

## **INFORMACION TECNICA PET**

---

### **INTRODUCCION**

El polímero de PET puede ser transformado en botella mediante un proceso llamado biorientación de preformas, las cuales son moldeadas en equipos de inyección. El moldeo de las preformas consiste en la inyección del polímero fundido en la cavidad del molde hasta llenarlo. Una vez lleno, la resina del polímero fundido es enfriada rápidamente para obtener así una pieza con excelente transparencia, libre de deformaciones y una magnífica exactitud dimensional lo cual es esencial para obtener botellas de excelente calidad.

El objetivo de esta sección es presentar con detalles algunos de los aspectos técnicos más importantes sobre el moldeo por inyección de la preforma fabricada con resina.

### **DESCRIPCION DEL PROCESO**

El proceso de inyección puede ser dividido en las siguientes fases:

Secado del granulado hasta lograr que el contenido de humedad sea menor a 40 ppm.

Fusión del polímero en un equipo de inyección, utilizando de preferencia el husillo que esté diseñado especialmente para PET, aunque un husillo convencional, de longitud 20:D y una relación de compresión de 3:1, puede ser de utilidad.

Inyección del material dentro de las cavidades del molde, que normalmente es de colada caliente, aunque los de colada convencional también pueden encontrar alguna aplicación.

Enfriado rápido del material dentro del molde para obtener piezas amorfas (transparentes).

Apertura del molde y expulsión de las preformas.



Durante el moldeo por inyección de la preforma, se deben controlar perfectamente los siguientes aspectos ya que las ventajas principales inherentes del PET pueden quedar destruidas durante la inyección de la preforma si no se tiene una óptima operación:

#### RETENCION DE VISCOSIDAD INTRINSECA

La Viscosidad Intrínseca (V.I.) es una medida indirecta del peso molecular, o sea, del tamaño promedio de moléculas que definen al polímero. La Viscosidad Intrínseca de uso general es de  $0.8 \pm 0.02$  dl/g que corresponde aproximadamente a 125 unidades repetidas por molécula y un peso aproximado de 24,000 g/mol. Cualquier disminución en la viscosidad del polímero en su paso de granulado a preforma, significará una reducción del peso molecular. Bajo condiciones controladas de secado y moldeo, la pérdida de viscosidad no deberá ser mayor de 0.03 dl/g. Cualquier pérdida superior a este nivel trae como consecuencia un detrimento en la transparencia de la preforma debido a un incremento en la velocidad de cristalización, acarreado la pérdida de las propiedades mecánicas del envase, particularmente la resistencia al impacto y la carga vertical aplicada sobre la tapa.

La pérdida de la viscosidad se debe básicamente a una degradación hidrolítica ocurrida durante el estado de fusión que es donde el agua a niveles superiores de 40 ppm tiene una acción destructiva del polímero.

Una segunda causa de la caída de V.I. es la degradación térmica durante la fusión del polímero para inyectarlo. De ahí que se debe emplear un perfil de temperaturas de modelo y velocidades de corte lo más suave posible que permitan la obtención de preformas claras, transparentes y libres de distorsión.

#### GENERACION MINIMA DE ACETALDEHIDO

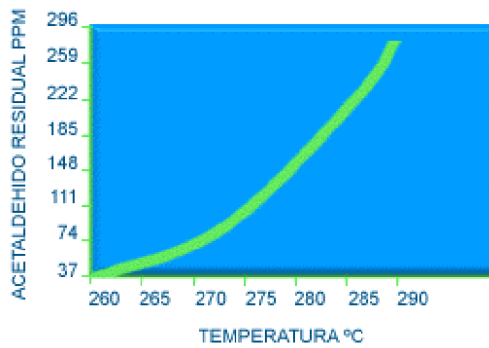
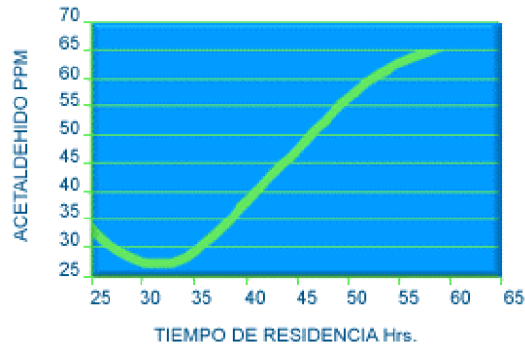
El acetaldehído (CH<sub>3</sub>CHO) se genera en pequeñas cantidades durante el proceso de fusión de PET; la cantidad de agua presente no influye en la generación de acetaldehído. Durante la fabricación del polímero el nivel de acetaldehído se controla perfectamente, entregando un producto al mercado con un contenido de 2ppm como máximo.

El acetaldehído es un líquido volátil incoloro (punto de ebullición 20.8°C) y que se distingue por su olor a frutas. Precisamente por su olor característico, el acetaldehído ha sido empleado con mucha frecuencia en la industria alimenticia como un saborizante.

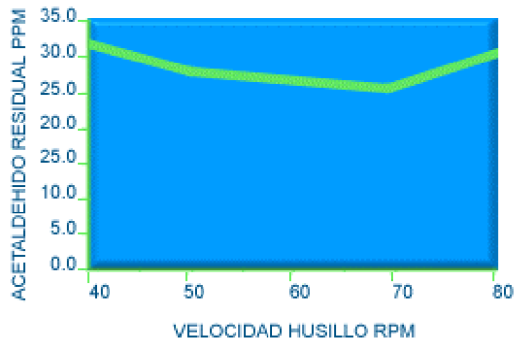
Debido a la facilidad que tiene el acetaldehído de emigrar desde la pared de la botella y difundirse en el contenido de la misma, la generación de este producto debe ser cuidadosamente controlada durante la inyección de la preforma. El agua mineral así como las bebidas de cola son particularmente sensibles al acetaldehído.

El acetaldehído se genera por la degradación térmica de las moléculas de PET mientras se encuentra en estado de fusión, por lo que tiene una relación directa con la historia térmica del polímero.

El efecto de la temperatura y el tiempo de residencia del polímero dentro del cañón, en relación a la generación de acetaldehído se ilustra a continuación:



Se puede observar el efecto, de la velocidad del husillo (RPM) y la contrapresión en la generación de acetaldehído.



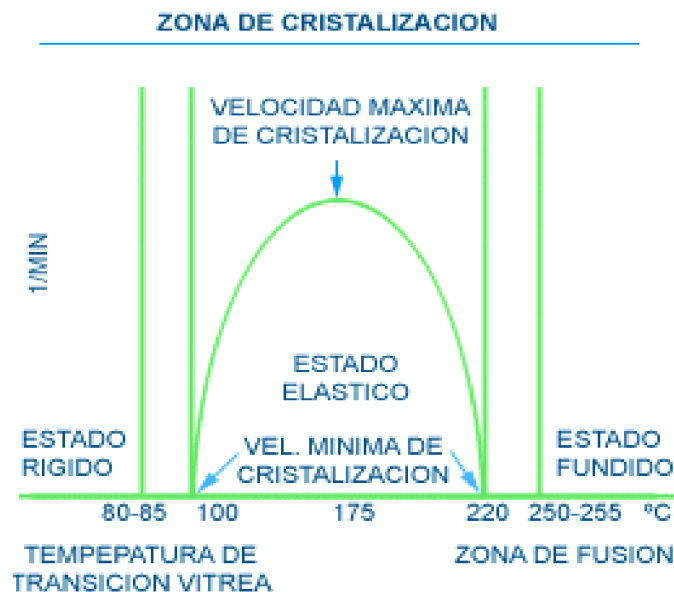


La transparencia de la preforma está relacionada directamente con el grado de cristalinidad del polímero (el PET es transparente cuando tiene una estructura molecular amorfa y será opaco cuando esté cristalizado). Cuando el PET se encuentra a una temperatura entre los 85°C y los 250°C, las moléculas tienden a alinearse para formar una estructura cristalina.

La velocidad de cristalización es muy lenta en ambos extremos de este rango y es más rápida en el centro, o sea entre 140°C y 180°C. En el punto más alto de la curva de cristalización, alrededor de 175°C, el PET alcanza un grado visible de cristalinidad en menos de un minuto, de tal manera que el polímero debe ser enfriado dentro de la cavidad del molde lo más rápido posible.

Debido a que la conductividad térmica del PET es relativamente baja, el contenido de calor en el centro de la pared de la preforma es el principal contribuyente para tener una determinada cristalinidad en la pieza.

La tecnología actual del moldeo por inyección está limitada a un espesor máximo de 4 mm aproximadamente.



La temperatura de la masa durante el moldeo por inyección tiene un efecto significativo en la transparencia de la preforma. Mientras más elevada sea la temperatura se tendrá una mayor cantidad de cristalitas fundidos. Sin embargo, no se puede elevar la temperatura en forma indiscriminada ya que se corre el riesgo de generar una cantidad indeseable de acetaldehído.

Algo similar ocurre con la viscosidad intrínseca, ya que entre mayor sea el peso molecular del polímero existe una menor tendencia a la cristalización pero debido a que se requiere una mayor temperatura de fusión se ve incrementada la generación de acetaldehído.



## **FABRICACION DE ENVASES**

---

### **FABRICACION DE LOS ENVASES**

Existen en el mercado dos tipos de instalaciones para fabricar envases de PET:

#### **SISTEMA DE DOS ETAPAS**

En este sistema, la primera etapa consiste en inyectar un preforma en un equipo de inyección el cual deberá tener ciertas características especiales para que pueda procesar la resina y obtener de él un rendimiento óptimo en cuanto a sus propiedades físicas y de transparencia. Sin embargo, en los equipos convencionales de inyección también puede ser procesado el material mediante un ligero acondicionamiento del equipo obteniendo preformas de calidad.

Los moldes deben ser de colada caliente cuando se trata de elevados niveles de producción y deberán tener un sistema de refrigeración muy eficiente. Estos moldes suelen tener desde 16 hasta 96 cavidades. Una vez que las preformas están lo suficientemente frías para que no se deformen o se peguen entre sí, son expulsadas y posteriormente enviadas a donde se localice el equipo de soplado, el cual puede estar en la misma planta o cualquier otro lugar.

La segunda etapa del proceso consiste en calentar las preformas hasta una temperatura tal que puedan ser estiradas y sopladas, en un equipo de soplado de alta productividad que normalmente se encuentra localizado en las plantas embotelladoras.

#### **SISTEMA INTEGRADO O DE UNA ETAPA**

En este sistema, se realiza el moldeo de la preforma y el soplado de la misma, para obtener el envase en una sola máquina (los procesos de inyección y soplado están integrados en una misma unidad), por lo que no es necesario sacar las preformas de la máquina para que puedan ser sopladas y llevarlas a su forma y tamaño definitivos.

### **SECADO DEL POLIMERO**

Debido a que la resina PET absorbe humedad, requiere de un proceso de secado antes de ser moldeado por inyección. Existen en el mercado equipos de secado de aire deshumidificado fabricados especialmente para el PET.

### **APLICACION DE LAS BASES**

Los envases que van a contener bebidas con CO<sub>2</sub>, como refrescos, agua mineral o cerveza, deben estar diseñados de tal manera que puedan soportar hasta 5 volúmenes de dióxido de carbono. Esto significa que deberán tener un fondo que soporte dicha presión sin deformarse. Los diseños más



empleados para tal efecto ha sido el de forma esférica en la base y actualmente los de fondo petaloide.

Para poder parar las botellas de forma esférica se hace necesaria la utilización de bases que pueden ser de polietileno o polipropileno. Para productos que no contengan CO2 suelen emplearse botellas de base plana o normal donde no se necesita una base adicional.

Nota: La información contenida en esta sección se proporciona como una guía; se sugiere a los convertidores ponerse en contacto con las compañías correspondientes para obtener una información más detallada.

## COMPARACION ENTRE LOS SISTEMAS DE APLICACION

### VENTAJAS DEL PROCESO EN DOS ETAPAS

1. Adecuado para grandes producciones (más de 30 mil millones de envases al año).
2. Permite centralizar la producción de preformas para suministrarlas posteriormente a las plantas de soplado.
3. Las máquinas para el soplado de envases pueden ser adquiridas por separado, lo que permite:
  - a) Adquisición de preformas, evitando así las dificultades técnicas de la fase de producción de las mismas.
  - b) Menor monto de inversión inicial antes de adquirir la instalación para la producción de preformas.
  - c) Ideal para la producción múltiple en las plantas empleando un centro productor de preformas.

### VENTAJAS DEL PROCESO EN UNA ETAPA

1. Menor inversión inicial.
2. Dado que la capacidad es inferior, permite un aumento escalonado de la producción e inversión.
3. Adecuado para varios tipos de productos o para capacidades de producción bajas, con diseños de envases más complejos, bocas anchas y multicapas.



## **SECADO PET**

---

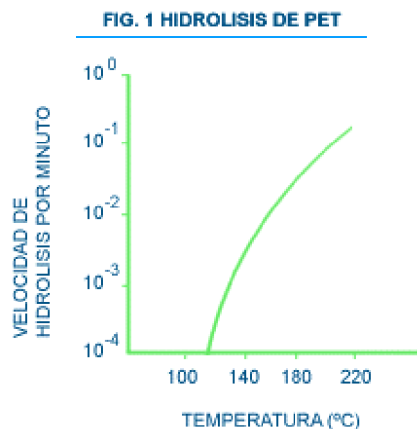
### **TEORIA SOBRE EL SECADO DE PET**

Un requisito esencial para el proceso de la resina de polietilentereftalato (PET), es el control cuidadoso del secado del material.

El PET, en forma sólida, absorbe humedad del medio ambiente (semejante a un desecante). Así, durante el almacenaje, la resina absorberá humedad hasta alcanzar el equilibrio. Este valor puede ser tan alto como 0.6% en peso, dependiendo de las condiciones del lugar donde sea almacenado. En la práctica, la resina no absorbe niveles de humedad mayores a 0.2% en peso si se mantiene en un lugar cubierto y durante periodos cortos de tiempo. Sin embargo, para fabricar un buen producto de PET, se requiere reducir la humedad a menos de 0.004% (40 partes por millón) antes de inyectar el material.

La razón para esto, es que a temperaturas superiores al punto de fusión, el agua presente hidroliza rápidamente al polímero, reduciendo sus peso molecular así como sus propiedades características.

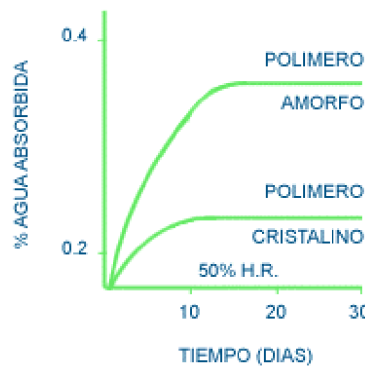
La hidrólisis puede ocurrir en el sólido desde temperaturas tan bajas como 150°C, aunque a poca velocidad. A medida que la temperatura se incrementa, la velocidad de hidrólisis también aumenta como se muestra en la Fig. 1. Existe, sin embargo, un límite de temperatura máxima de secado sin causar una caída excesiva de viscosidad intrínseca (V.I.). En la práctica, desde el punto de vista económico y de eficiencia, las mejores condiciones de secado se alcanzan entre 165°C y 170°C.





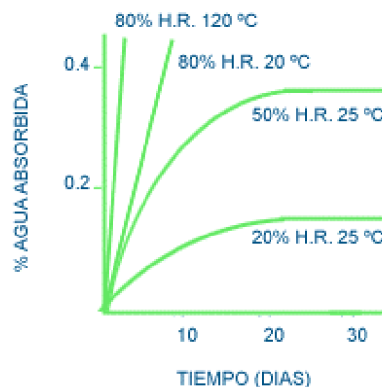
Como ya se indicó, existe absorción de humedad del medio ambiente tan pronto como el granulado de PET sale del proceso final de su elaboración. La velocidad de absorción depende de cuatro factores para un tamaño específico de recorte. Estos son: tiempo, temperatura, humedad atmosférica (punto de rocío) y la cristalinidad del chip. EL PET amorfo absorbe humedad más rápidamente que el PET cristalino. En este sentido, la alta cristalinidad natural (> 50%) confiere un reducción en la velocidad de absorción de humedad, bajo ciertas condiciones, como se indica en la Fig. 2.

**FIG. 2 ABSORCION DE HUMEDAD DEL PET**



La Fig. 3 ilustra la influencia de la temperatura y humedad del medio ambiente sobre la humedad absorbida así como la necesidad de tener cuidado con el almacenaje, el cual de preferencia debe ser bajo cubierta.

**FIG.3 INFLUENCIA DE TEMPERATURA SOBRE LA HUMEDAD ABSORBIDA**







El proceso inverso a la absorción de humedad, es sin duda el secado. En el caso de PET, la humedad contenida no sólo se encuentra en la superficie sino también es absorbida por el granulado al introducirse en el interior de éste por difusión. Es aquí donde el secado del PET difiere de otros procesos, donde sólo la humedad superficial tiene que ser eliminada.

Debido a esta penetración de humedad, se requiere un tiempo relativamente largo de secado a temperaturas elevadas de operación.

Por otro lado, la estructura y tamaño del granulado, influye en la velocidad del secado, siendo la forma cilíndrica del 86N óptima para ayudar a la eliminación de humedad. Esto se debe a que el paso que controla el proceso de deshumidificación, es el de difusión de agua a través del chip hasta su superficie. El tiempo de difusión se puede minimizar disminuyendo el tamaño de granulado y con un diseño que aumente el área superficial de contacto del chip con el aire de secado.

Los otros tipos de transferencia de masa que ocurre en el secado de PET son:

1.  
La transferencia de agua a través del sistema binario sólido / gas.
2.  
La difusión de vapor de agua dentro de las atmósfera o medio que lo rodea.

Una precaución adicional debe ser considerada con respecto al manejo previo del chip secado antes de la inyección. Como ya se mencionó, el PET es un desecante el cual aumenta su capacidad para captar humedad cuando se incrementa la temperatura. El poliéster seco caliente puede ganar humedad a una velocidad de 5 a 10 ppm por segundo en contacto con aire ambiental, por lo que es esencial que el manejo de chip seco se efectúe con aire cuyo punto de rocío no sea mayor al que tiene el aire de secado. Por lo anterior se recomienda contar con un equipo de prueba para determinar el contenido de humedad retenida en el material.

## **EQUIPO DE SECADO**

El análisis hasta aquí efectuado sobre el secado de PET nos lleva a requerir de un equipo capaz de generar un gas (aire o nitrógeno) con un bajo punto de rocío, con control de temperatura utilizando un proceso mecánico que garantice una variación mínima de temperatura entre el granulado individual y el contacto efectivo gas/sólido. La selección puede ser entre una operación batch o en continuo.

Los secadores tipo batch ya sea con cama fluidizada o por métodos rotatorios, tienen la desventaja de variar de batch a batch provocando cambios potenciales en las características del producto. Además el costo del equipo es incrementado debido a la necesidad de adquirir en forma adicional la tolva de sostenimiento.

Los secadores de proceso continuo tipo columna con movimiento vertical, son usados por algunas compañías, obteniendo buenos resultados en la operación así como en el costo. Los puntos esenciales en la selección de este tipo de secador son asegurar un buen flujo del polímero, distribución uniforme del gas a través del polímero y obtener un gradiente mínimo de temperatura entre la longitud y radio de la columna. Debido a que la resina está ya cristalizada, no se requiere de un precristalizador antes del secado tal como se requiere con el polímero amorfo.

### **SECADO DEL PET**

Los detalles teóricos sobre el secado de PET son explicados al principio de esta sección. A continuación se presentan los aspectos más importantes para un buen proceso de secado así como los problemas prácticos y los aspectos que deben ser considerados para asegurar un proceso confiable y eficiente.

#### **REQUERIMIENTOS CLAVES E IMPLICACIONES PRACTICAS**

1.

Temperatura correcta de secado.

La temperatura del chip deberá estar entre 150°C y 160°C.

2.

Temperatura correcta del aire de secado.

Este no debe exceder de 180°C, medido a la entrada del aire del secador.

3.

Punto de rocío correcto del aire de secado.

Este no deberá ser mayor de -30°C., siendo recomendable en la práctica valores menores o iguales a -40°C., medido a la entrada del secador.

4.

Adecuado flujo de aire de secado a través del chip.

Muchos secadores operan con flujos de aire de 1 pie<sup>3</sup>/ min. Para 1 lb/hr. De chip inyectado como requerimiento mínimo. Obviamente el flujo de aire debe tener la temperatura y punto de rocío adecuados.

5.

Tiempo de residencia del chip (tiempo de secado).

Se recomienda que el tiempo de residencia para la Resina PET no sea menor a 4 horas, siendo común trabajar entre 6 y 8 horas. El tiempo de secado teórico, puede ser calculado dividiendo la capacidad del secador (Kg) entre la productividad de la máquina (Kg/hr).

## PRINCIPALES PROBLEMAS QUE DEBEN SER CONSIDERADOS

En una operación eficiente, con un buen cumplimiento de los requerimientos básicos del secado, los problemas deben ser mínimos. Sin embargo, los siguientes puntos deben ser considerados:

1.

Filtro del aire

Los filtros protegen al desecante del polvo y su limpieza en forma rutinaria es esencial. Se debe tener mucho cuidado para no dañarlos ya que disminuirá su eficiencia en el secado.

2.

Mal funcionamiento

Si ocurre algún bloqueo o falla mecánica del enfriador del aire, se provoca una pérdida de la eficiencia en la capacidad de regeneración del desecante, incrementándose el punto de rocío y disminuyendo su capacidad de captación de humedad.

3.

Fallas del calentador.

Las fallas en el calentador de aire pueden presentarse debido a:

a)

Incapacidad para alcanzar la temperatura correcta de secado.b)

Incapacidad para alcanzar la temperatura adecuada para la regeneración del desecante.

4.

Ingreso del aire ambiental.

Este se aplica particularmente a sistemas que emplean succión para transportar el chip. El aire del medio ambiente siempre estará húmedo comparado con el gas de secado. Si alguna cantidad de este aire es introducido en el sistema, se producirá una variación en el punto de rocío y por lo tanto en la eficiencia del secado. Bajo estas circunstancias, en el caso de remover un componente del secador, se debe tener cuidado al reensamblar la parte, colocando empaques adecuados y probando el sistema contra fugas.

5.

Transporte del chip seco.

Si el secador no está colocado encima del inyector, es esencial que los granulados de PET sean transportados con aire seco con una temperatura y punto de rocío equivalente al gas de secado. De no hacerlo así se puede provocar la humidificación del granulado con los subsecuentes efectos negativos sobre su procesamiento, claridad del producto y degradación hidrolítica.

## IMPLICACIONES PRACTICAS

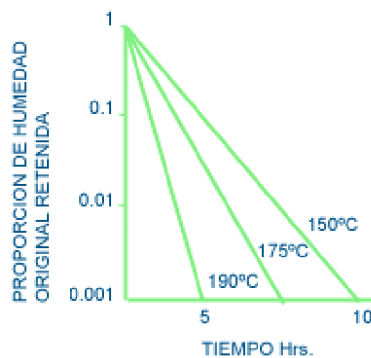
Ante todo es importante seguir las instrucciones operativas sugeridas por el proveedor del equipo. Se deben llevar a cabo los programas de mantenimiento, los cuales están basados en una amplia experiencia. Las fallas en el equipo pueden provocar un secado ineficiente, produciendo preformas y envases fuera de especificación así como incremento en los costos de operación.

En este sentido, un flujo de gas con bajo punto de rocío es normalmente utilizado, el cual además de mantener un diferencial en la presión parcial del agua entre la fase sólida y gaseosa, también provee de la transferencia de calor requerido en la dehumidificación. De los tres tipos de transferencia de masa involucrados, el de difusión resulta ser el que controla el proceso debido a que es el que se efectúa a mucho menor velocidad.

Otros parámetros que influyen en la velocidad de secado son la humedad y temperatura del gas utilizado, como se indica en la Fig. 5, donde se observa un incremento en la velocidad a temperaturas elevadas. Este resultado, sin embargo, no es suficiente para asumir que se tienen las mejores condiciones de operación en el secado del material.

La influencia de la humedad y temperatura del gas de secado es mucho más complejo teniendo efectos significativos sobre la estructura química y propiedades finales de la resina debido a una degradación potencial del material por los procesos térmicos y de hidrólisis.

**FIG. 5 EFECTOS DE TEMPERATURA DE SECADO Y HUMEDAD REMOVIDA**



Reciclado

WEB: [Http://www.st-1.com.ar](http://www.st-1.com.ar) Papel  
TEL. (005411) 4650-7016 LINEAS ROTATIVAS  
FAX. (005411) 4650-1435



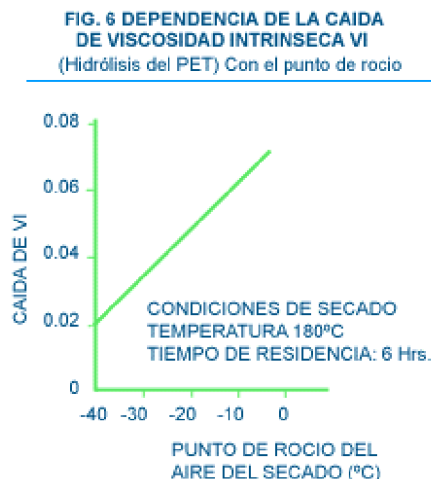
**REQUERIMIENTOS DEL AIRE DE SECADO**

Como ya se mencionó, la velocidad en el proceso de hidrólisis con la consecuente reducción de la Viscosidad Intrínseca se incrementa a temperaturas arriba de 150°C y si el proceso de transferencia de calor es más rápido que el proceso de difusión, el secado puede ser una desventaja en la operación.

Adicionalmente, si la humedad ha sido removida a temperaturas de secado mayores a 180°C se puede conducir a una degradación termo-oxidativa donde se rompen las cadenas del polímero, produciendo subproductos indeseables con la consecuente disminución de las propiedades físicas.

Entre los subproductos se encuentra la generación de acetaldehído y cambios físicos que pueden producir una apariencia turbia-blanquesina en las preformas (haze) debido a la disminución de V.I., así como una tonalidad amarillenta producida por la degradación. No obstante se recomienda efectuar el secado entre 165°C y 170°C, con un tiempo entre 4 y 8 horas hasta lograr que el contenido de humedad del chip sea de un máximo de 40 ppm. Estas condiciones minimizarán las interacciones entre los procesos involucrados.

La influencia de la humedad del gas de secado a una temperatura dada es un factor que debe ser también considerado como se indica en la Fig. 6. De aquí se puede observar que el punto de rocío, el cual es una medida indirecta del contenido de humedad del gas de secado, debe ser menor a -30°C, condición que evita una elevada caída en la viscosidad sin disminuir la eficiencia del secado. En la práctica, el punto de rocío comúnmente usado para el aire es de -40°C.



**HUMEDAD RETENIDA EN EL CHIP SECADO**

La importancia de la eliminación de humedad, es mostrada mediante un cálculo teórico donde se obtiene una pérdida de V.I. de 0.01 casi de forma instantánea, por cada 16 ppm de humedad retenida en PET fundido.

Muchos productos tales como alimentos, cosméticos y farmacéuticos entre otros, requieren materiales de empaque especiales donde el color es un importante aspecto que debe ser considerado. El PET en este sentido es ya utilizado con éxito en colores verde y ámbar principalmente en los envases para bebidas carbonatadas y farmacéuticos, así como otras aplicaciones. Claridad y brillo son algunas de las propiedades esenciales que otorga a sus productos.

En el caso de alimentos particularmente, los requerimientos para cualquier envase de plástico son muy rigurosos; sin embargo, el PET en color ha demostrado ser un material apropiado para el manejo de los alimentos, siendo aprobado por la F.D.A. en Estados Unidos y la Secretaría de Salubridad y Asistencia a través del Sector Salud de México.

## CONCENTRADOS DE COLOR

Una de las técnicas para producir envases de PET con color, es utilizando "Master Batch", el cual consiste en pellets de PET con alta concentración de pigmento previamente incorporado, existe también pigmento líquido y en microesferas, básicamente las microesferas son burbujas de un polímero que funde alrededor de 80°C y que contiene en su interior una cierta cantidad de pigmento en polvo, que por contacto directo con la resina que baja del secador rompe la burbuja, permitiendo que el pigmento se libere y se mezcle en la garganta del extrusor con el PET.

Los concentrados de color se encuentran en el mercado en una amplia gama de colores y son adicionados al PET natural en una relación establecida por el fabricante, que determina la intensidad del concentrado e indica la cantidad de Dg de resina natural que deben ser mezclados con el concentrado para alcanzar el color deseado. La unión del material se puede efectuar en 2 formas:

A.

Preparando la mezcla mecánicamente por agitación en algún recipiente giratorio o algún otro sistema y vertiendo posteriormente la mezcla a la tolva de secado, integrada al equipo para PET que utilice el cliente. Esta unión se utiliza únicamente en el caso del Master Batch.

B.

Otra forma de colorear la resina es introduciendo una cantidad constante de concentrado de color (Master Batch), microesferas o pigmento líquido a la garganta del cilindro de la unidad de inyección, uniéndose al flujo principal de resina natural, efectuándose la mezcla antes de la inyección dentro del cilindro. La mezcla opera en forma continua, aunque para poder controlar el flujo de pigmento adicionado se emplean dosificadores para el Master Batch y microesferas y una bomba dosificadora para el pigmento líquido. Estos equipos se encuentran sincronizados con el husillo de inyección.

Los equipos pueden ser regulados para dar una cantidad constante de pigmento en la relación de la mezcla deseada.

Cambios en el color se pueden obtener rápidamente, removiendo los dosificadores de la tolva de secado.

La principal ventaja de estos sistemas es el fácil manejo del material.

## DATOS TECNICOS DEL CONCENTRADO

1.

Color:

Además del verde y ámbar, se pueden producir una gran variedad de colores como: azul, amarillo, naranja, negro, en presentación transparente, translúcida y opaca.

2.

Tamaño del chip:

El tamaño del chip del Master Batch y microesferas siempre son uniformes, asegurando un color estándar y sin variación en los productos elaborados.

3.

Secado:

El secado del Master Batch asegura que no ocurra degradación del material por humedad durante el proceso de inyección. Las condiciones de secado son iguales a las de la resina natural, obteniéndose así envases que cumplan con las especificaciones requeridas solo en el caso "A".

4.

Viscosidad Intrínseca:

La Viscosidad Intrínseca (V.I.) del Master Batch es constante y lo más cercana posible a la resina natural, con el objeto de eliminar cualquier problema de caída de viscosidad durante el proceso.

5.

Acetaldehído:

El nivel de acetaldehído de cualquier Master Batch es lo suficientemente bajo para asegurar que el producto final cumpla con los requerimientos establecidos y en el caso de las microesferas y pigmento líquido no hay presencia del mismo.

6.

Relación de mezcla:

La relación de mezcla del concentrado dependerá de la intensidad que se desee y del tipo de concentrado que se use. La resina óptima será aquella que alcance el color deseado al menor costo posible.

7.

Características de transmisión de luz:

Uno de los factores más importantes que debe ser considerado en los envases que son utilizados para el manejo de alimentos, cosméticos o productos farmacéuticos es la transmisión de la luz a través de la paredes del recipiente, debido a que se pueden ver afectadas por la radiación de los rayos ultravioleta, cuyo intervalo de longitudes de onda se encuentran entre 300 nm y 450 nm, los valores críticos que deben ser evitados.

En este sentido, a continuación se presenta una comparación de curvas de transmisión de luz del PET con respecto al vidrio, donde se da evidencia de cómo la resina ofrece mejor protección, no obstante debe tener espesores menores a los de vidrio, lo que hace al PET un material aplicable a una gran variedad de productos.

## **EXTRUSION Y TERMOFORMADO DE LAMINA PET**

---

### **INTRODUCCION**

Una de las aplicaciones importantes de la resina PET grado botella, es la elaboración de envases para los usos más variados por medio del termoformado de lámina.

El proceso de transformación se divide en dos partes importantes: la extrusión de la lamina y termoformado de la misma. Durante la fase de extrusión se funde el granulado en el husillo continuo. La masa se hace pasar a través de un dado plano ayudado por una bomba a la cabeza del cilindro para controlar el flujo. Saliendo el material del dado, pasa sobre tres rodillos enfriadores con los que se obtiene una lámina amorfa y transparente.

En la estación de termoformado, primero se recalienta la lámina hasta la temperatura apropiada para su procesamiento. Posteriormente se hace pasar a través de unos moldes de dos piezas donde por medio de presión mecánica y neumática se formará el envase requerido.

La termoformadora puede estar integrada a la extrusora o puede estar separada. Una línea prototipo de termoformado integrada se muestra en la Fig. 8.

Al igual que en la fabricación de envases por inyección (estirado) soplado, esta tecnología incorpora muchos aspectos sobre biorientación, razón por la que su conocimiento es importante en el diseño de envases.



**DESCRIPCION DEL POLIMERO****SECADO DEL POLIMERO**

Para obtener un buen producto se requiere tener secado efectivo del material, para lo cual es necesario contar con un sistema de secado continuo montado sobre la máquina, que puede calentar el material a 175°C durante 6 horas y que el aire de secado tenga un punto de rocío de – 40°C. Todo esto con el objeto de disminuir en lo posible el efecto de la hidrólisis causada por el agua en el polímero, es decir, para evitar la caída de viscosidad.

La caída de viscosidad en un proceso bien controlado no debe ser mayor de 0.02 dl/gr, situación en la que se puede usar un nivel de recuperable hasta de un 50%, el cual también deberá ser secado con el material virgen previamente mezclado. Se recomienda utilizar siempre una cantidad constante de recuperable, tratando en lo posible detener la operación de la planta en balance, es decir, procesar la misma cantidad de recuperable que el proceso genera.

Cuando se incrementa la cantidad de recuperable, la densidad aparente de la mezcla baja y esto ocasiona que se formen puentes o cavernas en la tolva que no permite un flujo continuo de material hacia la entrada del extrusor, provocando variaciones en el espesor de la lámina.

Se debe vigilar que no haya entrada de aire húmedo dentro de la tolva de secado. Con el objeto de que se consuma menor energía, se recomienda aislar muy bien la tolva con material aislante térmico para guardar el calor el mayor tiempo posible.

Se debe de asegurar que el paso del material en la tolva sea continuo y que el tiempo de residencia sea el mismo para todo el material, ya que en ocasiones la formación de cavernas hace que haya flujos indeseables del material.

Cuando el nivel del recuperable es superior al señalado, existe la posibilidad de que haya aire atrapado durante la extrusión y esto produzca burbujas o variaciones importantes en el torque del husillo que originen variaciones de espesor.

Se debe minimizar el uso de recuperable cuando el envase a producir va a contener alimentos sensibles al acetaldehído, es decir, que pudieran alterar sus propiedades organolépticas.

## EXTRUSION

El polímero es plastificado utilizando un extrusor equipado con husillo continuo cuyas características óptimas son:

Relación L/D: de 24:1 a 32:1

Relación de compresión: de 3:1 a 3.5:1

Las temperaturas de trabajo pueden ir de 270°C a 285°C, tratando de seleccionar la temperatura mínima que permita el proceso con el objeto de evitar la generación excesiva de acetaldehído así como la pérdida de peso molecular o caída de viscosidad.

En algunos husillos de alta productividad se recomienda contar con enfriamiento en el cilindro para tener un mejor control de temperatura.

## FILTRADO DE MATERIAL FUNDIDO

Cuando se procesan grandes cantidades de recuperado, es conveniente trabajar con un paquete de mallas apropiadas para detener la mayoría de las impurezas.

Se deben instalar 2 manómetros antes y después del cambiador de mallas, para saber en qué momento es necesario cambiarlas.

El cambiador de mallas se instala justamente en la cabeza del husillo donde además de filtrar generará una ligera contrapresión que servirá para homogeneizar el material.

## BOMBEO AL CABEZAL

Cuando el husillo tiene el diseño apropiado para el proceso, no es necesario trabajar con una bomba en el cabezal. Sin embargo, si se trabajan grandes cantidades de recuperable o si se tienen diferencias importantes en la forma o tamaño del granulado, el uso de la bomba servirá para controlar mejor el flujo y por lo tanto, el espesor de la lámina.

## MEZCLADORES ESTATICOS

Algunas veces se utilizan este tipo de mezcladores con el objeto de reducir las variaciones de viscosidad que son resultado de una pobre mezcla de material virgen con el reciclado; sin embargo, este mezclador aumenta el tiempo de residencia en el cilindro, lo que incrementa el nivel de acetaldehído.

## DADOS

Se pueden utilizar dados planos de labio flexible o de labio fijo con buenos resultado en ambos casos. Los de tipo flexible sin embargo, ofrecen un mayor rango de espesores de lámina, mientras que los de labio fijo están limitados en este sentido pero ofrecen un mejor control de espesores de temperatura.

Los labios de los dados deben estar alineados con los rodillos superiores, de tal manera que quede la lámina horizontal. El labio debe tener una separación máxima de 7 cm entre él y el punto de contacto con los rodillos.

#### EXTRUSION DE LAMINA

La resina se debe procesar en un sistema de tres rodillos enfriadores para obtener láminas con excelentes propiedades mecánicas y ópticas. Los rodillos superiores actúan como calandria para planchar rápidamente la masa que viene saliendo del dado y obtener una lámina amorfa brillante.

Se recomienda que el diámetro de los rodillos sea superior a las 14 pulgadas, enfriados por agua y con un cromado que garantice una superficie libre de imperfecciones.

La temperatura de los rodillos puede variar de 10°C a 65°C, dependiendo de la productividad del equipo y del espesor de lámina. A temperaturas arriba de 65°C, la lámina se empieza a pegar en los rodillos provocando marcas en la lámina producida, por lo que se debe tener un buen equipo de control para evitar estos problemas.

El espesor de la lámina está influenciado por tres factores:

1. Velocidad del husillo
2. Apertura de los labios del dado
3. Velocidad de los rodillos enfriadores (se debe poder variar fácilmente para obtener el espesor requerido)

Una vez que la lámina sale del tercer rodillo, pasa sobre una cama de pequeños rodillos donde el aire del medio ambiente ayuda en el proceso de enfriamiento del producto para pasar después entre dos rodillos de hule que van a jalar la lámina.

Finalmente, se enrolla el producto en lo que se conoce como unidad de enrollado. Aquí es donde se obtienen los rollos maestros.

Existen algunos sistemas en los que se tiene integrado el extrusor a la unidad de termoformado y troquelado. En este caso no se hace rollo maestro, sino que después de los rollos de hule se pasa la lámina por un horno de resistencias eléctricas donde se lleva a una temperatura entre 95°C y 110°C, para pasarla posteriormente a la termoformadora.

#### DESCRIPCION DEL PROCESO DE TERMOFORMADO

La resina PET puede ser termoformada fácilmente en equipo convencional. Las condiciones de operación son variables dependiendo del perfil del producto a fabricar.

Cuando se quiere fabricar un envase para contener un producto con baja presión interna, la relación de estiramiento (área/profundidad) puede ser media, ya que la orientación requerida es baja; sin embargo, si el envase es para bebidas carbonatadas, entonces la relación de estiramiento es mayor, ya que así se mejora la biorientación y con ello las propiedades mecánicas y de barrera.

Cuando la relación de estiramiento es media, (5:1) en el sentido longitudinal del envase, se puede considerar un vacío de 10 mbar y una presión de 10 bar suficientes para formar el envase. Para envases más profundos, es necesario incorporar al sistema un mandril de estirado que ayudará a la formación del envase. El tipo de mandril va a depender del espesor de la lámina y del tipo del envase.

Cuando se tiene una relación de 3:1 y la lámina es hasta de 1.5 mm de espesor, se puede utilizar un mandril de nylon o de acero recubierto con PTFE. Para envases más profundos se deberá considerar un mandril de acero calentado con aceite a una temperatura entre 80°C y 110°C, dependiendo de la V.I. y de las propiedades requeridas. Entre más alta sea la V.I., serán mayores los requerimientos de temperatura. También se pueden utilizar moldes de termoformado del tipo hembra – macho.

Para obtener resultados óptimos, se pueden tener calentadores en la parte superior e inferior de la lámina; sin embargo, en la mayoría de los casos es suficiente con los calentadores superiores. Los calentadores deben ser ajustables para proporcionar cualquier temperatura que la lámina requiera, pero deben ser constantes en su comportamiento.

## RECOMENDACIONES PARA EL TERMOFORMADO Y CORTE

### TERMOFORMADO

Mantener constante la temperatura de la lámina

Utilizar calentadores en la parte superior e inferior de la lámina.

Controlar el ondulamiento de la lámina recalentada con el ajuste del tiempo de cerrado de los moldes.

Las hembras del molde deben estar en la parte móvil de este y colocadas por debajo de la lámina.

Sacar lentamente los envases del molde para evitar la distorsión de los mismos.

Es recomendable que la hembra del molde se pueda separar fácilmente del envase producido.

Los moldes con acabado mate son más fáciles de separar del producto.

Se debe evitar tener filos marcados en las aristas del molde.

### CORTE

La temperatura de la lámina debe ser lo más baja posible para evitar que se distorsione y no se doble durante el suajado o troquelado.

Las navajas deben ser de acero de alta resistencia perfectamente afiladas y ajustadas con el mínimo claro posible. Se deben revisar periódicamente para prevenir el desgaste rápido.

Es preferible utilizar troqueles pesados para el proceso de corte de lámina PET y así facilitar la operación