



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Optimización del Proceso de  
Producción de Materia Prima  
para Rotomoldeo**

**TESIS**

Que para obtener el título de  
**Ingeniero Mecánico**

**P R E S E N T A**

Rodrigo González de la Cruz

**DIRECTOR(A) DE TESIS**

Dr. José Luis Fernández Zayas



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., Ingresada 2022



Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

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

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

## INTRODUCCIÓN

El objetivo de este documento es mejorar los tiempos de producción y calidad en la fabricación del polvo plástico, con base a las normas (NMX- E- 123-CNCP), se describe y analiza el procedimiento utilizado en su fabricación, así como el disminuir el consumo de los recursos humanos y monetarios de la empresa al fabricar dicho producto.

Las empresas productoras de polvo para rotomoldeo generan gastos innecesarios los cuales encarecen el costo del producto, es un problema ya que el precio de la materia prima compite en el mercado por el mejor costo, tiempo de producción y sobre todo calidad. Generalmente se busca ganar mercado en este ramo por medio del precio, pero sin perder la calidad del producto final. En la actualidad las empresas generan propuestas que mejoran su proceso de inicio a fin, con ello se busca identificar gastos imperceptibles en esta industria, los cuales a largo plazo se vuelven un problema; se analiza todo el proceso de fabricación de polvo plástico, fallas comunes, materiales utilizados, aditivos y maquinaria, buscando beneficios económicos.

Se buscan tener mayor utilidad en sus productos, por ello se reprocesan materiales de recuperación, reciclaje y vírgenes, estos materiales recuperados son combinados en diferentes proporciones con materiales de primera, con colorantes y aditivos, para que mejoren sus condiciones físicas y mecánicas, con este procedimiento suele mejorar el polvo de rotomoldeo y garantizar un producto de calidad. Para tener seguridad del producto final o de la materia prima cuenta con calidad, las empresas se rigen de la Asociación Nacional de Industrias del Plástico la cual marca los parámetros de los materiales, esta asociación emite normas de calidad de cualquier tipo de plástico que se encuentra en el mercado, por ejemplo, la norma (NMX-E-123-CNCP-2016) sienta las bases de la calidad del polvo plástico.

Se recopila información del proceso desde la selección de materia prima, maquinaria utilizada, parámetros de trabajo y fichas técnicas de los materiales, esta información genera tablas y graficas necesarias para el análisis, mostrando el comportamiento del proceso de fabricación de polvo de rotomoldeo.

Posteriormente se analiza el tratamiento de material en cada etapa, así como la manipulación del proceso por parte del personal. Si bien es conocido que cada actividad ocupa cierto tiempo, se recopilan datos con el mejor tiempo en cada proceso con personal capacitado en cada área y turno, con lo cual se pretende corregir vicios que se generan dentro del sistema de producción.

Se generan parámetros de trabajo en las maquinas peletizadoras y pulverizadoras, tiempos de producción en cada proceso y consumos de energía, toda esta información se genera a base del material que se usa; además de los materiales que requieren aditivos por ejemplo (ISGASTAB RM68 FF) es un material usualmente ocupado para las mejoras químicas y físicas, esta recopilación de información ayudara al entendimiento de la fabricación de polvo de rotomoldeo.

En los dos primeros capítulos de este documento se reúne la información del proceso de rotomoldeo, ventajas y desventajas. Los materiales usados para esta actividad. Sus cualidades mecánicas, físicas y químicas de cada material usado en la fabricación de polvo y sus alcances al ser procesados.

Para todo proceso de algún material se requiere mano de obra y maquinaria especializada en el tercer apartado se describen las máquinas, usadas para la fabricación de polvo de rotomoldeo así como de las especificaciones técnicas de cada una.

Cómo en todo proceso existen reglas que se deben cumplir y que ciertas organizaciones emiten para tener un estándar de cada producto. En el cuarto apartado se nombran los métodos de laboratorio que tiene el proceso de fabricación de polvo, desde la revisión física y química. Así como la forma del grano en cuestión.

En el quinto apartado se describe a detalle el manejo de los materiales, aditivos, así como de las máquinas que el personal manipula. Sus tiempos en cada proceso desde el desembarque del material virgen pasando por las máquinas que cuentan con parámetros y tiempos de producción hasta llegar a un producto final que en este caso es el polvo en sus diferentes presentaciones.

## Indicé

<b>1</b>	<b>Marco teórico.</b>	<b>3</b>
1.1	Rotomoldeo.	3
1.1.1	Ventajas del rotomoldeo.	4
1.1.2	Desventajas del rotomoldeo.	5
1.2	Descripción de la tecnología.	5
<b>2</b>	<b>Materias primas para rotomoldeo.</b>	<b>7</b>
2.1	Resina de polietileno.	7
2.2	Características físicas y químicas del polietileno.	7
2.3	Polietileno de Baja Densidad.	8
2.4	Polietileno de Media Densidad.	10
2.5	Polietileno de Alta Densidad.	11
2.5.1	Estructura química de los polietilenos.	12
2.6	Propiedades Mecánicas.	14
2.6.1	Módulo de Young.	15
2.7	Colorante y/o Master Bach.	15
2.7.1	Aditivos, Lubricantes y Estabilizadores.	16
<b>3</b>	<b>Maquinaria utilizada para el proceso de peletizado.</b>	<b>19</b>
3.1	Extrusora.	19
3.2	Cortadora de una máquina extrusora.	23
3.3	Secador de una máquina extrusora.	23
<b>4</b>	<b>Maquinaria utilizada para el proceso de pulverizado.</b>	<b>25</b>
<b>5</b>	<b>Metodología de identificación de materiales.</b>	<b>26</b>
5.1	Metodología para determinación de cenizas.	28
5.2	Granulometría.	28
5.3	Distribución del tamaño de partícula.	29
5.4	Densidad aparente o densidad a granel.	30
<b>6</b>	<b>Parámetros de trabajo en la maquinaria según fichas técnicas y datos reales del proceso de rotomoldeo.</b>	<b>32</b>
<b>7</b>	<b>Evaluación y análisis del proceso de rotomoldeo.</b>	<b>37</b>
7.1	Resinas y pigmentos ocupados para el rotomoldeo.	37
7.2	Condiciones de trabajo para el proceso de peletizado y pulverizado.	38
7.3	Características esenciales para el mejor aprovechamiento de material y maquinaria.	41

7.4	Aditivos utilizados en el proceso.....	42
7.5	Costo/ Beneficio de utilizar aditivos. ....	42
7.6	Problemas comunes en la línea de proceso de material. ....	51
7.7	Solución de problemas en el proceso. ....	53
<b>8</b>	<b>Recomendaciones.....</b>	<b>54</b>
8.1	Calidad del polvo de rotomoldeo.....	56
<b>9</b>	<b>Conclusiones.....</b>	<b>57</b>
<b>10</b>	<b>Bibliografía .....</b>	<b>59</b>
<b>11</b>	<b>Anexo.....</b>	<b>60</b>

## 1 Marco teórico.

Los plásticos son polímeros que se moldean a partir de la presión y el calor, al alcanzar el estado que caracteriza a los materiales que se suelen denominar como plásticos, resulta resistente a la degradación.

Durante muchos años el plástico ha desplazado a materiales como la madera y el metal, la evolución de este material se ha canalizado a la fabricación de productos de alta complejidad; en este caso se hablará de la materia prima para el rotomoldeo.

El polvo para rotomoldeo lleva consigo etapas de fabricación, las cuales transforman y complementan sus propiedades químicas y físicas.

Es importante saber qué factores en la industria son los que influyen, en el proceso del plástico. Y que agentes ayudan a este proceso, por ejemplo, temperatura ambiente, humedad, tipo de maquinaria y/o accesorios etc. Por ello se explica paso a paso el proceso de fabricación desde que es materia virgen hasta un producto terminado.

### 1.1 Rotomoldeo.

El moldeo rotacional o rotomoldeo (figura 1) es una técnica de procesamiento de polímeros que permite obtener piezas huecas con relativamente poco material y de buena estabilidad, el plástico en polvo o líquido se vierte dentro de un molde luego se le hace girar en dos ejes biaxiales mientras se calienta. El plástico se va fundiendo mientras se distribuye y adhiere a toda la superficie interna. Finalmente, el molde se enfría para permitir la extracción de la pieza terminada [1].



**Figura 1 Rotomoldeo. [1]**

En los últimos años, el rotomoldeo ha llamado fuertemente la atención de la comunidad industrial debido a las cualidades que presenta. Este proceso se va sofisticando día a día de manera que actualmente es considerado entre los procedimientos de transformación con mayor madurez tecnológica debido a las innovaciones en equipo, materiales y técnicas de control que han sido incorporados.

Este proceso ofrece gran libertad de diseño, dado que es posible fabricar artículos complejos con herramientas relativamente sencillos y de bajo costo que en ciertos casos sería imposible moldear con otro procedimiento.

En la fabricación de ciertas piezas huecas, con geometría de curvas complejas, pared uniforme y contrasalidas, varios ejemplos de estos artículos se encuentran en nuestro alrededor, como las barreras viales, la casa de perros, los botes de agua, cisternas de agua, juguetes, tinas de agua, lavaderos, etc., como se muestran en las siguientes figuras (2).



**Figura 2 Piezas hechas por rotomoldeo. [1]**

El rotomoldeo es una alternativa con menor costo frente al moldeo por soplado, sin mencionar que debido a las bajas presiones empleadas en el moldeo rotacional se producen piezas con tensiones internas mínimas, presentando un buen comportamiento mecánico debido a su mayor solidez en comparación con las piezas producidas a través del soplado o la inyección [1].

#### **1.1.1 Ventajas del rotomoldeo.**

El proceso de rotomoldeo tiene muchas cualidades tanto económicas como técnicas, por lo que se enlistan algunas ventajas en este proceso:

- Bajo costo de los moldes.
- Increíblemente versátil para obtener piezas huecas.
- Gran variedad de colores y acabados.
- Los materiales utilizados son resistentes a la intemperie y otras propiedades pueden ser especificadas con el uso de aditivos.
- Gran resistencia a la corrosión y a la fractura por fatiga.
- Materiales reciclables.
- Posibilidad de realizar insertos metálicos (combinación de metal con piezas huecas de rotomoldeo. Este tipo de piezas se rotomoldean, se insertan piezas metálicas en el momento de cocción de las piezas.

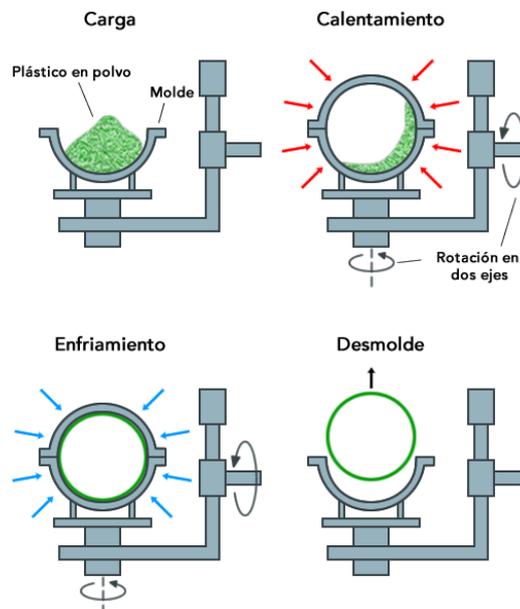
### 1.1.2 Desventajas del rotomoldeo.

Como en todo proceso hay pros y contras, muestra de ello se enlistan algunas desventajas del rotomoldeo:

- El costo de los materiales es relativamente alto puesto que la mayoría de los plásticos se sirven en granza y deben ser sometidos a un proceso de molienda criogénica que encarece el proceso.
- Los ciclos son largos ya que cada vez los moldes se calientan desde temperatura ambiente hasta temperaturas elevadas y luego se enfrían, empleando por lo general hornos de convección forzada o corrientes de aire, lo que resulta en un deficiente aprovechamiento del calor.
- Las etapas de carga y descarga de los moldes pueden ser muy complicadas y requieren mucha mano de obra.
- Los materiales que se emplean hoy todavía son limitados en comparación con otros procesos.

### 1.2 Descripción de la tecnología.

El plástico, ya sea en forma líquida o en polvo, se deposita en el molde, tras cerrarlo, el molde se rota biaxialmente en el interior de un horno, donde el plástico se funde y cubre las paredes internas del molde. El molde se retira del horno y se traslada a una zona de enfriamiento, y finalmente se abre el molde y se retira la pieza hueca. (figura 1.2).



**Figura 1.2 Proceso de Rotomoldeo.**

Esta técnica permite procesar distintos moldes con diferentes formas y tamaños al mismo tiempo, los productos rotomoldeados apenas se encuentran sometidos a cargas mecánicas, ya que no se usan presiones ni soldaduras. Mediante esta técnica se pueden conseguir formas y contornos complejos, piezas espumadas, dobles capas, etc. La uniformidad en cuanto a piezas con paredes gruesas es muy buena comparada con piezas procesadas por soplado o termoconformado. A pesar de que la maquinaria y moldes para esta tecnología son simples, es necesario el conocimiento del comportamiento de los materiales para la obtención de productos de calidad. Hay que tener en cuenta aspectos como la porosidad, la distribución de tamaño del polvo, la distribución del pigmento, el tiempo de cada ciclo, las dilataciones o compresiones, las velocidades de enfriamiento y calentamiento, el material del molde y la velocidad de rotación. Todas estas variables deben ser cuidadosamente ajustadas para evitar problemas. Como se menciona, la materia prima utilizada puede estar en estado sólido (gránulos finos o polvo). (figura 1.3). [1]

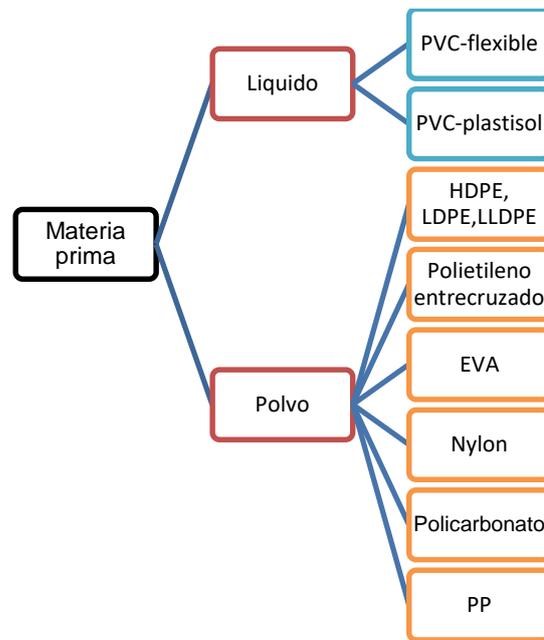


Figura 1.3 Material de rotomoldeo.[1]

## **2 Materias primas para rotomoldeo.**

En este apartado se enlistan los materiales que se ocupan para la generación de polvo de rotomoldeo, así como las propiedades de cada uno de ellos, resina de polietileno, colorante y/o masterbatch, aditivos, lubricantes y estabilizadores.

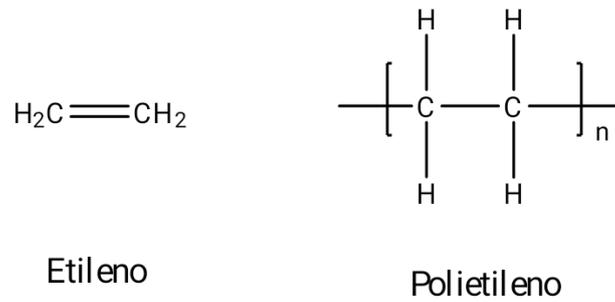
### **2.1 Resina de polietileno.**

La resina define un importante grupo de materia plástica obtenida por polimerización de una mezcla de copolímeros acrilonitrilo-estireno con elastómeros de tipo butadieno. Este trabajo se enfoca en el polietileno, porque fue el polímero que se procesa en la planta muestra.

### **2.2 Características físicas y químicas del polietileno.**

El polietileno es una resina termoplástica, semicristalina perteneciente a la familia de las poliolefinas, que provienen de hidrocarburos simples. En su estructura contienen átomos de carbono e hidrógeno con dobles enlaces en los carbonos, poseen excelentes propiedades eléctricas y muy buena resistencia química. Son materiales transparentes a traslucidos, es frecuentemente fabricado en finas laminas, de peso ligero, resistentes, flexibles y tienen una apariencia de cera pueden ser fácilmente distinguidos de otros plásticos debido a que flotan en el agua. Para ello se presentan dentro de los polímeros más usados como polietileno de baja densidad, media densidad y alta densidad se realiza una descripción breve de cada uno de estos materiales.

El polietileno (PE) es químicamente el polímero más simple. Se representa con su unidad repetitiva  $(CH_2-CH_2)_n$ . Por su alta producción mundial, es también el más barato, siendo uno de los plásticos más comunes. Es químicamente inerte y se obtiene de la polimerización del etileno (fórmula química  $CH_2=CH_2$  y llamado eteno por la IUPAC). Como se muestra en (figura 2.1).



**Figura 2.1 Estructura química del monómero etileno y del polietileno. [5]**

Este polímero puede ser producido por diferentes reacciones de polimerización, como la polimerización de radicales libres, aniónica, por coordinación de iones y catiónica. Cada uno de estos mecanismos de reacción produce un tipo diferente de polietileno.

Existen básicamente tres tipos de polietileno, el polietileno de baja densidad, el polietileno de media densidad y el polietileno de alta densidad, para ello se define cada uno de ellos.

### 2.3 Polietileno de Baja Densidad.

El polietileno de baja densidad (LDPE) es un termoplástico derivado del petróleo de fórmula química  $(\text{C}_2\text{H}_4)_n$ , es producido por un proceso de alta presión través de la polimerización de radicales libres, se trata de un polímero con ramificaciones muy cortas como se ve en la figura (2.2). Algunos productos del polietileno de baja densidad como se muestra en la figura (2.3).

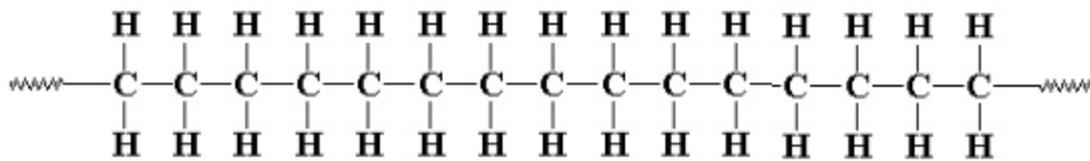


**Figura 2.2 Ramificación del polietileno de baja densidad. [5]**



## 2.4 Polietileno de Media Densidad.

El polietileno de media densidad (MDPE) está definido por cadenas medias y débilmente ramificadas, son copolímeros en los que a la cadena del etileno se ha insertado propileno, buteno, hexeno y octeno con ello se garantiza tener una densidad de 0,926-0,940 g/cm<sup>3</sup> y una cristalinidad de 50 a 70%. Este polietileno es producido por los catalizadores de cromo/sílica, catalizadores de Ziegler-Natta o catalizadores de metalloceno, en la figura (2.6) se muestra la cadena del polietileno de media densidad. Además de poseer una temperatura de fusión de 105 a 110 °C es menos sensible a la muesca que el LDPE y la resistencia al agrietamiento por tensión es mejor que el HDPE. El MDPE se suele utilizar en tuberías y accesorios de gas, sacos, film retráctil, película de embalaje, bolsas de plástico y los cierres de los tornillos.



**Figura 2.6 Cadena del polietileno de media densidad. [5]**

El polietileno de media densidad (MDPE) tiene buenas propiedades de resistencia al impacto, rotura y tensión. Para este polietileno la ramificación es como se muestra en la figura (2.7). En el caso de este producto se ocupa para la fabricación de contenedores de agua. Como se muestra en la figura (2.8).



**Figura 2.7 Ramificación del polietileno de media densidad. [5]**



**Figura 2.8 productos de polietileno de media densidad. [1]**

## **2.5 Polietileno de Alta Densidad.**

El polietileno de alta densidad (HDPE), posee una cadena lineal no ramificada como se ve en la figura (2.9), siendo la más dura, resistente y un poco más pesado que el de baja densidad y media densidad, pero es menos dúctil. El polietileno de alta densidad es un polímero de la familia de los polímeros olefinicos (como el polipropileno). Su fórmula es  $(-CH_2 - CH_2-)_n$ . Es un polímero termoplástico conformado por unidades repetitivas de etileno. Se designa como HDPE (por sus siglas en inglés, (High Density Polyethylene) o PEAD (polietileno de alta densidad). Este material se utiliza, entre otras cosas, para la elaboración de envases plásticos desechables, como mangueras, envases de productos de limpieza, como se muestra en la siguiente figura (2.10).



**Figura 2.9 Ramificación del polietileno de alta densidad. [5]**



**Figura 2.10 productos de alta densidad. [3]**

Se obtiene también a partir de gas etileno y de la polimerización a baja presión, se puede copolimerizar con propileno, para este polímero su número de identificación es como se muestra en figura (2.11).



**Figura 2.11 Símbolo de identificación del polietileno de alta densidad.[3]**

### **2.5.1 Estructura química de los polietilenos.**

Las cadenas de polietileno se arreglan abajo de la temperatura de reblandecimiento  $T_g$  en regiones amorfas y semicristalinas. Con base a la numerología de los polietilenos, la siguiente tabla muestra las características como densidad y cristalinidad.

Observando las tablas (2.1) y (2.2) se deduce que, al aumentar la ramificación de la cadena, disminuye la densidad del polietileno y su grado de cristalinidad. Varias propiedades son directamente afectadas por la cristalinidad y, en consecuencia, por el grado de ramificación. Son ejemplo la dureza, el punto de reblandecimiento y el punto de cedencia por la tracción. Estas propiedades químicas nos indican la dureza y la energía necesaria para el reblandecimiento al aplicarle energía calorífica.

**Tabla 2.1 Ramificación de la cadena y cristalina. [5]**

Ramificación CH <sub>3</sub> por 100 CH <sub>2</sub>	Densidad	Cristalinidad
Polietileno	0.99	95
1	0.96	80
2	0.94	72
3	0.92	60
4	0.91	55

**Tabla 2.2 Rango de densidad listados por la ASTM para los diferentes tipos de polietileno. [7]**

Baja Densidad	Tipo I	0.910-0.925 g/cc
Media Densidad	Tipo II	0.926-0.940 g/cc
Alta Densidad (Copolimero)	Tipo III	0.941-0.960 g/cc
Alta Densidad (homopolimero)	Tipo IV	0.961 g/cc

La densidad es controlada por la cantidad de comonomero usada. La resina de alta densidad tiene un bajo porcentaje de comonomero o no tienen. Las resinas de baja densidad (lineales) tienen altos porcentajes de comonomeros.

El peso molecular es típicamente capturado por un número conocido como índice de fusión o velocidad de flujo fundido. Cuanto mayor sea el índice del material menor es el peso molecular medio del polímero.

El índice de fluidez (MFI por su nombre en inglés Melt Flow Index): es una medida utilizada en la fabricación de polímeros, pero es poco entendida en la industria de procesamiento de plásticos; los efectos del procesamiento de diferentes tipos de polietileno y su relación con el comportamiento del MFI a 190 °C.

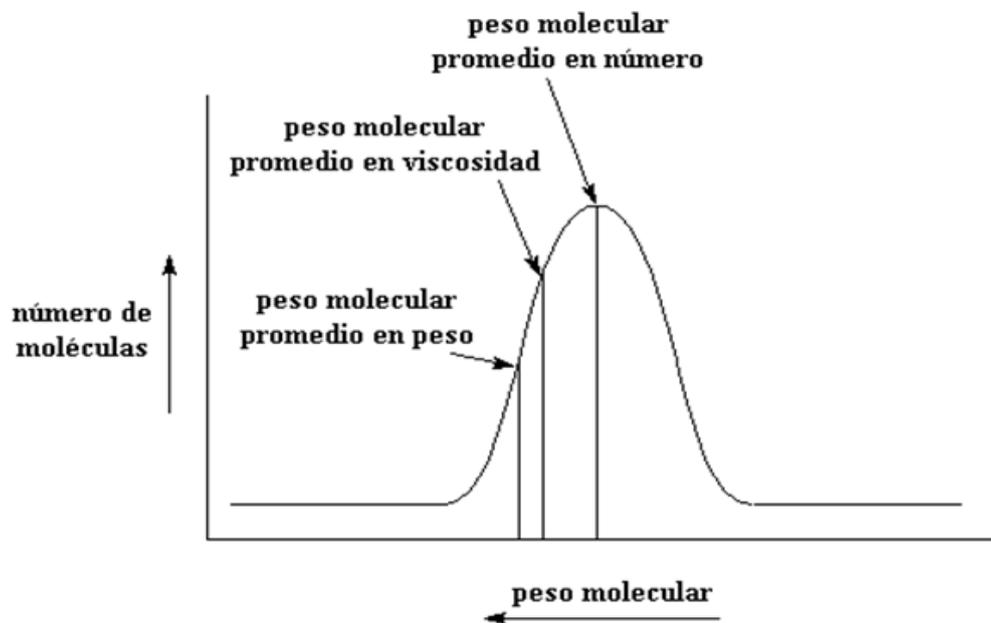
Los valores de MFI obtenidos permiten identificar los polietilenos, sus características reológicas, efectos de reprocesado, entre las principales utilidades para optimizar el procesamiento de los plásticos.

El MFI ha sido aceptado como una muestra de la habilidad de una resina para fluir, como regla general, altos valores de MIF, producirán una mejor fluidez en un polímero. Sin embargo, es importante conocer la uniformidad de un flujo o la velocidad de flujo, y otras propiedades reológicas puede ser determinadas mediante un plastómetro. Esta herramienta

permite determinar y cuantificar las relaciones entre la velocidad de flujo, viscosidad y el MFI en diferentes termoplásticos. Algunos autores han relacionado el MFI con propiedades intrínsecas de los polímeros como peso molecular o densidad y propiedades mecánicas, térmicas o estéticas de los polímeros o sus mezclas.

Una resina de bajo MFI tiene un peso molecular alto y es difícil de procesar; Una resina con alto MFI (por su nombre en inglés índice de fluidez) tiene un peso molecular bajo y es fácil de procesar.

La distribución de peso molecular en un polímero se muestra en la gráfica (2.1), donde el peso molecular se encuentra en las abscisas y el número de moléculas en el eje de las ordenadas. Para comprenderlo mejor, se muestra sobre la curva de distribución, dónde aparecen generalmente los promedios de peso molecular en número, en viscosidad y en peso [4].



**Grafica 2.1** Peso molecular. [5]

## 2.6 Propiedades Mecánicas.

Existen varios tipos de resistencia. La resistencia a tracción es importante para un material que va a ser extendido o va a estar bajo tensión.

La elongación es un tipo de deformación. La deformación es simplemente el cambio en la forma que experimenta cualquier cosa bajo tensión. La muestra se deforma por estiramiento, volviéndose más larga.

Por lo general, se habla de porcentaje de elongación, que es la longitud de la muestra después del estiramiento (L), dividido por la longitud original (L0), y multiplicado por 100 [5].

La elongación final es importante para todo tipo de material. Representa cuánto puede ser estirada una muestra antes de que se rompa. La elongación elástica es el porcentaje al que se puede llegar, sin una deformación permanente de la muestra. Es decir, cuánto puede estirarse, logrando que ésta vuelva a su longitud original luego de suspender la sollicitación. Esto es importante si el material es un elastómero. Los elastómeros tienen que ser capaces de estirarse bastante. La mayoría de ellos pueden estirarse entre el 500% y el 1000% y volver a su longitud original es inconveniente [5].

### 2.6.1 Módulo de Young.

Para algunos tipos de materiales, como los plásticos, por lo general es mejor que no se estiren o deformen tan fácilmente. Si se quiere determinar cuánto un material resiste la deformación. Se mide la carga y la deformación asociada que se ejerce sobre el material, como se muestra en la tabla (2.3). [5].

**Tabla 2.3 Valores de las propiedades de los polímeros**

<b>Propiedad</b>	<b>Polietileno de alta densidad</b>	<b>Polietileno de baja densidad</b>
<b>Peso molecular [g/gmol]</b>	200.000-400.000	100.000-300.000
<b>Densidad [gr/cm<sup>3</sup>]</b>	0,94-0,97	0,91-0,94
<b>Resistencia a la tracción [MPa]</b>	21	38
<b>Módulo de Young [MPa]</b>	1000	250
<b>Elongación [%]</b>	130	800
<b>Temperatura de Transición vítrea [°C]</b>	-80	-125
<b>Temperatura de fusión [°C]</b>	130-140	105-115

### 2.7 Colorante y/o Master Bach.

Material hecho de base de resina ocupada para coloración y agregar aditivos de polímeros mediante la dosificación de un concentrado de colorantes, pigmentos y/o aditivos dispersados en la matriz polimérica. Mezclado con el polímero base durante el proceso de transformación, lo colorea y/o le confiere propiedades específicas. Es imprescindible para las cualidades estéticas del producto final y básico en la identificación de los productos y de sus marcas. El color es de suma importancia en la cadena industrial de suministro.

### 2.7.1 Aditivos, Lubricantes y Estabilizadores.

Los polímeros y los elementos fabricados con ellos, además del color, deben mantener unas características determinadas de uso, como resistir la intemperie o el fuego e incluso tener otras propiedades más específicas, como bactericidas, antiestáticas, antitermitas o desprender un olor determinado por lo cual se le agregan aditivos. Un aditivo es un agente químico que modifica las características de los plásticos para adecuarlos a un fin específico. Todos los plásticos comerciales contienen aditivos. Los aditivos pueden hacer un plástico menos inflamable, resistente a la luz ultravioleta, más o menos flexible (los plastificantes sirven para esto), darles color (pigmentos) etc. [2].

Una utilización inteligente de los aditivos (figura 2.11) mejora el rendimiento de los materiales poliméricos y además contribuye a aumentar la productividad. Es en este ámbito en el que los pequeños detalles marcan una gran diferencia. Por ejemplo: los estabilizadores de rayos UV de baja volatilidad reducen el esfuerzo de limpieza en los sistemas productivos, por ende, recortan los costos de los paros de la maquinaria

Los antioxidantes protegen el polímero del oxígeno o el ozono; los estabilizadores lo protegen de las inclemencias del tiempo, en tanto los lubricantes reducen la fricción. Estas sustancias forman parte de los llamados aditivos, que son sustancias ajenas a la formulación química del polímero y que se añaden para mejorar algunas propiedades, como se ha señalado anteriormente. Los aditivos más extendidos destacan:

Los lubricantes mejoran la procesabilidad de los polímeros, realizando varias importantes funciones; reduce la fricción entre la partícula del material, minimizando el calentamiento por fricción y retrasando la función hasta el punto óptimo; reduce la viscosidad del fundido promoviendo el buen flujo del material; evitan que el polímero caliente se pegue a las superficies del equipo de procesamiento.

Los estabilizadores disminuyen la degradación térmica y durante el uso protegen contra el envejecimiento y la radiación UV.



**Figura 2.11 Aditivos [14]**

Se entiende por degradación la pérdida de la estructura molecular a través de reacciones químicas que dan lugar a la ruptura de enlaces primarios en el polímero. Cuando la degradación rompe enlaces de la cadena principal se puede llegar a la formación de especies moleculares más pequeñas, frecuentemente el término degradación se utiliza sólo para las reacciones que conducen a la reducción del grado de polimerización, conservando básicamente la estructura química original. La pérdida de propiedades por efectos ambientales que modifican la estructura química o el grado de polimerización se denomina envejecimiento. La degradación puede ser térmica, mecánica, fotoquímica y química, es decir, producida por agentes químicos siendo las más importantes la oxidación. La degradación causa cambios en las propiedades físicas, pudiendo llegar a un deterioro total del material, como se enlista:

- Degradación química: ocurre por agentes químicos como oxígeno, ozono, ácidos y agua. Las más importantes son la degradación oxidativa y por hidrólisis.
- Degradación oxidativa: se produce por oxidantes siendo los más usuales el oxígeno y ozono de la atmósfera. Puede originar cambios no deseados en sus propiedades mecánicas y eléctricas. La resistencia de un polímero a la oxidación depende en primer lugar de su estructura química. Uno de los grupos químicos más susceptibles a oxidación son las insaturaciones o dobles enlaces, que están presentes en la mayoría de los elastómeros. Las cadenas saturadas son más resistentes a la oxidación; así polietileno, poliestireno, polisobutileno, policarbonato, prácticamente no son oxidados a temperatura ambiente por el oxígeno atmosférico. La introducción de átomos de flúor aumenta la resistencia química, siendo el teflón uno de los polímeros más estables a la oxidación. El aumento de la temperatura y las radiaciones pueden acelerar los procesos de degradación.
- Degradación mecánica: Las reacciones de ruptura de cadena se pueden dar por acciones mecánicas bien durante el procesado o el servicio del material. Un ejemplo típico es la masticación del látex de caucho natural para reducir el peso molecular a 500.000 (uma) para permitir posteriormente la correcta vulcanización. Durante el servicio de polímeros reticulados de alta masa molecular u orientadas se puede dar la ruptura de enlaces primarios bajo condiciones de fatiga dando lugar al fallo.
- Degradación por radiación solar: La radiación ultravioleta es la parte de la radiación solar principal responsable de la iniciación de procesos degradativos de polímeros. La capacidad de absorción del material es determinante, pues sólo será dañado por las radiaciones que absorbe, y si la energía de estas radiaciones es suficiente para romper enlaces se producirán efectos degradativos. Dentro de las radiaciones U. V. se ha comprobado que las de

longitud de onda larga son las responsables de las reacciones de fotooxidación, mientras que las de onda más corta producen la escisión directa de las cadenas poliméricas. En cualquier caso, la estructura del material cambia formando cadenas más pequeñas insaturadas o reticulaciones entre cadenas contiguas. En la industria a veces se aprovecha este fenómeno y se realiza reticulación de polímeros por radiación controlada. Al ser la radiación U.V. de la luz solar uno de los factores que más contribuyen a la degradación de polímeros, para evitar estos efectos se añaden aditivos que absorban luz U.V. Un ejemplo es el negro humo (negros de carbón) que se añade a los elastómeros en forma de dispersión de pequeñas partículas que actúan como foto estabilizador al absorber la radiación [2]. Además de tener otras propiedades físicas como:

- a) No tóxico
- b) Flexible
- c) Liviano
- d) Transparente

El envejecimiento de polietilenos y cauchos por fotooxidación conduce a una pérdida de flexibilidad debido a reacciones de reticulación originadas por el oxígeno e iniciadas por la luz del sol.

La absorción de luz es característica de la estructura electrónica de cada polímero, la energía electromagnética de una determinada frecuencia se puede absorber por excitación a niveles electrónicos superiores. Al producirse a frecuencias fijas es la que da lugar al color. Los polímeros son generalmente incoloros por no absorber la luz visible, aunque si absorben la radiación UV, lo que puede ser el inicio de degradaciones. Cuanto mayor es el espesor de la muestra mayor es la absorción. Los polímeros se pueden colorear con la adición de tintes que absorban las radiaciones adecuadas dejando pasar las correspondientes al color deseado.

Se dice que una muestra es transparente si es posible la percepción de objetos a través suyo y se define como la fracción de luz que es transmitida con una desviación menor de 0 ó 1 con respecto al rayo incidente normal a la superficie. Para que una muestra sea transparente es necesario que posea un índice de refracción constante. La presencia de zonas internas del tamaño de la longitud de onda de la luz incidente, con índice de refracción diferente al resto del material da lugar a la dispersión de luz en todas direcciones, lo que confiere turbidez a la muestra. Las mencionadas zonas internas pueden ser desde imperfecciones como polvo, burbujas, impurezas, pigmentos y partículas reforzantes, hasta las propias esferulitas en el caso de polímeros cristalinos, por ello los polímeros cristalinos suelen ser translúcidos u opacos, a excepción de aquellos con esferulitas de tamaño inferior a la longitud de onda visible como el policarbonato. En los polímeros cristalinos, como el polietileno, sometidos a estiramiento bidireccional, se rompen las esferulitas formándose estructuras laminares homogéneas.

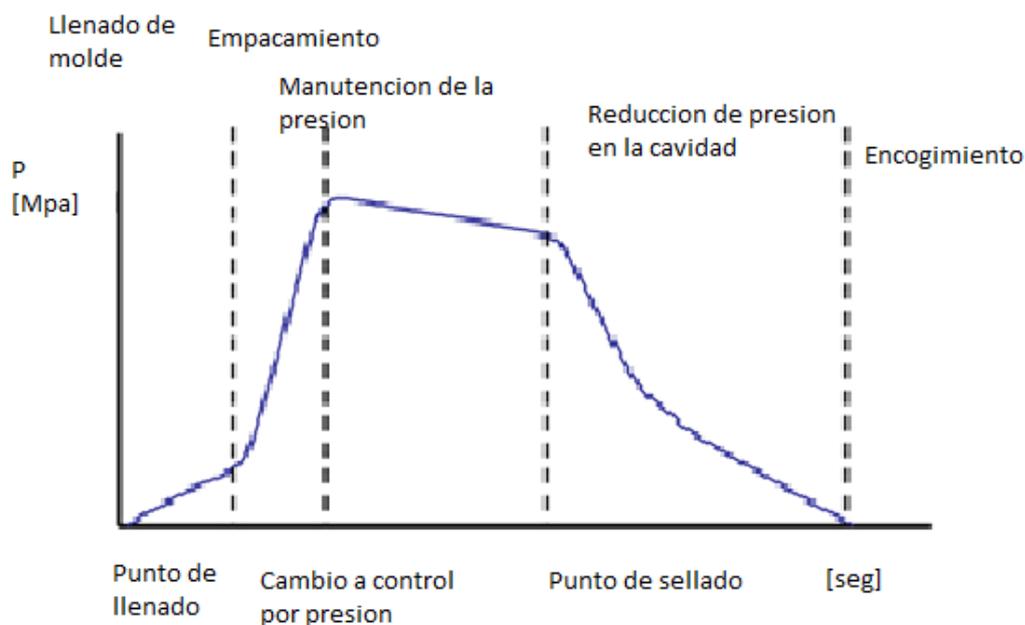
### 3 Maquinaria utilizada para el proceso de peletizado.

Para el proceso de fabricación de polvo de rotomoldeo se requiere maquinaria especializada, de inicio se debe contar con extrusoras, *chillers* para enfriar el agua, dosificadores, bombas de vacío y pulverizadoras. De estos equipos existe una gran variedad de marcas, para que el proceso sea eficiente es necesario tener equipos con características específicas, como se muestra en la gráfica 3.1 y sus diferentes pasos. Como se muestra en la gráfica y sus diferentes pasos.

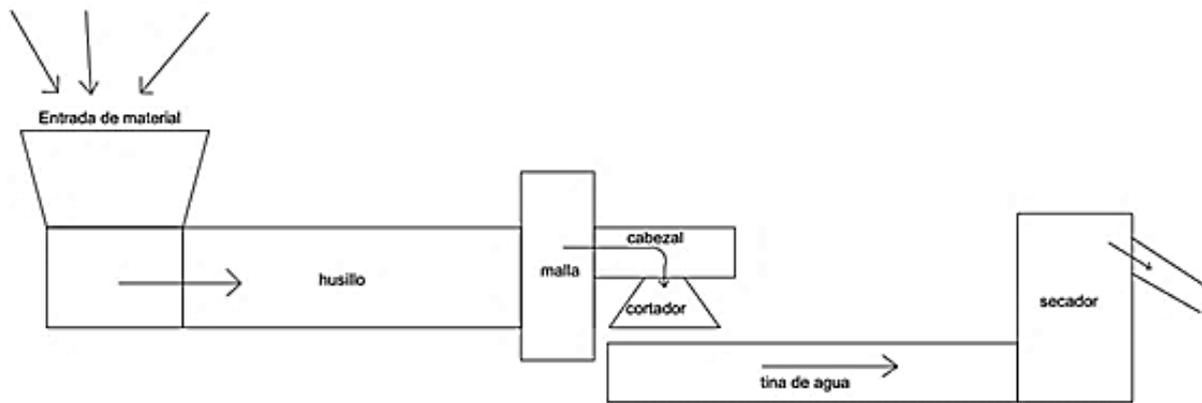
#### 3.1 Extrusora.

La extrusora de plastificación tiene tres funciones:

- Arrastra material granulado al sistema de alimentación y lo conduce al interior de la máquina donde el cañón calentara el material granulado hasta fundirlo y a veces a retirar el gas del material.
- El segundo paso de la extrusora es mezclar y seguir fundiendo el material hasta tener un material homogéneo.
- El tercer paso desarrollar presión suficiente del flujo de modo que el material emerja de manera continua. Como se ve en la figura (3.1).



Gráfica 3.1 Fases de trabajo de la Extrusora. [13]



**Figura 3.1 Fases de Trabajo de la maquina Extrusora. [13]**

El barril o cañón es un cilindro metálico que aloja al husillo y constituye el cuerpo principal de una máquina de extrusión, conforma, junto con el tornillo de extrusión, la cámara de fusión y bombeo de la extrusora. En pocas palabras es la carcasa que envuelve al tornillo. El barril debe tener una compatibilidad con el husillo y resistencia suficiente para el material que esté procesando, es decir, ser de un metal con la dureza necesaria para reducir al mínimo cualquier desgaste. La dureza del cañón se consigue utilizando aceros de diferentes tipos y cuando es necesario se aplican métodos de endurecimiento superficial de las paredes internas del cañón, que son las que están expuestas a los efectos de la abrasión y la corrosión durante la operación del equipo. El cañón cuenta con resistencias eléctricas que proporcionan una parte de la energía térmica que el material requiere para ser fundido. El sistema de resistencias, en algunos casos va complementado con un sistema de enfriamiento que puede ser flujo de líquido o por ventiladores de aire. Todo el sistema de calentamiento es controlado desde un tablero, donde las temperaturas de proceso se establecen en función del tipo de material y del producto deseado.

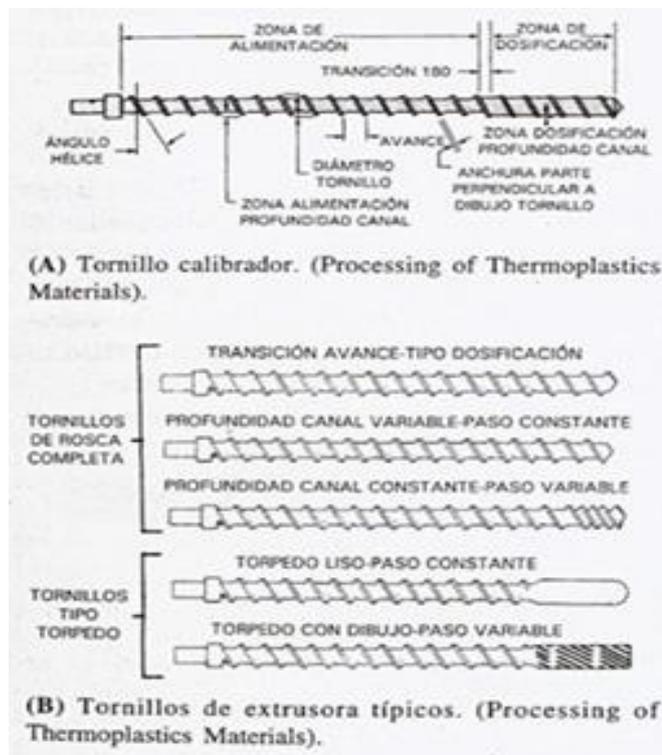
Para la mejor conservación de la temperatura a lo largo del cañón y prevenir cambios en la calidad de la producción por variaciones en la temperatura ambiente, se acostumbra aislar el cuerpo del cañón con algún material de baja conductividad térmica como la fibra de vidrio o el fieltro [6].

La configuración del tornillo figura (3.2) es uno de los puntos más importantes para este análisis del proceso de fabricación de materia prima para polvo de rotomoldeo. La elección definitiva del número y del diseño geométrico de las zonas del tornillo es un proceso complejo. Esta decisión depende no solo del diseño de la boquilla y de las velocidades de flujo esperadas, sino también de las características de fusión del polímero, de su comportamiento reológico y de la velocidad del tornillo [7].



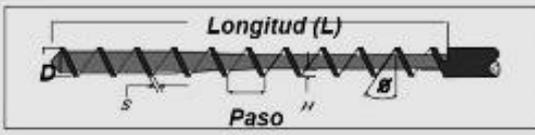
**Figura 3.2 Forma de Husillo [18]**

El husillo ha evolucionado ampliamente desde el auge de la industria plástica hasta el grado de convertirse en la parte que contiene la mayor tecnología dentro de una máquina de extrusión (figura 3.3). Por esto, es la pieza que en alto grado determina el éxito de una operación de extrusión. Con base al diagrama, se describen las dimensiones fundamentales para un husillo, en los diferentes diseños, varían en función de las propiedades de flujo de polímero fundido que se espera de la extrusora. En este caso la maquina deberá tener un husillo tornillos de rosca completa. Como se desglosa en la tabla 3.1.



**Figura 3.3 Configuración de husillos [18]**

**Tabla 3.1 Descripción del Husillo [18]**



<b>S</b>	ancho del filete	Entre 0.08D – 0.12D
<b>P</b>	paso o ancho de canal	Distancia horizontal entre los centros de dos filetes consecutivos.
<b>D</b>	diámetro	Distancia máxima entre los tope de los filetes del tornillo
<b>H</b>	profundidad del canal	Distancia perpendicular desde el tope del filete hasta la superficie del canal
$\theta$	ángulo de hélice	Cuando el paso = D, el ángulo es 17.7°

El cabezal es el responsable de conformar o proporcionar la forma del producto extruido. De forma detallada, los principales componentes de un cabezal para la extrusión son: plato rompedor y filtros; constituyen el punto de transmisión entre la extrusora y el cabezal. A estos componentes les corresponde una parte importante de la calidad del material extruido. El plato rompedor es el primer elemento del cabezal destinado a romper con el patrón de flujo en espiral; mientras que la función de los filtros es la de eliminar del producto extruido partículas y/o grumos provenientes de impurezas, carbonización, pigmentos y/o aditivos, etc.

En lo que respecta a su diseño, el plato rompedor figura (3.4) no es más que una placa cilíndrica horadada. Por otro lado, las mallas deben ser fabricadas con acero inoxidable, ya que las compuestas con cobre o bronce tienen un efecto catalítico sobre las reacciones termo-oxidativas. Algunos cabezales de extrusión suelen presentar en el ducto de acople entre la extrusora y el cabezal, un elemento que contribuye con la función del plato rompedor (modificar el patrón de flujo en espiral a uno longitudinal). Por su geometría, a este dispositivo se le suele denominar torpedo [6].



**Figura 3.4 Plato Rompedor y Paquete de Mallas. [13]**

### 3.2 Cortadora de una máquina extrusora.

Después de salir el fluido del cabezal el cortador figura (3.5) empieza a realizar el trabajo de cortar el material, para dejarla en forma de hojuela la cual es más sencilla de pulverizar, cuando sale el material en forma de hojuela sale a una temperatura de 150°C aproximadamente, lo que se hace es enfriar por medio de agua; la cual es constantemente enfriada por una torre de enfriamiento, la cual tendrá una temperatura de 17 °C.



**Figura 3.5 Cortador de Peletizado. [19]**

### 3.3 Secador de una máquina extrusora.

El último proceso en la máquina de peletizadora es el secado de la hojuela, es enfriado por agua contenido en una tina, a la salida del cortador la hojuela cae al agua y es arrastrado hacia una maquina centrifugadora, que le retirara el excedente de agua. El secador figura (3.6) consta de paletas en su interior las cuales se encuentran soldadas a un eje que hace girarlas paletas rápidamente cuando ingresa el pellet mojado a la secadora por la acción centrifuga de las paletas elimina el agua del pellet figura (3.7).



**Figura 3.6 Secadora de la máquina peletizadora. [19]**



**Figura 3.7 Pellet Natural [16]**

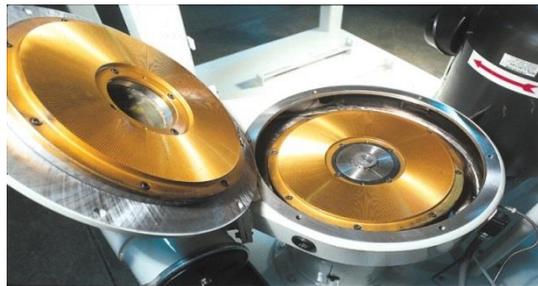
#### 4 Maquinaria utilizada para el proceso de pulverizado.

Cuando se tiene la hojuela plástica se tiene que pasar a un polvo plástico, para ello se usa máquina llamada pulverizadora la cual dejara listo el producto para la producción de productos de rotomoldeo.

El pulverizador de discos (figura 4.1) se utiliza para pulverizar material plástico, elastómeros o resinas termo-endurecedoras y productos químicos. El material se introduce en molinos (figura 4.2) donde rompe la hojuela por medio de discos hasta llegar a un punto en el que el material se transforma en polvo; esto es a través de un espacio entre dos discos por el efecto de la rotación a alta velocidad. Se tienen dos molinos de diferentes capacidades de potencia, ya que cada uno se encuentra separado por diferentes galgas, el primario estará más abierto ya que el cumplirá la función de romper la mayor parte del material, el segundo molera partículas más pequeñas ya que se encontrará más cerrada y producirá polvo fino.



**Figura 4.1 Pulverizadora [17]**



**Figura 4.2 Molino de pulverizadora [17]**

Las mallas figura (4.3) que se encuentran en la cernidora de la misma maquina separa las partículas grandes y pequeñas, las que se necesita pulverizar automáticamente la regresará al molino secundario para pulverizar de nuevo y generar el polvo ideal, como se muestra en la figura (4.4), según la norma ASTM 1921 describe métodos de ensayo para determinar la distribución del tamaño de partículas y por lo tanto son útiles para determinar la uniformidad de lote a lote, evitando que exista granulado.



**Figura 4.3 Mallas.**



**Figura 4.4 Polvo de Rotomoldeo.**

El perfil especial de los dientes reduce progresivamente el material en polvo. La máquina se presta a todas las aplicaciones en las que se requieren granulometrías muy finas. Este tipo de equipos especializados tienen las ventajas de tener:

- Dos molinos (primario y secundario).
- Discos de sectores que se pueden sustituir y volver a afilar fácilmente.
- Fácil reglaje de la holgura entre los discos.
- Refrigeración con agua eficiente tanto del rotor como del disco fijo.
- Perfiles de dientes diferentes para distintos materiales.
- Mallas 30 mesh/inch.

## **5 Metodología de identificación de materiales.**

Para el reconocimiento de las resinas que compran las industrias del plástico, se deben efectuar pruebas de laboratorio, donde la quema de la resina virgen, procesada y colorantes es revisada en un laboratorio. A este proceso de verificación se le conoce como sólidos, donde es conocido como la generación de cenizas de polímeros, estas cenizas son generadas a una temperatura de 600 °C, se toman muestras de los plásticos se pesan y se ponen dentro de una mufla durante un tiempo de 5 min.

La concentración es el grado de carga de colorantes y/o aditivos en las muestras. La concentración está determinada por las materias primas involucradas en la formulación (colorantes/aditivos/resinas) y por el proceso de fabricación del concentrado.

La concentración de colorantes y/o aditivos en el masterbatch depende de factores (espesor, poder de cubrimiento, resina base y color). La capacidad de homogeneización del equipo de transformación ya que cuando el equipo posee deficiencia en la homogeneización, es necesario diluir el concentrado, de forma que pueda aplicarse en una dosificación mayor, facilitando su homogeneización en la resina.

Esta verificación es importante, ya que la concentración de colorantes/aditivos en el masterbatch interfiere directamente en el porcentaje de aplicación y en su costo. La verificación puede hacerse midiendo el peso específico del concentrado, u otros métodos, analíticos, aunque la verificación ideal se hace en la práctica aplicando el concentrado directamente al polímero.

El valor de las cenizas deberá estar lo más cercano a cero, la cantidad en cada material arrojará un valor el cual se comparará con las fichas técnicas.

El peso específico o densidad; es un método de comparación donde las densidades del concentrado estándar y de los lotes que se generan, deben ser las mismas. Si los lotes presentan un peso específico diferente al estándar puede sospecharse que las concentraciones son diferentes. Sin embargo, el peso específico no indica directamente la capacidad de tintóreo del concentrado, dado que no proviene exclusivamente de la capacidad del tinte del concentrado, ya que esta propiedad no proviene exclusivamente de la cantidad, sino también de la calidad de los colorantes involucrados, de su dispersión y granulometría. Con este método se puede identificar si contiene otros aditivos ya que la generación de cenizas aumentará y a la vez el peso específico.

Los ensayos que se utilizan para detectar la concentración de pigmentos que no se descomponen a la temperatura del análisis, o sea, algunos pigmentos inorgánicos. Se aplica principalmente a concentrados blancos, donde el tenor residual se relaciona con el porcentaje de dióxido de titanio (TiO<sub>2</sub>). La existencia de cargas (carbonato de calcio, talco, etc.) y otros pigmentos blancos esconde el real contenido de TiO<sub>2</sub>, lo que puede alterar algunas características del concentrado, tales como el poder tintóreo y cubrimiento, además de perjudicar su desempeño en aplicaciones críticas, como la extrusión de finas películas. Además de esos factores, las cargas en un masterbatch interfieren directamente en su costo.

## 5.1 Metodología para determinación de cenizas.

Se realiza la toma de muestras directamente de las tolvas antes de ser vaciadas a los silos; las muestras que se toman se deberán pesar para su valoración en el proceso de quema para ello se toman 10 gramos que son pesados en una báscula digital (figura 5.1). De material (resina, master Bach o polvos de rotomoldeo) estos productos se valoran por separado.



**Figura 5.1 Bascula Digital. [23]**

El material pesado se introduce dentro de una mufla (figura 5.2) el cual tendrá una temperatura de 600 °C el material permanecerá durante un tiempo de 5 minutos y se quemará hasta llegar al punto que se produzcan cenizas; estas cenizas generadas se pesaran posteriormente para el ingreso en una ecuación.



**Figura 5.2 Mufla. [23]**

$$\% \text{ de cenizas} = \left( \left( \frac{\text{peso de ceniza final} - \text{peso de resina}}{\text{peso de ceniza final}} \right) \times 0.049 \right) * 100$$

Al sustituir los valores que se requieren en la ecuación con los diferentes productos, cada resultado es comparado con las fichas técnicas del proveedor de materia prima o de los valores del producto que se está procesando en el área ya sea almacén, peletizado y pulverizado.

## 5.2 Granulometría.

La granulación se produce mediante la fragmentación o troceado de la hojuela plástica por medio de unos molinos, donde son sometidos a alta presión y posteriormente la granulación es tamizada para conseguir el tamaño de gránulo deseado.

La granulometría se refiere al tamaño de los granos, a la uniformidad y a la regularidad de los mismos. Su uniformidad y regularidad son características deseables, porque influyen directamente en la homogeneización, y son indispensables para una dosificación constante. Básicamente, la granulometría de los concentrados debe ser la más próxima posible (en términos de tamaño) a la granulometría del polímero de aplicación. Los granos muy grandes no son adecuados para una buena homogeneización, mientras que los muy pequeños no son aconsejables, debido a la posibilidad de que sedimenten en el embudo del equipo. Normalmente, los concentrados granulados se presentan en forma cilíndrica, de lentejas o cubos, como resultado de los diversos procesos de granulación. donde se someten a alta presión seguida de una fragmentación o troceado y posterior granulación mediante tamización para conseguir el tamaño de granulado deseado.

### **5.3 Distribución del tamaño de partícula.**

La industria de rotomoldeo ha adoptado el estándar de 500 micras ó "malla" (mesh) 35 micras como el tamaño de partícula estándar, esto significa que las partículas que pasen por una malla de 500 micras deben tener un tamaño inferior. Obviamente, no todas las partículas tienen el mismo tamaño; lo que se obtiene a la salida del pulverizador es un rango de diferentes tamaños de partículas.

La distribución del tamaño de partículas es una medida de qué porcentaje de partículas se encuentra en cada uno de siete diferentes rangos establecidos en forma estándar. Dichos rangos comprenden partículas con los siguientes tamaños:

- Mayor que malla 30 mesh
- Entre malla 30 mesh y malla 35 mesh
- Entre malla 35 mesh y malla 50 mesh
- Entre malla 50 mesh y malla 60 mesh
- Entre malla 60 mesh y malla 80 mesh
- Entre malla 80 mesh y malla 120 mesh
- Menor que malla 120 mesh

El procedimiento para realizar la medición de la distribución está contemplado en la norma ASTM D1921-01 y para ejecutarlo se emplea un dispositivo que utiliza seis tamices figura (5.3) con seis diferentes tamaños de malla, más una bandeja. Consiste en colocar una muestra de 100 gramos de polietileno pulverizado en el primer tamiz (malla 30 mesh), y en someterlo a golpe y vibración; este movimiento es controlado por un temporizador durante 10 minutos. Una vez finalizado el tiempo de proceso, el dispositivo se detiene y se pesa el

material acumulado en cada tamiz. Como se inició la prueba con 100 gramos, los resultados del pesaje entregan porcentajes directos.



**Figura 5.3 Agitador de Tamices. [22]**

Para analizar estos datos es importante recordar que durante el proceso de rotomoldeo el polietileno se va fundiendo y adhiriendo a las paredes internas del molde por estratos, de tal forma que se van formando capas de material fundido, hasta que la totalidad de resina pulverizada se funda e integre completamente a las paredes. Por esta razón es importante controlar de cerca el tamaño de partículas, ya que en las primeras etapas las partículas de material son más pequeñas y estas comienzan a adherirse al molde y a formar las primeras capas, que a su vez servirán de base a las capas subsiguientes producto de la fusión de las partículas de mayor tamaño.

El fabricante de rotomoldeo considera como un 100 % la mayor cantidad de partículas retenidas deben estar en la malla 30 mesh y 35 mesh.

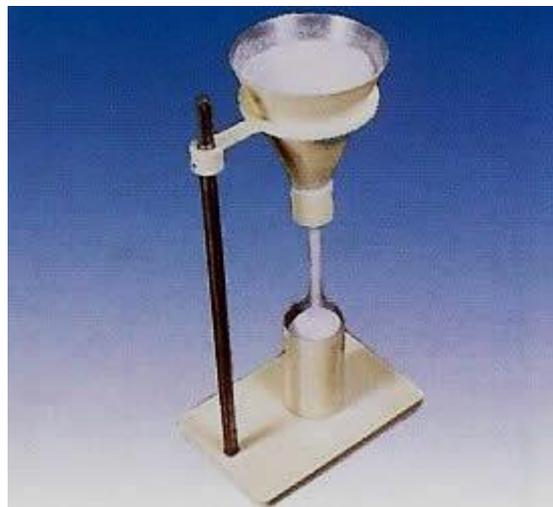
**Tabla 5.1 Resultados de Tamiz en muestras de polvo. [22]**

DATOS DE TAMIZ	
Malla (Mesh/inch)	% partículas retenidas en cada malla
30	58
35	37
50	4
60	1
80	0
120	0
Porcentaje de material	100%

#### 5.4 Densidad aparente o densidad a granel.

La densidad a granel (bulk density), es un parámetro que está estrechamente relacionado con la distribución de tamaño de partícula y el flujo seco, brinda una idea de la forma promedio que tienen las partículas de polvo. Normalmente se expresa en gramos por  $100 \text{ cm}^3$ , aunque también puede expresarse en  $\text{lb}/\text{pie}^3$ . Se mide simultáneamente con el parámetro de flujo seco, ya que el cono de medición tiene un envase con capacidad de  $100 \text{ cm}^3$  que se emplea para este fin.

Los valores de densidad aparente comúnmente aceptados están entre 34 y 36  $[\text{g}/100 \text{ cm}^3]$ . Una densidad aparente baja es indicio de que hay muchas partículas de polvo con formas irregulares, que afectarán el flujo seco y la distribución de tamaño. Una densidad aparente muy alta es indicio de que hay muchos finos en la distribución, como se ve en la figura (5.4).



**Figura 5.4 Cono de Medición de Flujo Seco. [22]**

## **6 Parámetros de trabajo en la maquinaria según fichas técnicas y datos reales del proceso de rotomoldeo.**

En este capítulo se explicarán los métodos para determinar la calidad de las materias primas y cantidades requeridas para su procesamiento en el peletizado, como siempre tomando los datos de los proveedores.

Para la industria del plástico, en especial para los fabricantes de polvo de rotomoldeo, sus procesos se basan en cálculos y en muchas ocasiones en experimentación. Se divide en dos áreas importantes para el proceso de fabricación de polvo de rotomoldeo (Peletizado y Pulverizado), en ambas áreas se aplican pruebas de calidad y se comparan estos datos con los que proporcionan los proveedores al momento de entrega del producto.

En el área de peletizado tiene una orden de producción de 10 toneladas de pellet negro de media densidad, para esta orden el almacén suministra resina natural, masterbach color negro y aditivo ISGASTAB RM68 FF ; el personal operativo, supervisión y de calidad revisan físicamente el estado del material y sus características técnicas (físicas y químicas), para adecuar las máquinas de peletizado con las temperaturas requeridas, además de suministrar agua con una temperatura constante de 10 °C para enfriar el pellet que resulta del proceso, esta acción de ajuste ayuda a que el tiempo de fabricación de este material sea el adecuado y eficiente.

El pellet negro como producto final es usado para hacer piezas no huecas como tapas de tinacos o accesorios como conectores, tuberías, etc.

Con una orden de producción de 10 toneladas para servir de guía, recopila la información requerida del producto a trabajar como (marca y lote de la resina, compañía que la suministra, estado físico y químico, cualidades y apariencia), en esta orden de producción se usaran dos polietilenos de (media y alta) densidad.

Ejemplo:

O.P. 01: Ventas solicita una producción de 10 toneladas de polvo de rotomoldeo para un cliente dedicado a la fabricación de tinacos, las características que se necesitan, es de color negro de alta densidad con un tiempo de entrega de 2 días.

En caso particular, los datos de la mezcla de master bach, aditivo y resina, se toman de órdenes anteriores de la empresa. Para saber la cantidad requerida, se realiza la siguiente operación, se resta el 5% master bach y el 0.01 % de aditivo plástico del 100 % que se va a manufacturar.

$(10000 \text{ Kg}) \cdot (0.05) = 500 \text{ Kg}$  de pigmento (master Bach)

Después se determina la cantidad de aditivo

$(10000 \text{ Kg}) \cdot (0.001) = 10 \text{ kg}$  de aditivo

Por lo que (10000kg) -(500Kg) -(10Kg) =9490 de resina virgen.

La mezcla de pigmento y aditivo se debe de hacer por separado para ello en una mezcladora se ponen los dos materiales para ser mezclados de manera uniforme, de donde se pasará al dosificador Sterlyn. El dosificador tendrá como función agregar la dosis exacta de master bach con aditivo al husillo, el aparato es conectado al reductor de la extrusora este detectara las revoluciones del husillo con esta información la tarjeta del dosificador, mandara la información de liberar el material de manera periódica dentro del husillo donde de manera paralela se verterá la resina virgen llenando la recamara de la extrusora y el husillo a su vez los mezclara de manera homogénea; para este proceso se recomienda que cada determinado tiempo el personal de calidad este pendiente en los sólidos (resultado del índice de fluidez del material), así como la fundición del pellet para ver la opacidad del producto y de cómo se verá al ser moldeado, con ello se libera el producto para su elaboración de pellet.

En este paso del proceso se analizan los datos técnicos de los materiales los cuales indican en que rango de temperatura se trabajara, así como las características físicas y químicas que poseen, en esta orden de trabajo el material que se utiliza es media densidad (DOW MDPE) la cual tiene un rango de temperatura de fusión de 126 °C [2].

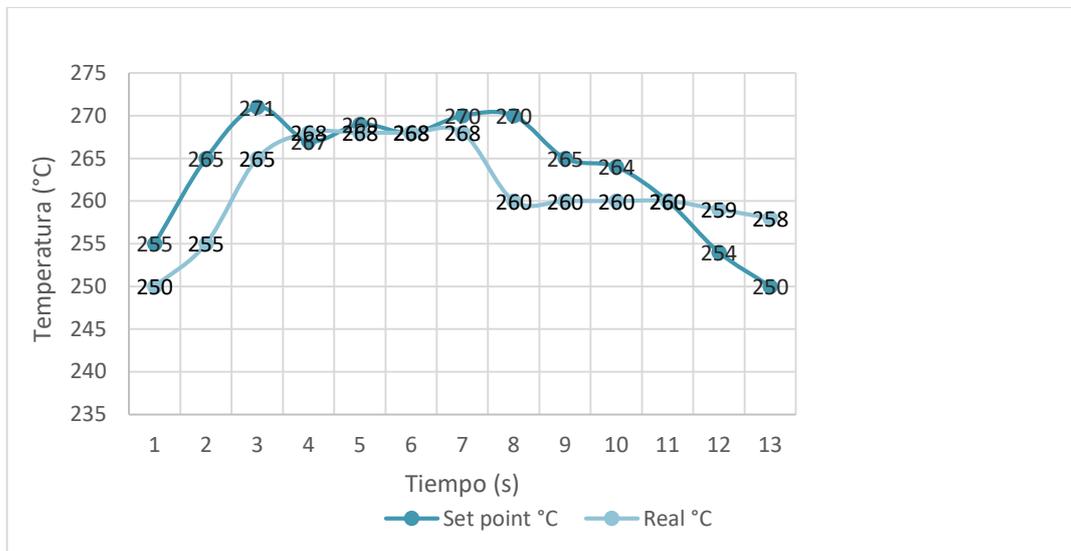
Los termopares se fijan a una temperatura según indica el fabricante de polietileno, el aparato mandara la señal para calentar el cañón por medio de resistencias o enfría la recamara del cañón por medio de ventiladores según convenga, este accesorio electrónico ayuda a controlar las temperaturas en todo el cañón, así como en el cabezal por donde pasara el material hasta llegar a la cortadora.

La siguiente tabla recopila temperaturas de trabajo de la maquina extrusora cuando esta se encuentra trabajando con polietileno de media densidad (MDPE) con un master bach y sin aditivo como se muestra en la tabla (6.1). El perfil de temperaturas es usualmente ocupado por el personal con base a la información de las fichas técnicas del producto. Esto se realiza con el fin de tener un desempeño óptimo de la maquinaria.

**Tabla 6.1 Datos de Temperatura de la máquina para el polietileno de media densidad.**

<b>Datos de comportamiento de temperatura del cañón para MDPE sin aditivo</b>													
<b>Zonas</b>	<b>1</b>	<b>2</b>	<b>3</b>	<b>4</b>	<b>5</b>	<b>6</b>	<b>7</b>	<b>8</b>	<b>9</b>	<b>10</b>	<b>11</b>	<b>12</b>	<b>13</b>
<b>Set point °C</b>	255	265	271	267	269	268	270	270	265	264	260	254	250
<b>Real °C</b>	250	255	265	268	268	268	268	260	260	260	260	259	258

Como se ve en la gráfica (6.1), el comportamiento de las temperaturas en los termopares digitales 1 y 2 tienen una diferencia de 5 a 10 °C, los siguientes termopares del 3 a 7 se mantienen constantes con una temperatura de 268 °C lo que indica que se requiere más temperatura para mantener una constante de fluidez de la mezcla dentro del cañón.



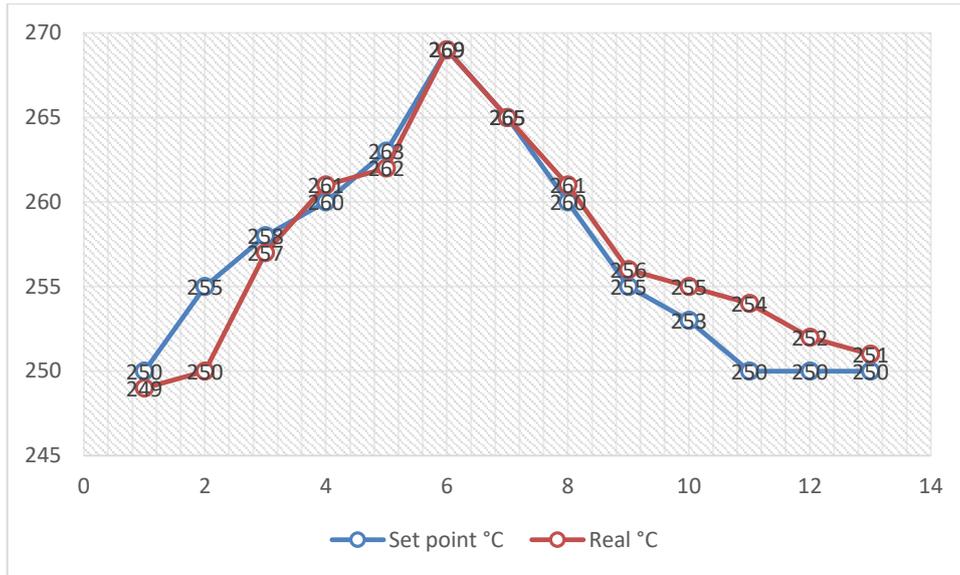
**Grafica 6.1 Comportamiento de Temperaturas del Polietileno de Media Densidad.**

Para la siguiente mezcla de polietileno de media densidad con master bach y aditivo, el perfil de temperaturas que se fija en los termopares no difieren a la temperatura real como se ve en la tabla (6.2), ya que las temperaturas ascienden y descienden de manera uniforme desde la primera zona hasta la zona 13, en este caso se pretende mantener una constante por medio del uso de aditivos, ya que disminuye el consumo de energía al calentar el cañón y por ende el paso del material aumentara, a su vez el material mezclado tendrá una consistencia homogénea.

**Tabla 6.2 Datos de Temperatura de máquina extrusora de Polietileno de Media Densidad con Aditivo.**

Datos de comportamiento del cañón para MDPE con aditivo													
Zonas	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Set point °C	250	255	258	260	263	269	265	260	255	253	250	250	250
Real °C	249	250	257	261	262	269	265	261	256	255	254	252	251

En la siguiente grafica (6.2), se ve otro comportamiento del material al ser combinada con aditivo, existe un pequeño pico en el incremento de temperatura en la zona 6 y después empieza el descenso paulatinamente.



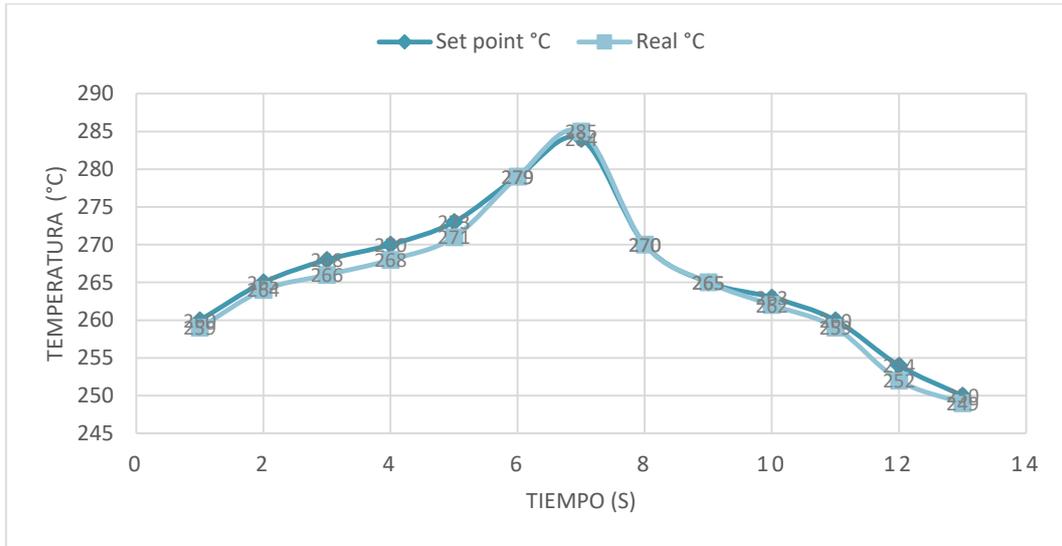
**Grafica 6.2 Comportamiento de Temperaturas de Polietileno de Media Densidad con Aditivo.**

Para los materiales de polietileno de alta densidad se tiene un rango de temperaturas con un perfil más alto como se ve en la tabla (6.3), si este no alcanzara las temperaturas no podrá fundir la mezcla de los materiales, corre el riesgo de aumentar el consumo eléctrico, esforzar la maquina o fracturar el husillo si este no puede arrastrar el material por el cañón al trabajar.

**Tabla 6.3 Datos de Temperatura de Polietileno de Alta Densidad.**

Datos del comportamiento de temperaturas del cañón para HDPE sin aditivo													
Zona	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
Set point °C	260	265	268	270	273	279	284	270	265	263	260	254	250
Real °C	259	264	266	268	271	279	285	270	265	262	259	252	249

En la gráfica (6.3), se observa que los valores fijos y los reales no difieren, ya que muestran una tendencia muy similar lo que lleva a demostrar que estos materiales al trabajar a altas temperaturas no necesitaran más allá de la requerida. En los ejemplos anteriores no hay variaciones grandes ya que al seguir los valores proporcionados por el fabricante no se requiera de más energía para fundir el material y ser arrastrado por el cañón.



**Grafica 6.3 comportamiento de Temperaturas de Polietileno de Alta Densidad.**

## 7 Evaluación y análisis del proceso de rotomoldeo.

Usualmente las industrias evalúan sus procesos para modelar su sistema de trabajo y mejorar sus tiempos. De ello se recopila datos de la producción, se evalúa, se analiza en que área de toda la planta es frágil en el proceso de producción del producto. El ejercicio que se presentó en el capítulo anterior se analiza para tener un panorama amplio de las resinas, los pigmentos y los aditivos usados; así como las condiciones del entorno en el que se desarrolla el proceso, como también las máquinas y accesorios necesarios y especializados para el desempeño de esta manufactura, donde el manejo de estas herramientas de trabajo ayudara al ahorro de energía y reducirán su costo de operación.

### 7.1 Resinas y pigmentos ocupados para el rotomoldeo.

Las empresas dedicadas al rotomoldeo utilizan resina de polietileno de media densidad y polietileno de alta densidad, masterbatch, estabilizadores y aditivos. En este caso dependerá de lo que se desee moldear ya que cada material tendrá características especiales tanto físicas como químicas.

La industria del plástico suele utilizar materiales según cualidades físicas, químicas y sobre todo el precio en el que se compra el material. Dependerá del mercado, del producto y del cliente estas variables ya que cada uno tiene diferentes necesidades y rotomoldea productos específicos. Por ello se recomendarán algunos proveedores de polietileno, pigmentos y aditivos. En este capítulo se enlistarán las empresas que proveen de materia prima para los productores de polvo de rotomoldeo como se enlistan en la siguiente tabla (7.1).

**Tabla 7.1 Distribuidores de Material Plástico**

Distribuidores de Resinas, Pigmentos y Aditivos	
Empresa	Producto
Pemex Petroquímica	Resina (baja, media y alta densidad)
The Dow Chimecal Company	Resina (baja, media y alta densidad); pigmentos, estabilizadores y aditivos
Entec Polimers	Resina (baja, media y alta densidad)
Basf	Resina (baja, media y alta densidad); pigmentos, estabilizadores y aditivos
Insumos	Resina (baja, media y alta densidad)
Savic	Resina (baja, media y alta densidad)

Agama Pigmentos y Masterbatch	Pigmentos, Masterbatch y aditivo
Ampacet	Pigmentos, Masterbatch y aditivo

En la siguiente tabla (7.2) se enlistan marcas de materiales para la fabricación de polvo de rotomoldeo, en este caso específico se toma estas marcas como base ya que cuentan con calidad de proceso y precio atractivo para el empresario.

**Tabla 7.2 Composición de Polvo de Rotomoldeo.**

Composición de polvo negro de rotomoldeo.	
Material	Marca
Masterbatch	Prixene [13]
Resina (media densidad, XDNDA 1650)	Dow [8]
Aditivos (Irgastab RM68)	Basf [9]

Aunque hay infinidad de marcas que distribuyen resina de diferentes densidades y para diferentes aplicaciones, la mayoría de las empresas productoras de polvo de rotomoldeo se inclinan a consumir resina de proveedores que den un buen precio en la compra de la misma, el cliente final por lo regular opta por consumir productos de media calidad ya que el precio del polvo de rotomoldeo es bueno. En capítulos anteriores se presentaron ejemplos de resinas para la fabricación de este producto ya que son productos de buena calidad.

## **7.2 Condiciones de trabajo para el proceso de peletizado y pulverizado.**

En todo proceso de fabricación existirán condiciones de trabajo que ayudan a mejorar o perjudicar el producto final, en su defecto incrementar o disminuir el costo del producto; todos estos factores externos se deben controlar, registrar e ir analizando, para ubicar puntos débiles y reforzarlos. Para ello se enumeran algunos factores externos que afectan el proceso.

Ventilación de la nave industrial bajo normas según Asrhael [] debe ser de 10 a 15 cambios/Hr, como se ve en la tabla, para este caso se debe reemplazar constantemente el aire en las zonas donde se encuentre el material y el personal operativo, en especial la zona de producción ya que el incremento de temperatura dentro de estas áreas impiden el enfriamiento deseable para el material, cuando este sale del secador calienta el ambiente, para que el pellet sea aceptable deberá de tener una temperatura  $19^{\circ}\text{C} \pm 2^{\circ}\text{C}$ , y de esta forma no

afecte el siguiente proceso de pulverizado, se debe tener un especial cuidado ya que al recibir material húmedo de la secadora y al pasar por las líneas de extracción se suele tapar y se quedan pegadas partículas húmedas en las paredes de la tubería de extracción y afectan el ciclo en tiempo y en producción. En cuanto al personal operativo afecta su desempeño ante el incremento del CO<sup>2</sup> cuando en el recinto de producción se alcanzan temperaturas superiores a los 28°C o más si las condiciones exteriores son de temperaturas superiores de 30°C. como se muestra en (figura 7.1) algunos equipos de renovación de aire. En espacios donde se encuentra confinada gente trabajando siempre debe existir cambios de aire ya que se contamina de CO<sup>2</sup> de ellos se desglosa una tabla (7.3) donde indica los cambios de aire por hora.

**Tabla 7.3 Cambios de Aire en el área de trabajo.**

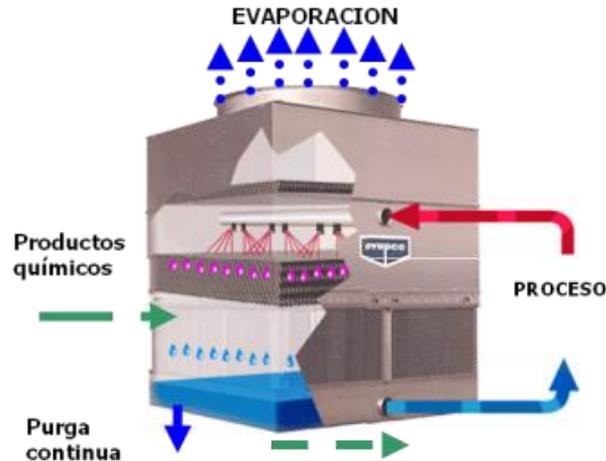
Actividad	Nº. de R/H	Actividad	Nº. de R/H
Fcas. de vidrio:		Plantas embotelladoras:	
- Hornos	30 a 50	- Lavaderos	10 a 15
- Máquinas	20 a 40	- Pasteurizado	12 a 16
		- Fermentación	12 a 16
Taller de pintura	30 a 50	Cines	10 a 15
Tratamientos térmicos	20 a 40	Garajes	4 a 8
Naves de calderas	20 a 30	Taller mecánico	5 a 8
Forja en caliente	18 a 30	Oficinas	6 a 8
Centrales térmicas	12 a 30	Manufactura en general	6 a 8
Piscinas	15 a 25	Mercados	4 a 8
Fundiciones pesadas	18 a 25	Polideportivos	4 a 8
Fábricas de papel	8 a 20	Crianza de animales	3 a 9
Fundiciones livianas	12 a 15	Almacén en general	2 a 6



**Figura 7.1 Cambios de Aire para la Industria.**

Suministro e instalación de agua fría a temperatura de 21°C ± de 2 °C para las maquinas peletizadoras y 16°C ± 2°C pulverizadoras; las maquinas peletizadoras usan agua fría de un sistema cerrado, como se muestra en la figura (7.2), la cual es enfriada en una torre de enfriamiento, esta torre de enfriamiento tendrá características de contracorriente con un tiro inducido y ventilador axial para el flujo de agua por el cortador y enfriar el pellet que sale a una temperatura de 234 °C el cambio de temperatura abruptamente hace que el plástico se compacte y se forme un pellet uniforme este a su vez al ser pasado por la tina de agua fría se baja su temperatura hasta tener 23 °C la cual al ser secada será más fácil la manipulación y

por ende el traslado por las tuberías de vacío no se generan plastas en las paredes de la misma. Este sistema de enfriamiento se conformará de tanques de agua con capacidad mayor a 10,000 litros ya que el gasto que se requiere es para abastecer al número de máquinas conectadas al sistema de enfriamiento.



**Figura 7.2 Torre de Enfriamiento. [21]**

Se recomienda tener un chiller de capacidad de 10 toneladas de enfriamiento, como se muestra en la siguiente (figura 7.3), esta máquina enfriara el agua a 16°C para el proceso de pulverizado, aquí el agua pasa por las tapas de los discos de las pulverizadoras, este sistema de enfriamiento evita que al ser puesto en marcha el proceso de pulverizado se plastifique en el interior de los molinos ya que la fricción eleva la temperatura en el interior entre ambos discos llegando a 125 °C propicia a que se plastifique.



**Figura 7.3 Chiller [20]**

Para la producción de los diferentes tipos de colores del polvo de rotomoldeo las empresas limitan las maquinas a un solo color. Por ejemplo, la empresa Polímeros Mexicanos

tiene una línea exclusiva para el color negro, dos líneas más que aseguran la fabricación de los colores claros como (beige, blanco, azul cielo, etc) en esta línea los colores son escogidos de manera especial para evitar que se contaminen con algún agente (partículas de polvo de algún otro color o polvo del ambiente) para ello se debe aislar por medio de muro para mantener separado a las demás líneas. Por otro lado, se tiene una línea de producción donde se trabaja con colores oscuros también aislados de las demás líneas ya que al realizar el proceso puede contaminarse con partículas de color claro y corre el peligro de tener una calidad tipo moteado. En todos los casos se juega mucho el intercambio de polietilenos vírgenes y limpiezas con el color negro ya que al realizar algún cambio de color se utiliza el polietileno virgen de la orden de negro para realizar las limpiezas necesarias en las otras líneas de producción.

Para automatizar las líneas de producción, se requiere una gran inversión, pero a la larga se controla el proceso, la calidad se mantendrá sin ninguna variación y reducirá costos en algunos rubros en especial en operativo.

Orden en la zona almacén, teniendo definidos los espacios de cada material y cada color, así como una estricta limpieza del lugar para evitar que el producto se contamine con algún agente externo o con algún material ya procesado.

Tener un departamento de control de calidad que este en constante monitoreo de los productos.

### **7.3 Características esenciales para el mejor aprovechamiento de material y maquinaria.**

Es necesario que, en todo proceso, el personal manipule los recursos materiales y de maquinaria de manera adecuada; esto ayudará a la mejora de los procesos de extrusión y pulverización. Se recomienda capacitar al personal y detectar las posibles fallas en cada equipo, para monitorear y recopilar información de los equipos.

Las extrusoras tienen puntos críticos como el motor del reductor, para ello se recomienda tomar el amperaje del equipo cuando se encuentre en trabajo, revisión de resistencias, termopares electrónicos, filo de cortadoras y secadora del pellet.

Las pulverizadoras se deben verificar el amperaje de los motores primario y secundario cuando estén trabajando, revisar el filo de los discos de las pulverizadoras y las partes electrónicas, pero en este caso con personal especializado por ejemplo PLC el cerebro de estas máquinas.

Si estos puntos se revisan constantemente y se realizan los paros preventivos programados, la maquinaria tendrán una vida útil y por ende no existan paros innecesarios en el proceso por fallas o por procesos mal realizados al manipular la maquinaria.

El contar con material de buena calidad, que cumpla con los estándares solicitados por el fabricante ayuda a evitar pérdidas de material y tiempo; ya que las máquinas trabajan de la

mano con el material; teniendo un buen material que cumpla con las características de densidad e índice de fluidez, ayudara a trabajar de manera armónica sin obstrucción alguna.

Más que características son recomendaciones basadas en el trabajo del día a día en la industria, para ello se enlistan puntos cable en los que se puede apoyar para identificar los problemas comunes en el proceso.

- Revisar que el material se va a trabajar.
- Revisar que las temperaturas en la extrusora sean las correctas y de acuerdo al material que se trabajara.
- Tener una máquina que tenga un arranque suave.

#### **7.4 Aditivos utilizados en el proceso.**

En todo proceso es necesario contar con aditivos que ayuden a mejorar los productos, en este caso particular el aditivo es repelente de los rayos UV, dado que es capaz de estabilizar los plásticos naturales, para los materiales que se ocupan en el exterior se recomienda utilizar este tipo de aditivos además de poder acoplar en la fabricación de compuestos y que sean estabilizadores.

En el proceso se utiliza un antioxidante de marca IRGASTAB el cual mejora el rendimiento de los materiales poliméricos y además contribuye en aumentar la productividad del producto final.

Este producto actúa como un tipo de cera que lubrica las paredes y el husillo en especial, lo que favorece que el paso del material por toda la cámara sea sencilla además de que se homogenice la mezcla de estos tres materiales aumentando sus calidades químicas y físicas; este resultado favorece ya que se refleja en el consumo eléctrico de la maquina peletizadora y su tiempo de proceso se reduce notablemente; además de que no se realizara ningún cambio en el perfil de temperaturas y menos en la velocidad ocupada en el reductor. Por otra parte, en las maquinas pulverizadoras se reduce la pelusa generada por la fricción de los discos, el tiempo en este proceso se reduce notoriamente ya que se genera menos granulado en el polvo, lo que reduce el reproceso.

#### **7.5 Costo/ Beneficio de utilizar aditivos.**

Con la información recopilada de los materiales de la maquinaria y los agentes externos se muestra en la siguiente lista de chequeo, misma que recopila información de los parámetros en cada máquina, toma datos de tiempos de producción en cada sección y línea de producción, estos datos ayudan a mejorar la producción de polvo de rotomoldeo, para fines prácticos se dé una idea de lo esencial que se considera al tomar datos de producción. Como en la siguiente tabla (7.4), se monitorea las ordenes de producción. Se han mencionado las características de los materiales y de las maquinas utilizadas, con base en ello se han tomado



Turno:		Turno:	
Turno:		Turno:	
Suma de kilos :		Suma de kilos :	
Observaciones:			
Tiempo de entrega de la Orden de Producción:			

Para tener un panorama más amplio del consumo de energía en este proceso de fabricación, se muestra una gráfica con los consumos de energía en cada máquina como las extrusoras y de las pulverizadoras.

**Tabla 7.5 Datos Técnicos de las Maquinas Extrusoras.**

Características de la Extrusora	
Potencia del motor	250 HP
Diámetro de Husillo	130
Radio	37
Material	L/D
Capacidad máxima Kg/h	600-700
Consumo de energía KW	215
Amperaje	337

**Tabla 7.6 Consumo de energía de la pulverizadora.**

Características de Pulverizadora	
Potencia del motor/Molino1 (kW)	55/22
Potencia del motor/Molino2 (KW)	55/45
Mallas (US)	35-22
Reducción de Partícula ( $\mu\text{m}$ )	500-840
Producción (kg/h)	500-700
Material	LDPE, HDPE
Capacidad máxima Kg/h	500-700

**Tabla 7.7 Datos eléctrico y consumo de las maquinas**

CONSUMO ELECTRICO DE MAQUINAS Y MAQUINARIA	
Maquina	Consumo KW/h
Chiller y Torre de Enfriamiento	130
Luminaria	100

Con fines prácticos se toma una orden de producción de 10,000 Ton de productos de polvo de rotomoldeo. La toma de datos de producción ayuda a conseguir los costos y de comparación de los materiales con aditivo y sin aditivo. Con un tiempo de 20 horas para producir el peletizado y el pulverizado así como el envasado del polvo de rotomoldeo en presentaciones de 500(kg) y 50 (kg), para posteriormente ser almacenados y estivados conforme a sus características como se muestra en la figura (7.4).



**Figura 7.4 envasado de 500 (kg) y envasado de 50 (kg) en tarimas [16]**

El costo de producción se manejará en moneda nacional y los materiales serán en dólares ya que el material se maneja en esta denominación, después de determinar el costo se tendrá que convertir todo a dólares ya que los productos se venden en dólares.

El documento realiza un comparativo del producto final con aditivo y sin aditivo. De acuerdo a los reportes de producción, se observa en la tabla (7.8), que la producción con aditivo es mayor a la del material sin aditivo. Además, de que el consumo de energía para la producción del material con aditivo es casi similar a la que se produce sin aditivo. Se puede decir que aparte de ayudar a la mejora química en el material con aditivo ayuda a mejorar los tiempos de producción y de ahorro de energía.

**Tabla 7.8 diferencia de consumo de energía y producción**

	Maquina	Kg/min	Total, de producción Kg/h	Consumo de Energía Kw/h
Con Aditivo	Extrusora Tecnova	9.15	549	214
	Pulverizadora	9.37	562.2	61.2
Sin Aditivo	Extrusora Tecnova	9.02	541.2	214.4
	Pulverizadora	9.16	549.6	61.9

Se comparan los costos de producción de polietileno de mediana densidad con aditivo y sin aditivo. Como se ve en el comparativo de las tablas (7.9 y 7.10)

Comparando los costos del producto con aditivo y sin aditivo el costo del producto solo aumento un 1.8%, diferencia que se debe únicamente al costo del aditivo.

**Tabla 7.9 costos de producción del polvo de rotomoldeo con aditivo**

Costos del producto con aditivo			
	Unidades kg	Costos USD/Kg	Total
Resina	9,670	1.13	10,898.10 USD
Pigmento/Masterbatch	250	2.24	558.88 USD
Aditivos	80	2.78	222.40 USD
		Gran Total	11,679.38 USD

**Tabla 7.10 costos de produccion del polvo de rotomoldeo sin aditivo.**

Costos del producto sin aditivo			
	Unidades Kg	Costos USD/Kg	Total
Resina	9,670	1.12	10,898.09 USD
Pigmento/Masterbatch	250	2.23	558.87 USD
		Gran Total	11,456.96 USD

El consumo de agua fría es esencial para enfriar el material que se acumula en el cortador el sistema de enfriamiento es un ciclo cerrado, tratando de consumir lo menos posible este recurso y evitando su contaminación, este documento incluye el consumo del agua en la producción del polvo de rotomoldeo. En las tablas (7.11 y 7.12), comparan los costos de energía, agua y otros para la producción del material sin aditivo y con aditivo, el total se muestra para 20 horas de trabajo. Analizando las tablas mencionadas se concluyó que los costos son los mismos prácticamente.

**Tabla 7.11 Costo de energía, agua y mano de obra para el material con aditivo**

Costos de energía, agua, gas, mano de obra,			
	Unidades	Costos	Total (pesos) 20 horas
Energía Eléctrica	498.1 Kw/h	3.18 \$/Kw/h	31,679.16
Costo de Agua	60 m3	16.17 \$/m3	970.20
Mano de Obra	2 personas	1,800.00 \$/persona	3,600.00
Consumo de Gas Montacargas	12 Kg	14.45 \$/kg	173.40
Costo de indirectos	1 lote	45,000.00	45,000.00
		Gran Total	81,422.76

**Tabla 7.12 Costo de energía, agua y mano de obra para el material sin aditivo.**

Costos de energía, agua, gas y mano de obra			
	Unidades	Costos	Total (pesos) 20 horas
Energía Eléctrica	505.2kwh	3.18 \$/kwh	32,130.72
Costo de Agua	60 m3	16.17 \$/m3	970.20
Mano de Obra	2 personas	1,800\$/person a	3,600.00
Consumo de Gas Montacargas	12 kg	14.45 \$/kg	173.40
Costo de Indirectos	1 lote	45,000.00	45,000.00
		Gran total	81,874.32

Comparando los costos totales de producción del polietileno de mediana densidad con aditivo tabla (7.13) y sin aditivo tabla (7.14), se observa que el costo total aumenta un 1.8 % con respecto al material producido sin aditivo. Este aumento proviene del costo adicional del aditivo, por lo tanto, producir polietileno de mediana densidad con aditivo no representa un costo significativo para la empresa.

**Tabla 7.13 costo total de producción con aditivo.**

Costo total de producción con aditivo		
Mano de obra, energía y otros costos	Costo de materiales	Total
2286.82 USD	11,679.36 USD	13,966.18 USD
	Precio por kilo	1.39 USD

**Tabla 7.14 costo total de producción sin aditivo.**

Costo total de producción sin aditivo		
Mano de energía y otros costos	Costo de materiales	Total
2286.82 USD	11,456.95 USD	13,743.78 USD
	Precio por kilo	1.37 USD

En las próximas tablas se muestran el costo de producción de polvo para rotomoldeo negro con material de polietileno de alta densidad (HDPE), en este caso se consideró el precio de la resina de alta densidad. Se calcula el costo de producción de polvo de alta densidad con y sin aditivo.

Comparando la tabla 7.15 (con aditivo) contra la tabla 7.16 (sin aditivo) se obtiene un aumento del 1.7% del costo del producto del producto con aditivo.

**Tabla 7.15 costo de material HDPE con aditivo.**

Costos del producto de HDPE con aditivo			
	Unidades Kg	Costos USD/Kg	Total USD
Resina alta densidad	9,670	1.27	12280.90
Pigmento/Masterbach	250	2.24	558.87
Aditivos	80	2.78	222.40
	Gran Total		13,062.17 USD

**Tabla 7.16 costo de material sin aditivo**

Costos del producto de HDPE sin aditivo			
	Unidades Kg	Costos USD/ Kg	Total USD
Resina alta Densidad	9,670 kg	1.27	12,280.90
Pigmento/Masterbach	250 kg	2.2355	558.87
		Gran Total	12,839.77 USD

En el caso de la resina de alta densidad, cuando se trabaja con y sin aditivo los costos de agua, mano de obra, gas del montacargas y costos indirectos serán los mismos, la única diferencia entre el usar aditivo y no usarlo es menor consumo de energía como se muestra las siguientes tablas (7.17 y 7.18).

**Tabla 7.17 Costo de energía, agua, gas y otros costos con aditivo**

Costos de energía, agua, gas y mano de obra con aditivo para el HDPE			
	Unidades	Costos	Total (pesos) 20 horas
Energía Eléctrica	545.7kw/h	3.18 \$/kw/h	34,706.52
Costo de Agua	63 m3	16.17 \$/m3	1,018.71
Mano de Obra	2 personas	1,800 \$/personas	3,600.00
Consumo de Gas Montacargas	12 kg	14.45 \$/kg	173.40
Costo de Indirectos	1 lote	45,000.00	45,000.00
		Gran Total	84,498.63

**Tabla 7.18 Costo de energía, agua y otros costos sin aditivo**

Costos de energía, agua, gas y mano de obra sin aditivo para el HDPE			
--	--	--	--

	Unidades	Costos	Total (pesos) 20 horas
Energía Eléctrica	554.8kwh	3.18 \$/kwh	35,285.28
Costo de Agua	63 m3	16.17 \$/m3	1,018.71
Mano de Obra	2 personas	1,800 \$/personas	3,600.00
Consumo de Gas Montacargas	12 kg	14.45 \$/kg	173.40
Costo de Indirectos	1Lote	45,000.00	45,000.00
		Gran Total	85,077.39

El aumento del costo total de producción de la resina HDPE con aditivo es de 1.94 % por lo tanto el beneficio a largo plazo de producir HDPE con aditivo. Como se muestra en las tablas (7.19) y (7.20)

**Tabla 7.19 Costo total de producción de la resina HDPE con aditivo.**

Costo total de producción con aditivo para el HDPE		
Mano de energía y otros costos	Costo de materiales	Total
2,455.04 USD	13,062.17 USD	15,517.21 USD
	Precio por kilo	1.55 USD

**Tabla 7.20 Costo total de producción de la resina HDPE sin aditivo.**

Costo total de producción sin aditivo HDPE		
Mano de energía y otros costos	Costo de materiales	Total
2455.04 USD	12,839.77 USD	15,294.81 USD
	Precio por kilo	1.52SD

## 7.6 Problemas comunes en la línea de proceso de material.

A continuación, se enlistan los problemas comunes observados en toda la línea de producción de polvo de rotomoldeo:

- Revisar que el material que se utilizará sea el indicado para rotomoldeo.
- Que la resina o pigmento no se encuentre húmedo o mojado; ya que afectará al proceso se generaran gases en el interior del cañón de la extrusora por ende esto hará que el polímero aumente de volumen a la salida del cañón y no sea una partícula compacta.
- La máquina trabaja a mayor capacidad y el consumo de energía sea mayor.
- Diferencia de tonalidades o sólidos de peletizado y pulverizado.
- Plastificaciones en el cortador de la extrusora.
- Tener una distancia ideal entre peletizadora y pulverizadora para que se pueda enfriar el material de manera correcta.
- Que el pulverizado tenga partículas de otro color.
- Que el polvo de rotomoldeo no tenga el peso ideal o que se visualicen pelusas en el mismo.
- Que el material sea volátil al paso del aire o al paso de los equipos de vacío.
- Que se tengan sólidos altos o bajos (esta prueba se hace ambos procesos en extrusión y pulverizado).
- En la lista anterior se presentan los problemas más comunes si se traducen en números. Pero si una máquina para, lo hace dependiendo del problema, aunque no se puede poner una cantidad exacta de dinero, se mide con tiempo.

En la tabla (7.20) se muestran los problemas más comunes, los cuales se expresan en tiempo muerto y se traducen en horas perdidas de trabajo. Ya que se generan paros en la producción y por ende se retrasa los pedidos.

**Tabla 7.20 Problemas traducidos en tiempos muertos de producción.**

PROBLEMAS VISTO EN TIEMPO			
Problemas	Tiempo y solución	Tiempo para arranque	Total de horas
El motor del cortado hace un paro inesperado, el material se aglomera y se forma una plasta de material, lo que evita que el motor vuelva a girar de nuevo.	4 horas para limpiar cuchillas, se calienta con un soplete para liberar todo el cortador y limpieza de plato.	Media hora para arrancar y revisión de máquina	4.5 horas
Cuando hace falta de agua en el sistema de enfriado, se plastifica el materia en el cortador.	4 horas de limpieza de cortador y 2 horas de revisión de torre de enfriamiento.	Media hora para arrancar y revisión de máquina	6.5 horas

Si los discos no se encuentran balanceados en la pulverizadora se generan problemas de granulado, formación de pelusas y desgaste de los discos.	10 a 12 horas se balance el disco fijo, con un palpador y se realiza la separación de discos según lo recomendado.	15 minutos en el arranque y revisión de parámetros en la máquina.	12.5 horas
Si se llega a plastificar el material en los molinos.	15 horas de limpieza y balanceo de discos.	15 minutos de revisión de arranque	15.5 horas

## 7.7 Solución de problemas en el proceso.

Verificar en el laboratorio los materiales que ingresan a bodegas y silos. Con pruebas de sólidos para identificar los materiales si es media densidad o alta densidad. Verificar que los materiales estén secos y no estén contaminados.

Revisar que las resistencias estén calentando o ventiladores enfríen, revisar temperaturas y que no exista variación de ellas.

Revisar que la dosis de masterbatch sea la correcta y que el dosificador funcione correctamente.

Revisar que la temperatura del agua en el cortador este en el rango de (10°C a 15°). El material sale a temperaturas de más (150-190) °C y se suma la temperatura del cabezal puede ocasionar que se plastifique ya no podrá enfriarse.

Para evitar que el material se plastifique en los molinos por altas temperaturas del pelet, se recomienda que al trasladarlo de la peletizadora a la pulverizadora deberá tener una distancia mínima de 3 metros, la trayectoria del material ayuda a disipar el calor por la tubería. Se recomienda que el peletizado tenga una temperatura de 23°C para una mejor pulverización. Las recomendaciones que se presentan el documento son de extraídos de la experiencia laboral en esta industria.

El agua que se ocupa para enfriar el peletizado arrastra partículas pequeñas de pelet al sistema de enfriamiento (torre de enfriamiento), además de acumularse en pequeñas zonas del secador y tina la peletizadora, para evitar esta contaminación se debe lavar perfectamente los secadores cuando estos trabajen varios colores, además de desarmar y limpiar en las zonas más pequeñas donde se puedan alojar de la máquina, en el caso de la torre de enfriamiento se debe poner una malla a la entrada de la máquina además de darse mantenimiento a las placas de la torre de enfriamiento, con esto se evitara que se contamine el producto por otros colores.

Cuando no se tiene el peso correcto en el producto final, es porque los discos no se encuentran calibrados por ende se generan pelusas ya que material solo recircula en las

mallas y en los discos, otro factor es la carencia de filo en los discos o que los materiales estén combinados con más de dos resinas de diferentes densidades.

Que el peletizado sea del tipo esponjoso (que la apariencia sea como esponja, no se encuentre duro y compacto); es por las diferentes combinaciones de resinas de diferentes densidades o por que la resina al iniciar el proceso se encontraba contaminada con basura o mojado. Como se ve en la figura (7.5).

Cuando los sólidos sean altos o bajos es que el dosificador este apagado o que tenga un porcentaje diferente al requerido.



**Figura 7.5 Peletizado no compacto. [16]**

## **8 Recomendaciones.**

Para que este tipo de industrias sean rentables, se recomienda que el personal tenga capacitación constante tanto en el material como en el uso de la maquinaria; muchas de las fallas en esta industria se deben a la carencia de una buena capacitación, por ello se debe tener hojas de registro para saber en qué puntos de la producción existen las fallas más comunes y evitarlos antes de que sucedan.

Revisar los termopares electrónicos de las maquinas extrusoras ya que las variaciones de energía eléctrica dañan estos equipos, para ello del diario se debe verificar a diario.

Revisar que el flujo de agua en los sistemas de enfriamiento para el pellet y el polvo sean los adecuados.

Se recomienda que el chiller enfrié el agua a temperaturas de (15-18) °C ya que si el agua aumenta su temperatura no enfriara la carcasa de los molinos y por ende se plastificara la molienda. Si se carece de agua o la temperatura del agua de la torre de enfriamiento no es la adecuada se puede plastificar el material en el cortador o en el secador.

Recomendable revisar si el material del pellet es cortado adecuadamente puede que las cuchillas estén desgastadas o simplemente que la velocidad del cortador es baja.

En caso de que se tenga un pulverizado con pelusa o que en el proceso de pulverizado no sea adecuado, hay tres indicadores que pueden revisar.

El vacío que requiere la maquina pulverizadora no es la indicada y por ende el material recircula en las mallas.

Los discos se encuentran separados por unas micras, el tener este problema genera que el granulado del material tarde más tiempo de lo estimado, además de hacer desechos como pelusa que contamina el producto final

Carencia de filo en los discos, también produce una contaminación de pelusa que se genera dentro de los molinos, ya que el material gira constantemente dentro de los mismos o simplemente se plastifica por la falta de salida de esta pelusa como se ve en la figura (8.1).

Para el primer molino se debe tener una separación de 14 galgas entre disco superior y disco inferior, y el segundo molino de 10 galgas, esta separación dependerá del material a trabajar ya que no es lo mismo trabajar con polietileno de media densidad a trabajar con polietileno de alta densidad, cuentan con durezas diferentes. Al tener discos en buen estado y ajustadas hace que la pulverizadora trabaje correctamente, como se muestra en figura (8.2)



**Figura 8.1 Discos de la pulverizadora [17]**



**Figura 8.2 Máquina pulverizadora [17]**

Se recomienda capacitar continuamente al personal operativo en pruebas de laboratorio, para entender la cantidad de sólidos que se generan en la quema del material que se procesa, así como la identificación de la tonalidad de cada producto, para ello se debe tener una placa plastificada de cada color para la comparación del producto, por otra parte se debe proporcionar un tamiz para la identificación del tamaño de partícula que se debe producir en la molienda de los materiales, se debe identificar el producto con algún número de producción, para ello se debe tener una buena organización y limpieza en el área de producción.

### **8.1 Calidad del polvo de rotomoldeo.**

Es esencial la calidad del proceso de rotomoldeo, ya que al fabricarse los productos de rotomoldeo deben tener una consistencia de rigidez, durabilidad y estética. Para ello se debe estar midiendo constantemente el tamaño de la partícula del polvo, su tonalidad y sobre todo la limpieza del mismo.

Por ello se debe usar materiales de calidad previniendo que carezca de alguna propiedad química o física en muchos productos finales ya que algunos de ellos son usados en climas extremos. Se debe evitar usar materiales reciclados en un 100%, si en dado caso se usaran materiales reciclados debe ser discrecional y en un porcentaje menor al 15%.

No se deben mezclar polímeros de diferentes densidades y mucho menos de materiales contaminados con algún tipo de aditivo o recubrimiento, afecta en sus propiedades físicas y químicas del polvo de rotomoldeo.

## 9 Conclusiones.

Los empresarios dedicados a la fabricación de polvo de rotomoldeo, constantemente tienen fallas en su proceso, en este tipo de industria busca mejorar sus sistemas, innovando en el control del proceso, así como renovando sus líneas de producción. Aunque es un documento breve, busca orientar al fabricante ante los problemas y soluciones que se pueden suscitarse en el proceso de fabricación de este producto.

Este documento recopila información sobre los problemas más comunes que se presentan al extruir un pellet plástico, al ser vaciado a la máquina y después de la salida de la misma, además de los defectos más comunes del pellet como (forma, apariencia física y propiedades químicas) para esta etapa del proceso se presenta un caso especial al utilizar aditivos con polietileno, el cual generó un costo alto al producirse y en contraparte si no existe aditivo en el proceso disminuye el costo, en la resina de media densidad el costo incremento 128.2 por 10 toneladas, en el tiempo de producción se redujo 1.3 horas máquinas y personal operativo.

Aunque es viable utilizar aditivos en el proceso de polvo de rotomoldeo este proceso solo se usa en casos especiales cuando, se debe considerar que estos materiales se rigen bajo el precio del dólar, por lo que se recomienda comprar el material cuando el dólar se encuentre en un valor razonable. Aunque en teoría y por recomendación es mejor usar aditivos, la realidad las industrias plásticas evitan usar esta herramienta para su producción y buscan la reducción de costos apegados a la calidad necesaria. Siendo una herramienta muy especial cuando se desea generar materiales de alta calidad.

Se realizó el mismo ejercicio para materiales de alta densidad, donde el costo de producción es 500 dólares más caros por cada 10,000 toneladas de producto terminado, pero con una reducción en su tiempo de producción de 1.7 horas, aquí es importante decir que el material necesitaba más energía para poder fundirse, para ellos se incrementa las zonas de las extrusoras de 10 a 15°C. Lo anterior es un ejemplo de donde se puede utilizar cualquier color en este caso utilizamos el negro con fines prácticos.

Se mencionaron fallas comunes en el material pero también existen fallas mecánicas cuando se llega a producir un paro por una mal mantenimiento del equipo y mal manejo de material por parte del personal operativos; el tiempo que se requiere para solucionarlo aumenta por lo menos de 8 horas las mismas que el personal operativo no realiza ninguna actividad que se le fue contratado, hay veces que el personal no cuenta con ninguna capacitación en la maquinaria y mucho menos desconocer el manejo del material.

Esto es un grave problema ya que se trabaja de manera incorrecta. Se recomienda capacitar a un grupo pequeño sobre la maquinaria y los materiales, además de orientarlos en los posibles errores más comunes que se presentan en el trabajo y como solucionarlos.

La capacitación enriquece al personal, en el ejemplo presentado de pulverizado el personal puede identificar problemas en su producto antes de ser evaluado por el personal de calidad, si este encuentra algún problema puede cambiar y/o ajustar los parámetros necesarios para evitar el reproceso del material antes, durante y termino de fabricación del producto final.

La finalidad es organizar y monitorear todo el proceso de manera eficiente, muchas de las veces las empresas generan desperdicios que se pueden evitar al evitar el desperdicio ayudara a disminuir el costo de producción por ende tener un mayor número de consumidores y el tener presupuesto para las mejoras en la empresa, así como mantenimientos constantes o necesarios para estar en la vanguardia de producción.

Para la calidad en el polvo de rotomoldeo es necesario que toda empresa genere fichas técnicas de sus productos que ayuden al cliente a saber cómo trabajarlo en los moldes, esto evitará pérdidas en su producción y el tiempo de cocción de cada pieza ayudando a ser una pieza más estética, pero a la vez conservando sus propiedades mecánicas.

## 10 Bibliografía

1. <http://www.plastico.com/> última consulta: noviembre 2017.
2. <http://www.plastimagen.com.mx/2013/minuta/d14r-GermanSuarez.pdf>. última consulta: noviembre 2017.
3. <http://www.mundoplastico.net/> última consulta: noviembre 2017.
4. Odian G., Principles of Polymerization, 2a. ed, Wiley-Interscience Publication, New York, USA, 1991.
5. Ciencia e Ingeniería de los Materiales, 3ª. Ed., Editorial Internacional Thomson Editores Impreso, 1992.
6. Mc. Cabe, Operaciones Básicas de Ingeniería Química., 4ta. Ed., McGraw-Hill, 1991, Cap. 27.
7. [Ashare.org/about/ashrae-en-español](http://ashare.org/about/ashrae-en-español)
8. <http://www.ptq.pemex.mx/productosyservicios/productos/Paginas/Polietilenos.aspx> última consulta: noviembre 2017.
9. <http://www.dow.com/> última consulta: noviembre 2017.
10. <http://www.novachem.com/Pages/home.aspx> última consulta: noviembre 2017.
11. <http://www.firstqualitychemicals.com/portal/> última consulta: noviembre 2017.
12. <http://www.rotoplas.com/> última consulta: noviembre 2017.
13. <http://pdf.directindustry.es/pdf-en/tecnova-srl/recycling-plant-mod-es-160n-54d-double-deg-complete-2-stocking-silos-13-m-forced-feeding-hydraulic-screen-changer-4-sections-o-250-type-cafi-160-250-250-die-face-cutter-type-ttc-1500/50842-154427.html>, última consulta: noviembre 2017.
14. [http://www.plastic-additives.basf.com/ev/internet/plastic-additives/en/function/conversions:/publish/content/plastic-additives/Download\\_center/Downloads/Additives-for-polyolefins.pdf](http://www.plastic-additives.basf.com/ev/internet/plastic-additives/en/function/conversions:/publish/content/plastic-additives/Download_center/Downloads/Additives-for-polyolefins.pdf), última consulta: noviembre 2017.
15. Perry, R.H., Principles of size Reduction, Perry's Chemical Engineer's Handbook, 4th Ed., McGraw-Hill, New York, 1963, p.2.
16. <http://www.polymat.com.mx>.
17. [www.reductioninternational.com](http://www.reductioninternational.com)
18. <http://www.husillos.com.mx>.
19. <https://www.pt-mexico.com>
20. <https://www.ecochillers.net/ecochillers/industriales>
21. <http://www.torredefriamiento.com.mx>
22. <https://www.micromeritics.com>
23. <https://cypma.mx>

## BDL 36050

### MEDIA DENSIDAD

Índice de Fluidez 5.0 g/10min      Densidad 0.9365 g/cm<sup>3</sup>

#### Características

Copolímero con hexeno que ofrece excelente procesabilidad, en especial para artículos fabricados mediante el proceso de rotomoldeo. Contiene aditivo antioxidante para procesamiento y estabilizador UV.

#### Aplicaciones:

- \* Tinacos, tanques y cisternas
- \* Artículos deportivos de gran tamaño
- \* Juguetes y juegos infantiles de grandes dimensiones

#### \*\*Cumplimiento FDA y EEC

Parámetro	Unidad	Método de Prueba	Valor Típico **
Índice de fluidez	g/10 min.	ASTM D - 1238	5.0
Densidad	g/cm <sup>3</sup>	ASTM D - 792 o ASTM D - 1505	0.9365
Propiedades en partes moldeadas*			
Resistencia a la Tensión (cedencia)	MPa	ASTM D - 638	17.6
Módulo de flexión 1% secante	MPa	ASTM D - 638	730
Elongación a la ruptura	%	ASTM D - 638	700
Resistencia Ambiental (ESCR) F <sub>50</sub>			
100% Igepal	h	ASTM D - 1693	> 1000
10% Igepal	h	ASTM D - 1693	185
Temperatura de deflexión bajo carga			
a 66 psi	°C	ASTM D - 648	61
a 264 psi	°C	ASTM D - 648	38
Resistencia al Impacto a - 40°C			
3.18 mm	J	ARM	77
6.35 mm	J	ARM	183

(\*) Todas las propiedades medidas en muestras rotomoldeadas excepto para ESCR

#### Presentación

- \* Saco de 25kg.
- \* Granel

Los valores típicos reportados son obtenidos en laboratorio bajo los métodos de prueba descritos. Estos parámetros y condiciones de procesamiento, deben utilizarse sólo como referencia y no constituyen una garantía implícita o explícita para la aplicación propuesta.



## DOW MDPE DPDA-3170 NT 7 Medium Density Polyethylene Resin

**Visión general** DOW™ DPDA-3170 NT 7 Resina de Polietileno de Media Densidad (MDPE) es fabricada por medio de la Tecnología de Procesos UNIPOL™ de Dow y ha sido concebida para el moldeo rotacional o por inyección. Se ha diseñado específicamente para aplicaciones que requieren una excelente capacidad de procesamiento y estética combinada con una baja deformación y buenas propiedades mecánicas.

Procesamiento y Estabilización: La resina DOW DPDA-3170 NT 7 MDPE ofrece máxima resistencia al calor y estabilidad frente a los rayos UV, lo que genera un amplio rango de procesamiento, una buena retención de color y una larga vida útil.

- Moldeo rotacional o moldeo por inyección
- Para contenedores intermedios para productos a granel, juguetes, moldeado a medida para usos generales, tanques de almacenamiento agrícola, tanques de agua, piezas marítimas, artículos de consumo para uso interior
- Excelente resistencia al impacto, resistencia al resquebrajamiento bajo tensión y capacidad de procesamiento
- Estabilización frente a rayos UV a largo plazo: paquete de estabilizadores UV-8

Cumple con:

- Regulación 21 CFR 177.1520 (c)3.1a de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de los EE.UU.
- Procedimiento de No Objeción de la Dirección General de Productos de Salud y Alimentos (HPFB) de Canadá
- Underwriters Laboratories Inc.
- Norma NSF/ANSI 61 (artículos 4 y 5) de la Fundación Nacional de Saneamiento Internacional (NSF International)
- Directivas de la Comisión Europea (EU) (10/2011)

Para mayor información, por favor consulte las regulaciones.

Aditivo	• Antibloqueo: No	• Deslizante: No	• Ayuda proceso: No
<b>Prop. físicas</b>	<b>Valor Típico (Inglés)</b>	<b>Valor Típico (Métrico)</b>	<b>Método de Ensayo</b>
Densidad	0,935 g/cm <sup>3</sup>	0,935 g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792
Densidad Base <sup>1</sup>	0,935 g/cm <sup>3</sup>	0,935 g/cm <sup>3</sup>	Método interno
Índice de fusión (190°C/2,16 kg)	7,0 g/10 min	7,0 g/10 min	ASTM D1238
ESCR			
122°F (50°C), 10% de Igepal, F50 <sup>2</sup>	> 417 hr	> 417 hr	ASTM D1693
122°F (50°C), 100% de Igepal, F50 <sup>3</sup>	> 1000 hr	> 1000 hr	ASTM D1693A
<b>Prop. mecánicas</b>	<b>Valor Típico (Inglés)</b>	<b>Valor Típico (Métrico)</b>	<b>Método de Ensayo</b>
Tensión <sup>3</sup> (Punto de Fluencia)	2670 psi	18,4 MPa	ASTM D638
Módulo de Flexión - Módulo Secante 1% <sup>3</sup>	87500 psi	603 MPa	ASTM D790B
<b>Impacto</b>	<b>Valor Típico (Inglés)</b>	<b>Valor Típico (Métrico)</b>	<b>Método de Ensayo</b>
Impact Strength			ARM
-40°F (-40°C), 0,125 in (3,18 mm), Moldeo Rotacional	53 ft-lb	72 J	
-40°F (-40°C), 0,250 in (6,35 mm), Moldeo Rotacional	168 ft-lb	228 J	
<b>Prop. térmicas</b>	<b>Valor Típico (Inglés)</b>	<b>Valor Típico (Métrico)</b>	<b>Método de Ensayo</b>
Temperatura de deflexión bajo carga <sup>3</sup>			ASTM D648
66 psi (0,45 MPa), No recocido	123 °F	50,6 °C	
264 psi (1,8 MPa), No recocido	96,0 °F	35,6 °C	
Temperatura de fusión (calorimetría de barrido diferencial, DSC)	258 °F	126 °C	Método interno



## DOW MDPE DPDA-3152 NT 7 Medium Density Polyethylene Resin

**Visión general** DOW™ DPDA-3152 NT 7 Resina de Polietileno de Media Densidad (MDPE) es fabricada por medio de la Tecnología de Procesos UNIPOL™ de Dow y ha sido concebida para el moldeo rotacional o por inyección. Se ha diseñado específicamente para aplicaciones que requieren una excelente capacidad de procesamiento y estética combinada con una baja deformación y buenas propiedades mecánicas.

**Procesamiento y Estabilización:** La resina DOW DPDA-3152 NT 7 ofrece máxima resistencia al calor y estabilidad frente a los rayos UV, lo que genera un amplio rango de procesamiento, una buena retención de color y una larga vida útil.

- Moldeo rotacional o moldeo por inyección
- Para contenedores intermedios para productos a granel, juguetes, moldeado a medida para usos generales, tanques de almacenamiento agrícola, tanques de agua, piezas marítimas, artículos de consumo para uso interior
- Excelente resistencia al impacto, resistencia al resquebrajamiento bajo tensión y capacidad de procesamiento
- Estabilización frente a rayos UV a largo plazo: paquete de estabilizadores UV-8

Cumple con:

- Regulación 21 CFR 177.1520 (c)3.1a de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de los EE.UU.
- Procedimiento de No Objeción de la Dirección General de Productos de Salud y Alimentos (HPFB) de Canadá
- Underwriters Laboratories Inc.
- Norma NSF/ANSI 61 (artículos 4 y 5) de la Fundación Nacional de Saneamiento Internacional (NSF International)

Para mayor información, por favor consulte las regulaciones.

Prop. físicas	Valor Típico (Inglés)	Valor Típico (Métrico)	Método de Ensayo
Densidad	0,935 g/cm <sup>3</sup>	0,935 g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792
Densidad Base <sup>1</sup>	0,935 g/cm <sup>3</sup>	0,935 g/cm <sup>3</sup>	Método interno
Índice de fusión (190°C/2,16 kg)	5,2 g/10 min	5,2 g/10 min	ASTM D1238
ESCR <sup>2</sup>			ASTM D1693
122°F (50°C), 10% de Igepal, F50	> 982 hr	> 982 hr	
122°F (50°C), 100% de Igepal, F50	> 1000 hr	> 1000 hr	
Prop. mecánicas	Valor Típico (Inglés)	Valor Típico (Métrico)	Método de Ensayo
Tensión <sup>2</sup> (Punto de Fluencia)	2720 psi	18,8 MPa	ASTM D638
Módulo de Flexión - Módulo Secante 1% <sup>2</sup>	95000 psi	655 MPa	ASTM D790B
Impacto	Valor Típico (Inglés)	Valor Típico (Métrico)	Método de Ensayo
Impact Strength			ARM
-40°F (-40°C), 0,125 in (3,18 mm), Moldeo Rotacional	59 ft-lb	80 J	
-40°F (-40°C), 0,250 in (6,35 mm), Moldeo Rotacional	188 ft-lb	255 J	
Prop. térmicas	Valor Típico (Inglés)	Valor Típico (Métrico)	Método de Ensayo
Temperatura de deflexión bajo carga <sup>2</sup>			ASTM D648
66 psi (0,45 MPa), No recocido	125 °F	51,7 °C	
264 psi (1,8 MPa), No recocido	95,0 °F	35,0 °C	
Temperatura de fusión (calorimetría de barrido diferencial, DSC)	257 °F	125 °C	Método interno



## DOW MDPE DPDA-3135 NT 7 Medium Density Polyethylene Resin

**Visión general** DOW™ DPDA-3135 NT 7 Resina de Polietileno de Media Densidad (MDPE) es fabricada por medio de la Tecnología de Procesos UNIPOL™ de Dow y ha sido concebida para el moldeo rotacional o por inyección. Se ha diseñado específicamente para aplicaciones que requieren una excelente capacidad de procesamiento y estética combinada con una baja deformación y buenas propiedades mecánicas.

**Procesamiento y Estabilización:** La resina DOW DPDA-3135 NT 7 MDPE ofrece máxima resistencia al calor y estabilidad frente a los rayos UV, lo que genera un amplio rango de procesamiento, una buena retención de color y una larga vida útil.

- Moldeo rotacional o moldeo por inyección
- Para contenedores intermedios para productos a granel, juguetes, moldeado a medida para usos generales, tanques de almacenamiento agrícola, tanques de agua, piezas marítimas, artículos de consumo para uso interior
- Excelente resistencia al impacto, resistencia al resquebrajamiento bajo tensión y capacidad de procesamiento
- Estabilización frente a rayos UV a largo plazo: paquete de estabilizadores UV-8

Cumple con:

- Regulación 21 CFR 177.1520 (c)3.1 de la Administración de Alimentos y Medicamentos (FDA) de los EE.UU.
- Procedimiento de No Objeción de la Dirección General de Productos de Salud y Alimentos (HPFB) de Canadá
- Underwriters Laboratories Inc.
- Directivas de la Comisión Europea (EU) - Norma NSF/ANSI 61 (artículos 4 y 5) de la Fundación Nacional de Saneamiento Internacional (NSF International)

Para mayor información, por favor consulte las regulaciones.

**Aditivo** • Antibloqueo: No • Deslizante: No • Ayuda proceso: No

Prop. físicas	Valor Típico (Inglés)	Valor Típico (Métrico)	Método de Ensayo
Densidad	0,938 g/cm <sup>3</sup>	0,938 g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792
Densidad Base <sup>1</sup>	0,938 g/cm <sup>3</sup>	0,938 g/cm <sup>3</sup>	Método interno
Índice de fusión (190°C/2,16 kg)	3,5 g/10 min	3,5 g/10 min	ASTM D1238
ESCR <sup>2</sup>			ASTM D1693
10% de Igepal, F50	> 89,0 hr	> 89,0 hr	
100% de Igepal, F50	> 1000 hr	> 1000 hr	
Prop. mecánicas	Valor Típico (Inglés)	Valor Típico (Métrico)	Método de Ensayo
Tensión <sup>2</sup> (Punto de Fluencia)	2930 psi	20,2 MPa	ASTM D638
Módulo de Flexión - Módulo Secante 1% <sup>2</sup>	104000 psi	717 MPa	ASTM D790B
Impacto	Valor Típico (Inglés)	Valor Típico (Métrico)	Método de Ensayo
Impact Strength			ARM
-40°F (-40°C), 0,125 in (3,18 mm), Moldeo Rotacional	60 ft-lb	81 J	
-40°F (-40°C), 0,250 in (6,35 mm), Moldeo Rotacional	186 ft-lb	252 J	
Prop. térmicas	Valor Típico (Inglés)	Valor Típico (Métrico)	Método de Ensayo
Temperatura de deflexión bajo carga <sup>2</sup>			ASTM D648
66 psi (0,45 MPa), No recocido	133 °F	56,1 °C	
264 psi (1,8 MPa), No recocido	101 °F	38,3 °C	
Temperatura de fusión (calorimetría de barrido diferencial, DSC)	260 °F	127 °C	Método interno

## Technical Information



### DOW™ MDPE DNDA-1650 NT Medium Density Polyethylene Resin

**Overview** DOW DNDA-1650 NT 7 Medium Density Polyethylene Resin is well suited for use as a masterbatch for rotomolding applications. This resin incorporates a minimal stabilization package to designed to provide stabilization during processing only.

**Main Characteristics:**

- Masterbatch resin for rotomolding applications

**Complies with:**

- U.S. FDA 21 CFR 177.1520(c)3.1a.
- Europe EU-Directive 2002/72/EC

Consult the regulations for complete details.

Physical	Nominal Value (English)	Nominal Value (SI)	Test Method
Density	0.935 g/cm <sup>3</sup>	0.935 g/cm <sup>3</sup>	ASTM D792
Melt Index (190°C/2.16 kg)	5.2 g/10 min	5.2 g/10 min	ASTM D1238

#### Notes

These are typical properties only and are not to be construed as specifications. Users should confirm results by their own tests.



# Hypel® PEHD.3/.955

Entec Polymers - High Density Polyethylene

Friday, May 08, 2015

## General Information

### General

Material Status	• Commercial: Active
Availability	• North America
Features	• High Density
RoHS Compliance	• RoHS Compliant
Forms	• Pellets

## ASTM & ISO Properties <sup>1</sup>

Physical	Nominal Value	Unit	Test Method
Specific Gravity	0.955		ASTM D792
Melt Mass-Flow Rate (190°C/2.16 kg)	0.35	g/10 min	ASTM D1238
Mechanical	Nominal Value	Unit	Test Method
Tensile Strength (Yield, 73°F)	4000	psi	ASTM D638
Tensile Elongation (Break, 73°F)	600	%	ASTM D638
Flexural Modulus (73°F)	200000	psi	ASTM D790
Impact	Nominal Value	Unit	Test Method
Notched Izod Impact (73°F, 0.125 in)	4.5	ft-lb/in	ASTM D256

### Notes

<sup>1</sup> Typical properties: these are not to be construed as specifications.



UL and the UL logo are trademarks of UL LLC © 2015. All Rights Reserved.  
The information presented on this datasheet was acquired by UL Prospector from the producer of the material. UL Prospector makes substantial efforts to assure the accuracy of this data. However, UL Prospector assumes no responsibility for the data values and strongly encourages that upon final material selection, data points are validated with the material supplier.

Page: 1 of 1

Referencia. [9]

ISGASTAB RM68 FF ADITIVO.

**Optimización de procesos**  
**Gracias a Irgastab ® RM 68**

**Combinación patentada de estabilizadores**  
**especialmente para la sinterización rotacional**

**Optimiza el comportamiento de sinterización del polimero**

Tiempo de procesamiento

Las temperaturas del horno

Ventana de procesamiento

2

**Más rápido densificación de polimero**  
**durante la fusión**

**PIAT: Pico Aire Interior Temperatura**

	Densidad [g / cm <sup>3</sup> ]	Fusión a 288 ° C de temperatura del horno
Molde	0,940	<b>Irgastab® RM 68</b> <b>Estándar</b>
Plástico	0,935	
Par termoeléctrico	0,930	
Aire	0,925	
	0,920	
	0,915	
		180 190 200 210 220 230 240 250
		PIAT [° C]

**Irgastab ® RM 68** 16% de ahorro de energía  
 Costos más bajos + una mayor productividad

3

Referencia. [13]

# Prixene® Negro AC 660C

## Descripción del producto

El **AC 660C** es un concentrado de color **NEGRO** a partir del siguiente pigmento: Negro de Humo. El pigmento contenido han sido previamente tratado en un vehículo de Polietileno de Baja Densidad y Polietileno Lineal de formulación propia resultando con esto una mejor dispersabilidad, libre de grumos, logrando con ello una alto rendimiento del Master Batch.

Las aplicaciones típicas son en la elaboración de bolsa general bolsa camiseta, bolsa para basura, bolsa industrial, etc.

Las características que presenta son buena solidez a la luz y a la migración.

## Propiedades Generales

La forma de producto es en pellets y el proceso apto es para extrusión de bolsa en general. El porcentaje de aplicación es de 2% hasta el 4% dependiendo de la opacidad deseada, espesor del producto fabricado y la carga.

El material no cumple con la regulación FDA título 21.CFR177.1520.

Especificación	Unidad	Valor Típico	Método
Índice de Fluidez	g /10min	Menor a 1.0	ASTM D1238
Densidad	g /cm <sup>3</sup>	1.15 – 1.16	ASTM D1505
Variación de Color	ΔE	0.000 – 1.000	CIE Lab
Apariencia	N/A	Sin contaminación	Visual
Concentración de pigmento	%	45	N/A

## Observaciones:

La información de este documento se suministra de buena fe e indica valores típicos obtenidos de los laboratorios de nuestros proveedores y no debe ser considerada como absoluta ni constituye ninguna garantía. Solo las propiedades y valores que constan en el certificado de calidad constituyen la garantía del producto.

F-CV-14  
VER.2



Polímero y Materias Primas Internacionales, S. A. de C. V., se exime de responsabilidad alguna, respecto de la exactitud y veracidad de la información contenida en la presente hoja técnica, en virtud de que las condiciones de uso quedan fuera de su control. [servicio.tecnico@polymat.com.mx](mailto:servicio.tecnico@polymat.com.mx)

Referencia. [16].