ^[3].

En la siguiente figura se observa las etapas que consta el proceso de co-inyección

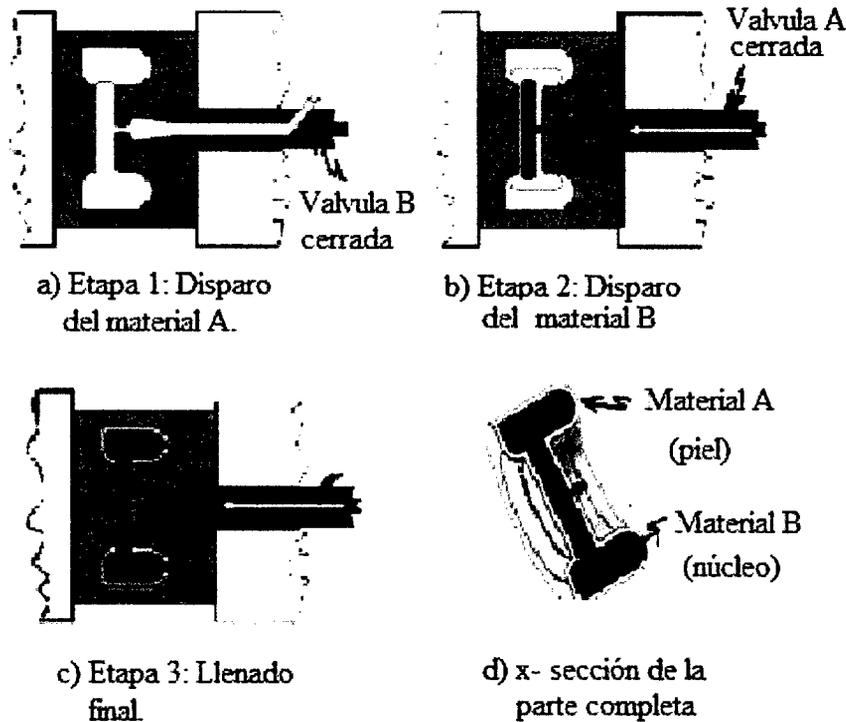


Figura 9. Descripción del proceso de Co-inyección.

4.8.3 Ventajas y Desventajas

Este proceso presenta entre sus ventajas la reducción del costo del material y se puede utilizar material reciclado en el centro debido a que no necesita un material con alto desempeño. Se pueden obtener piezas espumadas permitiendo reducir peso, sin esfuerzos residuales en la pieza, libertad de diseño además una mejora en propiedades físicas y mecánicas. Aunque presenta algunas limitaciones en costo del equipo principalmente en el tipo de boquilla especial que se requiere. Otra limitación es el diseño del molde que requiere mayor inversión por ser diseños especiales de moldes. Además de las unidades de control de proceso donde se requiere un control adicional para las etapas del ciclo de co-inyección ^[3].

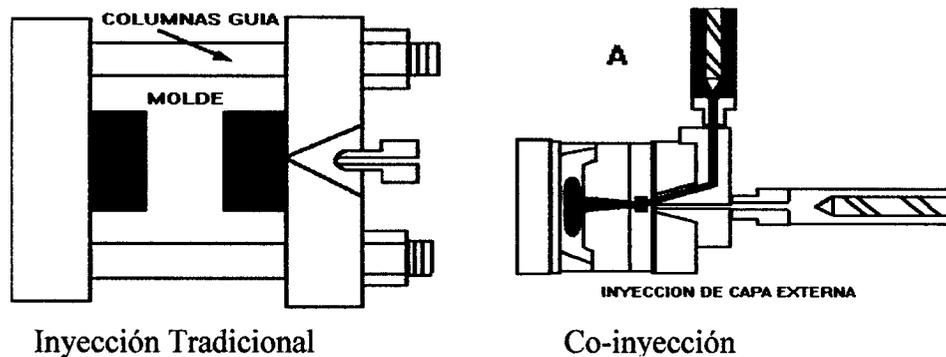


Figura 10. Diferencia entre inyección Tradicional con Co-inyección.

Una diferencia muy notable el moldeo por inyección tradicional con el de coinyección es el tipo de entrada ya que en la primera no tiene un control o puerta que permita que entre el segundo material porque se solidifica la entrada con el material.

4.8.4 Aplicaciones

Es viable económicamente para un amplio rango de aplicaciones en el mercado, sector automotriz, empaque, componentes electrónicos, agricultura ^[4].

- ✓ Carcasas de televisiones (Componente piel: PS; Componente núcleo: PS espumado o Reciclado).
- ✓ Computadoras de escritorio (Componente piel: ABS; Componente núcleo: ABS reforzado con fibra de vidrio).
- ✓ Empacado de alimentos como: carne, pollo. (Componente piel: PP; Componente núcleo: EVOH (propiedades barrera al oxígeno)).
- ✓ Preformas o envases para bebidas (Componente piel: PET; Componente núcleo: PA (Propiedad barrera al oxígeno)).
- ✓ Partes interiores de automóviles (Componente piel: TPU; Componente núcleo: ABS).
- ✓ Muebles para jardín (Componente piel: PP reforzado con mineral; Componente núcleo: SAN (espumado)).

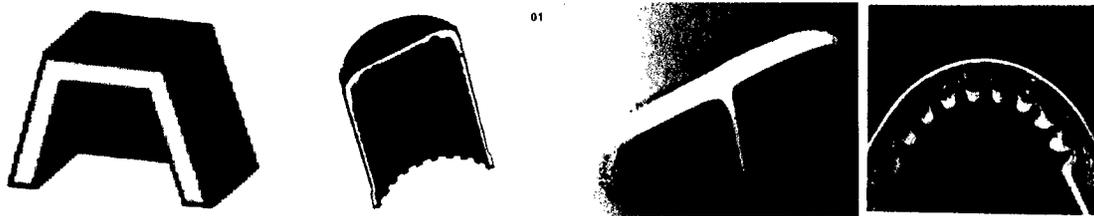
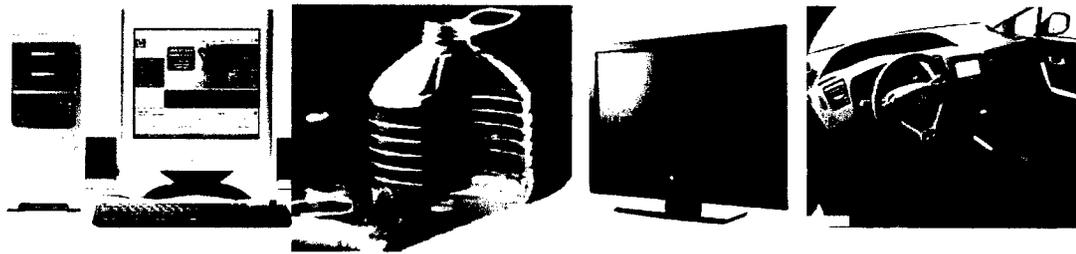


Figura 11. Productos moldeados por la técnica de Co-inyección.

Para combinar los materiales piel y núcleo con propiedades específicas, el moldeo por inyección sándwich ofrece la posibilidad de producir piezas con características especiales. Sin embargo tres criterios importantes se tienen que considerar cuando se combinan materiales plásticos por este proceso: Compatibilidad durante el procesado, compatibilidad de propiedades y compatibilidad en adhesión.

La compatibilidad durante su procesado se refiere a que dos materiales pueden procesarse exitosamente en el proceso de inyección sándwich si sus propiedades de procesado embonan. La relación de viscosidades entre núcleo y piel es inversamente proporcional debido a que si se tiene una alta viscosidad en el núcleo y una baja viscosidad en la piel el corazón se expande porque es más viscoso y deja una capa delgada de piel. Por el contrario si se tiene una viscosidad más alta de piel que en el núcleo formara una capa gruesa de piel y el intervalo de temperatura de procesamiento de los materiales debe ser similar. Por otra parte, si las propiedades físicas de los componentes varían ampliamente en la co-inyección, pueden ocurrir altos esfuerzos residuales internos en la pieza, ocasionados por enfriamiento pueden ocurrir. Por lo tanto el módulo elástico, el coeficiente de expansión térmica, y las contracciones de la piel y núcleo deben ser similares. Por último la compatibilidad en adhesión indica que los materiales procesados deben proveer suficiente adhesión entre ellos para evitar delaminación entre la piel y el núcleo.

En este proceso, una distribución planar del material que forma el núcleo puede obtenerse con una adecuada selección del material que formara la piel además de seleccionar una buena geometría y condiciones de proceso ^[4].

4.8.5 Moldeo inserto

Es el proceso más frecuentemente usado para el sobre-moldeo TPEs dentro plásticos rígidos ^[8]. Las maquinas de inyección convencional pueden ser usados y no es necesaria maquinaria nueva. Es un proceso mediante el cual componentes, constituidos por metal, plástico son previamente colocado en la cavidad del molde y luego se incorpora en la pieza que está siendo moldeada.

Para este proceso, el polímero fundido es inyectado dentro del molde donde el inserto tiene una precarga. El inserto de componentes como sujetador, pines, anillos, espiga, terminales, insertos de fibras metálicas que proveen conductividad eléctrica, que son incorporado al final de las piezas moldeadas. Estos insertos necesitan ser cargados manualmente en el molde o por un robot antes de que se inyecte el polímero fundido dentro de la cavidad ^[3].

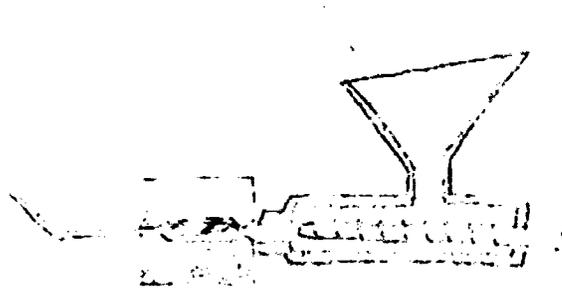
En este diseño el inserto rígido, es colocado dentro del molde y el TPE es inyectado sobre de él. La fuerza de adhesión entre los dos materiales está definida por el TPE, la cual puede ser mecánica ó química. Para lograr un enlace químico o adhesivo, el TPE debe estar lo suficientemente caliente para derretir la superficie del sustrato rígido. El enlace fuerte puede ser suministrado en este proceso por precalentamiento el inserto antes de sobre-moldeo, pero esto no es práctico o una opción deseable en la planta de operación ^[8].

4.8.6 Ventajas y Desventajas

Una ventaja para el moldeo con inserto es que el costo del herramental es bajo, es seleccionado cuando el volumen de producción anual y costo de trabajo son bajos, hay menos problemas con la expansión térmica y contracción comparado con el proceso de coinyección y moldeo de multi componentes (two-shot). Como desventaja al usar este proceso es que incluye generalmente una débil adhesión, necesitan de dos o más etapas de moldeo separadas y la necesidad de un lista de los sustratos de días o semanas antes de que se utilicen. ^[8].

4.8.7 Esquema del proceso de Inserto

El polímero es cargado a la tolva para alimentarlo dentro del barril de extrusión.



La principal diferencia entre moldeo por inyección y el moldeo por inserto es que usa previamente la parte formada. Una parte Primero se produce es insertado en el molde de inyección abierto y el molde cerrado. El polímero es inyectado en el molde para llenar la cavidad designada gaps and voids.

El fundido del polímero toma lugar dentro del barril calentado y la combinación del husillo. Moviendo el tornillo hacia las fuerzas del polímero moldeado en el molde cerrado.

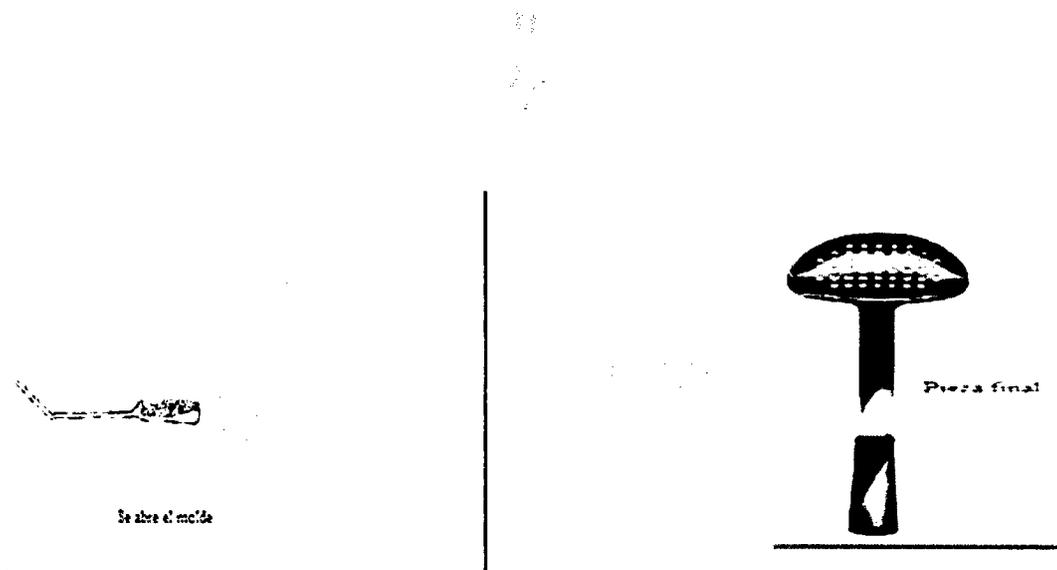
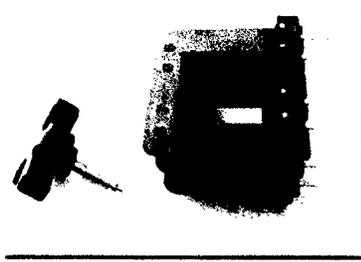


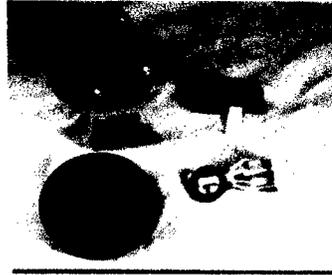
Figura 12. Pieza hecha por el proceso de Moldeo por Inserto.

4.8.8 Aplicaciones

Se usa especialmente en el sector automotriz, eléctrico y electrónica, médica y fibras ópticas, en donde es deseable para unir los plásticos con partes metálicas.



Una fibra de metal sobremoldeado con tapa de plástico para un mejor agarre y un componente de la bobina eléctrica con un interruptor de pines metálicos



Piezas electrónicas

Figura 13. Productos plásticos hechos por el Moldeo por Inserto.

V ESTADO DEL ARTE O ESTADO ACTUAL DEL CONOCIMIENTO

5.1 Estudios del proceso sobre-moldeo

La recopilación de información realizada en el presente trabajo nos permite analizar los principales factores involucrados en el proceso de sobre-moldeo o inyección de multi materiales así como el comportamiento que tienen los diferentes tipos de materiales que se involucran en dicho proceso. Lo cual es de mucha importancia principalmente por el gran impacto que ha tenido este proceso en la industria de transformación actual. En base a esto es que a continuación se exponen las características más relevantes que se han reportado en investigaciones para el desarrollo e innovación de nuevos productos con mejorada calidad mediante el uso de inyección de multi-materiales.

El proceso de sobre-moldeo se aplica generalmente en la industria automotriz en partes internas del automóvil (el polímero rígido es usado para con fines estructurales y el material suave es para aportar confort, ergonomía o la resistencia a grandes deformaciones continuas sin un daño apreciable) sin dejar de mencionar que las piezas inyectadas con este proceso están impactando en el área médica (dispositivos médicos) y en el hogar (teléfono, cepillos de dientes, equipo para afeitar) y en diferentes tipos de herramientas ^[9].

Es preciso mencionar que en el área automotriz una aplicación muy común es el uso de un elastómero termoplástico vulcanizable (TPV), el cual se combina con polipropileno (PP) a partir de la técnica de vulcanización dinámica de TPV/PP, que consiste en un elastómero vulcanizable donde es mezclado con un polímero termoplástico, usando un mezclador interno (Banbury) o un extrusor de doble tornillo ^[1]. Los termoplásticos vulcanizados representan el componente suave del TPE, las cuales dan a la pieza o material propiedades físicas, estética además de mayor resistencia mecánica y a la intemperie ^[10].

Los TPVs no requieren preparación previa del compuesto sino que se pueden mezclar en fundido sus componentes para entrecruzarse en el proceso de inyección. Permiten ciclos de inyección más rápidos (segundos contra minutos), cierta reciclabilidad dependiendo del porcentaje de termoplástico presente en la mezcla con poco o mínimo desperdicio el cual depende del grado de entrecruzamiento del TPV. Permite gran libertad en el diseño de piezas y finalmente se obtiene un ahorro en el costo de la pieza en comparación con materiales elastómeros termofijos vulcanizables ^[11].

Christopher J. La Tulppe (1994) ^[12], reporta que los TPV a base de PP con EPDM se están extendiendo en sus aplicaciones ya que han hecho comparaciones con en el proceso de coextrusión y sobre-moldeo con otros termoplásticos en donde observaron que ambos aportan propiedades diferentes a la pieza final. Con la coextrusión de varias capas, una a base de TPVs en una capa con otra capa de un material rígido a base de PP se pueden evitar costos de ensamble, pueden producir partes con dos o más colores para satisfacer las necesidades de diseño, y productos con propiedades mecánicas específicas. Mientras que en el sobremoldeo en capas delgadas de TPVs dentro de otros termoplásticos pueden mejorar el manejo y textura de las piezas moldeadas, así como disminuir vibraciones no deseadas.

La compatibilidad en materiales es un factor crítico en la coextrusión de estos materiales. La mayoría de los TPV se basan en PP haciéndolos compatibles con otras poliolefinas tales como PP y PE. También son compatibles con mezclas de Nylon 6 con PP y mezclas con EVA. También pueden ser unidos a las versiones cargadas de estos materiales con cargas minerales o fibra de vidrio. Sin embargo los TPV a base de PP con EPDM no pueden ser unidos a PVC ABS o PC.

Se ha reportado también que en el sobre-moldeo de TPV a base de PP sobre un substrato reforzado con cargas inorgánicas o fibra de vidrio a base de PE, EVA, mezclas Nylon/PP, y otros materiales base, reducen el recorrido de flujo en comparación con sistemas sin rellenos. Así el sobre-moldeo presenta ciertas limitaciones en los recorridos de flujo del TPV sobre un material rígido para alcanzar un cierto espesor final en la pieza. ^[12]

De acuerdo a las investigaciones que realizaron Donero, M. y colaboradores (2009) ^[9], sobre el control de la adhesión del PP con copolímero elastomericos a base de etileno-octeno y etileno-buteno por el proceso de sobre-moldeo observaron que cuando se aplica un intervalo correcto de temperatura en la interface solido-liquido se logra el control de la adhesión que es un parámetro clave. Dichos investigadores aplicaron dos tipos de copolímero semicristalinos (etileno-octeno (EOC) y etileno buteno (EBC)) que fueron sobremoldeados sobre un núcleo de PP.

Así mismo consideran que el copolímero al azar de etileno-octeno es más viable para el sobre-moldeo del PP, por su bajo costo y porque no contiene aceites. Las piezas podrían ser fácilmente reciclables si la adhesión de la interface es controlada para resistir las condiciones de uso y poder ser delaminado para separar el PP y el elastómero para su posterior reciclaje.

Con lo anterior concluyeron que al diseñar piezas simples podrían permitir un fácil reciclado cuando se usa un copolímero con contenido de co-monomero en un rango de 10% mol, y para diseños complejos podrían ser más fácilmente sobremoldeados con copolímero con contenido de octeno en un rango del 14% mol mientras que su reciclado podría ser más complicado.

Otra investigación hecha por Candal, y colaboradores (2008) ^[11], se enfocan en observar la influencia de las condiciones de procesamiento del sobre-moldeo (temperatura del fundido y temperatura del molde, presión de sostenimiento y velocidad de inyección) sobre la fuerza de adhesión entre dos polímeros, un elastómero termoplástico vulcanizado (TPV) y un PP en donde midieron dicha adhesión por el trabajo de fractura interfacial (EWIF) que es una herramienta donde se cuantifica la fuerza de adhesión en la pieza sobremoldeada, también verificaron que, cuando se incrementa la temperatura de fundido y la temperatura del molde, se obtiene una alta adhesión, observaron poca influencia en la adhesión al incrementar la presión de sostenimiento ya que se menciona que al incrementar la presión se favorece la migración de los aditivos de bajo peso molecular que podrían promover esfuerzos residuales en la interface, creando una pérdida de la fuerza de adhesión insignificante mientras que el efecto de la velocidad de inyección, temperatura de fundido como el tiempo de contacto con el substrato favorecen la interdifusión de los componentes y mejoran el grado de adhesión.

Candal y colaboradores (2009) ^[13], realizaron investigaciones que se enfocaban en las variables que afectan la adhesión entre materiales, utilizo sobre-moldeo para analizar variaciones de la pieza al inyectar el segundo material. Evaluó el efecto de modificaciones en condiciones (temperatura de inyección, sostenimiento y velocidad de inyección) en el PP-EPDM donde ninguna de las variables modificadas en PP afectan la adhesión entre ambos materiales, no importa el historial térmico del primer material solo importa que el segundo mantenga similares condiciones de procesado.

Gomez M, y colaboradores (2010) ^[14], estudiaron el efecto de las condiciones de moldeo por inyección, la temperatura del inserto y la rugosidad en la adhesión de ambos materiales. El efecto de un tratamiento con flama sobre la modificación superficie del metal y grado de humectabilidad se caracterizó mediante análisis por microscopía y mediciones de ángulos de contacto. También se estudio la estructura cristalina del polímero sobre-moldeado. Se menciona que la temperatura del inserto es una de las principales variables que afectan la adhesión, incluso más que la rugosidad del inserto y el tratamiento de flama ya que se demostró que al aumentar la temperatura inicial del inserto metálico por encima de la temperatura de fusión del polímero sobre-moldeado se produce una microestructura esferulítica en la región de la muestra que está en contacto con el inserto, la adhesión en este caso se incremento significativamente.

Amy E. Rouse (2002) ^[15], Para evaluar los beneficios de inyección de dos materiales o doble disparo (two –shot) llevó a cabo un experimento en varios plásticos rígidos, para determinar la capacidad de adhesión de los TPEs. El Polipropileno sobremoldeado con TPV a base de poliolefinas fue punto de referencia como línea base para su uso en aplicaciones automotrices.

En particular para el caso de ASA (acrilonitrilo-estireno-acrilonitrilo) y la resistencia a la intemperie de productos sobre moldeados de ASA / PC, la adhesión es significativamente más alto para estos materiales y la adición de PC para este sistema hace que la adhesión sea aún más fuerte como se observa en la siguiente tabla 4 donde se presentan los resultados de la fuerza de delaminación para varios sistemas donde ASA/PC1 contienen menor cantidad de PC que la mezcla con ASA/PC2.

Tabla 4. Resultados de la prueba de delaminado a 90 grados.

Benchmark	TPV		
PP	5.1		
Muestras	CEA	TEA	
PBT	1.31	3.01	-GR denota "Refuerzo de vidrio"
11% GR PC/PBT	9.388	3.45	*50% delaminado del material del substrato antes de jalar el substrato fuera de los agarres.
30% GR PBT	3.536	2.82	
ASA	11.87*	4.90	**Jalar el substrato fuera de las agarraderas antes del delaminado.
ASA/PC1	13.5	5.61	
ASA/PC2	24.7	5.23	CEA (Aleación Etileno clorado)
PC	8.223**	N/A	TEA (Aleación etileno termoplástico)
PC/ABS	10.2	N/A	

La resistencia a la adhesión se midió mediante la fuerza para separar o delaminar las capas de la barra "T" utilizando una maquina de tensión Instron. La velocidad de delaminación fue de 50 mm por segundo (2 pulgadas por segundo).

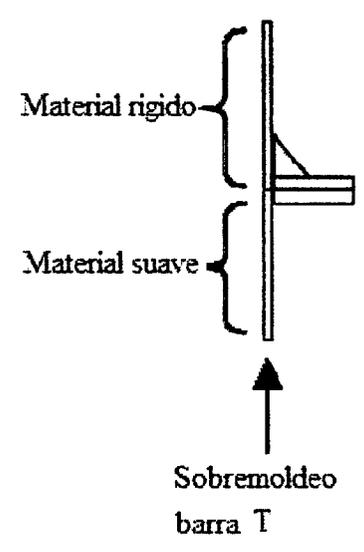


Figura 14. Ilustración de la Barra T.

Dow Corning company (2007) ^[16], Los TPVs a base de hule silicón bajo el nombre comercial de TPSiVTM son una tecnología patentada de Multibase, una compañía de Dow Corning. Como un tipo de aleación de TPE, que combina las propiedades únicas del hule silicón (silicon-rubber), como son la excelente retención de propiedades a bajas y altas temperaturas.

Los TPVs a base de poliolefina y hule de silicón ofrecen características únicas en términos de suavidad y flexibilidad, sin la adición de plastificantes y aceites. En particular, la retención de TPVs de silicona en sus propiedades, excelente propiedades mecánicas después del envejecimiento térmico y el bajo hinchamiento después de la inmersión en un fluido. Estas únicas propiedades hacen la poliolefina TPVs de silicona ideal para el interior de automóviles, suave al tacto, y aplicaciones de tubería flexible.

Chunjian He y colaboradores (2006) ^[17], estudiaron el efecto de la temperatura de procesamiento en las propiedades y la estructura cristalina del Hule acrilonitrilo-butadieno (NBR) nylon 6,66 1010 (trinylon) termoplástico vulcanizado (TPV).

El NBR y el trinylon fueron mezclados dinámicamente mediante vulcanización in situ para producir un TPV con buena resistencia química y propiedades de procesamiento. Se observó que al disminuir la temperatura de moldeo, el estrés aumentaba, la elongación a la fractura de TPV cambiaba ligeramente y la resistencia al solvente de TPV mejoraba claramente.

La estructura cristalina de nylon en TPV fue la más perfecta formando la estructura alfa a 170 °C lo que provocó una mejora en la resistencia del aceite de NBR/Trinylon.

El estrés y elongación a la ruptura de TPV disminuye muy poco con el incremento de la temperatura de moldeo (170 – 185°C) mientras que el esfuerzo tensil de TPV moldeado a 175°C fue mayor. La resistencia al solvente de la muestra del TPV moldeado a 170°C mejoró ampliamente.

VI ÁREAS DE OPORTUNIDAD

Aproximadamente el 35% de toneladas mundiales de nuevos elastómeros termoplásticos a son procesados a través de maquinas de moldeo por inyección. Si se busca obtener o producir piezas moldeadas rentables y satisfacer necesidades finales del cliente, esta técnica sería una buena opción a seguir debido a que los TPE moldeados por inyección son producidos eficientemente en cantidades masivas y se tiene una oportunidad atractiva para estos materiales que incrementan su uso cada día.

Se pueden fabricar por numerosas técnicas de inyección de sobre moldeo o multi materiales como: el moldeo por inserto, doble disparo (Two-Shot), coinyección, resultando en materiales que pueden diferenciarse en la combinación de dureza y suavidad así como aportando una mejora en las propiedades y su estructura final.

El sobre-moldeo permite obtener productos con mejores características de acuerdo con las propiedades que requieren el producto final, ya sea que tenga mayor rigidez, resistencia, apariencia, durabilidad, ergonomía, ampliar el rendimiento la vida útil del material entre otros.

Una de las industrias que más se ve beneficiada es el sector automotriz ya que además de reducir el costo de fabricación del auto debido a que se ocupan los plásticos que tienen mayor facilidad para procesarlos a un bajo costo, además, se necesita menor temperatura en comparación con los metales, reduciendo el peso total del auto y con esto eficiente el uso de combustible y la eliminación de gases tóxicos contaminantes al medio ambiente.

Otras aéreas de aplicación son: herramientas eléctricas, herramientas de mano (desarmadores, pinza de puntas, pinzas eléctricas, teléfonos, dispositivos periféricos de las computadoras, productos personales; cepillos de dientes, artículos electrónicos y juguetes.

VII CONCLUSIONES

Al analizar el proceso de sobre-moldeo se encontró que se han desarrollado diferentes métodos de moldeo por inyección, para la obtención de piezas moldeadas de calidad a través de diversas técnicas como el moldeo por inserto, coinyección, molde giratorio, algunos los materiales que se utilizan son TPE, TPV, PP, PE, PC, ABS, PA.

A través del análisis de las diferentes técnicas se reportaron los problemas, causas y soluciones para la obtención de piezas moldeadas con este proceso para TPE.

De acuerdo al estudio realizado se concluyó que el proceso de sobre-moldeo es ideal para aplicarse en el área automotriz debido que este proceso ofrece a los productos seguridad, funcionalidad, estética ya que ofrece todas las ventajas que se requiere para cualquier pieza a un precio razonable.

- ✓ Este proceso permite mejoras en apariencia de la pieza, protección UV, se evita el ensamble, aumenta la eficiencia en la adherencia entre los materiales.
- ✓ Los principales factores que influyen en el sobre-moldeo para mejorar la calidad de la pieza son Velocidad de llenado, Presión, Temperatura del molde y del material.
- ✓ Un factor crítico es la compatibilidad entre los materiales.

Es un proceso muy eficiente por los diversos materiales suaves que existen de TPE disponibles en el mercado, debido a que cada vez existen más empresas que manejan este tipo de productos y cada vez ofrecen mejores alternativas.

En general se puede concluir que este proceso ofrece una serie de ventajas en comparación con la inyección convencional que lo hace muy atractivo y económico para el diseño de piezas cada vez más sofisticadas que demanda el mercado actual. Este proceso al combinar diferentes tipos de materiales, permite combinar las mejoras características de cada tipo de material y expandir con esto sus áreas de aplicación y libertad de diseño.

VIII REFERENCIAS

- [1] María V. Candal, Antonio Gordillo, Orlando O. Santana, Johan J. Sánchez “*Study of the adhesion strength on overmoulded plastic materials using the essential work of interfacial fracture (EWIF) concept*” J Mater Sci (2008) 43:5052–5060.
- [2] Liang Xu, Sehyun Kim and Krishna Venkataswamy, GLS “*Novel thermoplastic elastomers with universal bonding characteristics*”. Rubber World 2008, pág 39-43.
- [3] Tim A Osswald, Lih-Sheng (Tom) Turng and Paul J. Gramann Injection Molding Handbook Hanser 2001.
- [4] Gerd Pötsch, Walter Michaeli “*Injection Molding An Introduction*” (2007) pag 195-205.
- [5] J. Zhao, S. Z. Yu, G. Chen and Y. K. Juay “*Over moulding technologies for automotive plastic components manufacturing applications*” SIMTech technical reports (STR_V9_N3_03_FTG) Volume 9 Number 3 Jul-Sep 2008.
- [6] J. Zhaol, S. Z, Yul, G. Chen¹ and Y.K.Juay¹ , G. F,Smith², and K.Kirwan² “*Multi-material Moulding Technologies for Multifuncional and Cost effective Polymer Products Applications*” plastic and rubber_Journal 2008 pag 8-20.
- [7] Overmolding guide 2004 GLS Corporation pág 1-30 www.glscorp.com.
- [8] Guide To Overmolding With Melt Processible Elastomers (MPEs). JSA – APA Overmolding Guide 2006, pág 1-10.
- [9] Marco Dondero¹, Jose´ M. Pastor^{2,3}, Jose´ M. Carella¹, Claudio J. Perez¹ “*Adhesion Control for Injection Overmolding of Polypropylene With Elastomeric Ethylene Copolymers*”. Polymer engineering and science—(2009) 1886-1893.

[10] TPV elastoprene serie Ni - Procesos de inyección www.elastoprene.com España septiembre 2007.

[11] Samuel C. Harber, Brian J. Cail and Charles Smith, Zeon Chemical “*150°C capable TPVs for demanding polyamide and polyester over-molding*”. Rubber world 2005 Pág 36-42.

[12] Christopher J. La tulippe “*Coextrusion and overmolding extend TPV applications modern plastics*”. (1994), pág 136-142.

[13] Maria Virginia Candal ¹*, Yhoiris Méndez, Rosa Amalia Morales ¹ “*Efecto de las variables de proceso del sustrato (pp) sobre la adhesión entre materiales sobreinyectados (PP-EPDM)*” Suplemento de la Revista Latinoamericana de Metalurgia y Materiales, 2009.

[14] Marta Gomes, Júlio C. Viana, António J. Pontes “*Hybrid injection moulding: overmoulding of metal inserts with PP*”, Semana de Engenharia 2010 IPC (Institute of Polymer and Composites), pag 1-10.

[15] Amy E. Rouse “*Two-Shot and Overmolding Technology for Automotive Applications Using Engineering Thermoplastics*” Society of Automotive Engineers, Inc. (2002) pag 1-5.

[16] Gifford Shearer, Multibase, A Dow Corning Company “*New Developments in Thermoplastic Silicone Vulcanizates*” plastic and rubber_Journal 2008, pág 40-43.

[17] Chunjiang He, ¹, Hua Zou, ^{1,2}, Suhe Zhao ^{1,2} “*Effect of the Processing Molding Temperature on Crystalline Structure and Properties of Acrylonitrile-Butadiene Rubber/Trinylon Thermoplastic Vulcanizates*” Journal of Applied Polymer Science, Vol. 102, 1374-1379 (2006).

[18] A. J. Kinloch “*Adhesion and Adhesives*” Science and Technology, 1990.