



**Universidad de San Carlos de Guatemala**  
**Facultad de Ingeniería**  
**Escuela de Ingeniería Química**

**SUSTITUCIÓN DE PIGMENTOS POR PREPARACIONES DE  
COLOR EN LA FABRICACIÓN DE ARTÍCULOS PLÁSTICOS  
BAJO EL PROCESO DE ROTOMOLDEO**

**Gustavo Adolfo Contreras Lone**  
**Asesorado por el Ing. Alejandro Molina Marroquín**

**Guatemala, mayo de 2007**

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**SUSTITUCIÓN DE PIGMENTOS POR PREPARACIONES DE COLOR EN LA  
FABRICACIÓN DE ARTÍCULOS PLÁSTICOS BAJO EL PROCESO DE  
ROTOMOLDEO**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A LA JUNTA DIRECTIVA DE LA  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
POR

**GUSTAVO ADOLFO CONTRERAS LONE**  
ASESORADO POR EL ING. ALEJANDRO MOLINA MARROQUÍN

AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE  
**INGENIERO QUÍMICO**

GUATEMALA, MAYO DE 2007

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA**  
**FACULTAD DE INGENIERIA**



**NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA**

<b>DECANO</b>	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
<b>VOCAL I</b>	Inga. Glenda Patricia García Soria
<b>VOCAL II</b>	Inga. Alba Maritza Guerrero de López
<b>VOCAL III</b>	Ing. Miguel Ángel Dávila Calderón
<b>VOCAL IV</b>	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
<b>VOCAL V</b>	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
<b>SECRETARIA</b>	Inga. Marcia Ivonne Véliz Vargas

**TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO**

<b>DECANO</b>	Ing. Jorge Mario Morales García
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Rodolfo Francisco Espinosa Smith
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Héctor Adolfo Ruiz Godoy (Q.E.P.D.)
<b>EXAMINADOR</b>	Ing. Miguel Ángel Ponce Chavarría
<b>SECRETARIO</b>	Ing. Edgar José Aurelio Bravatti Castro

## **HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR**

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presente a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

### **SUSTITUCIÓN DE PIGMENTOS POR PREPARACIONES DE COLOR EN LA FABRICACIÓN DE ARTÍCULOS PLÁSTICOS BAJO EL PROCESO DE ROTOMOLDEO,**

tema que me fuera asignado por la Dirección de Escuela de Ingeniería Química, con fecha marzo de 2006.

**Gustavo Adolfo Contreras Lone**

## **AGRADECIMIENTOS A:**

### **Inga. Lorena Pineda**

Por el apoyo constante en el proceso del Ejercicio Profesional Supervisado, desde la charla inicial del programa, hasta la entrega del informe final. Gracias Ingeniera por no permitirme claudicar en el intento.

### **Al personal de Plástico Industrial Centroamericano S.A.**

Inga. Ana Ethel de Méndez, Ing. Alejandro Molina e Ing. Otto Mazariegos, por permitirme aprender del proceso de rotomoldeo en la interioridad de su compañía y compartir la información necesaria para desarrollar el Ejercicio Profesional Supervisado.

### **Ing. Jorge Rodolfo García Carrera**

Por su inmediata voluntad en la revisión de los diferentes informes presentados a lo largo del Ejercicio Profesional Supervisado y las propuestas de mejora sugeridas.

## **ACTO QUE DEDICO A:**

### **Dios**

Por darme el milagro de vida en mí y en mis hijos y la fuerza espiritual necesaria para abrazar el deseo de ser mejor cada día.

### **Mi madre**

#### **Yolanda Haydee Lone**

Por enseñarme con su ejemplo que puedo ser dueño de mi destino sin depender de lo que otros consideren. Este esfuerzo que hoy termina es el cumplimiento de la promesa hecha hace muchos años.

### **Mi esposa**

#### **Julieta Muralles**

Por lo fácil que se me hace la vida desde que está a mi lado, al cubrirme de amor y aceptarme como soy. Gracias infinitas.  
C.T.A.M.

### **Mis hijos**

#### **Joseline Andrea y Gustavo Adolfo**

Porque desde que nacieron me hicieron creer en los milagros y me obligan a ser mejor cada día para darles un ejemplo digno de imitar.

### **Mis hermanos**

#### **Eddy y Lesbia**

Porque siempre han estado conmigo en los momentos más importantes de mi vida, y han sido un ejemplo con sus acciones.

### **Mis grandes amigos**

Gracias Héctor Chin, Sergio Cabrero, Nacho y Xioma León, porque es maravilloso que existan seres que deciden ser nuestros hermanos cuando la genética no lo permitió.

### **Mi tío**

#### **Ing. Leslie Arturo Vandenberg Lone (Q.E.P.D.)**

Porque desde niño siempre quise imitar, a aquel hombre que una vez, de la vida se rió. Pasa el tiempo y aquel sueño de niñez, se convierte sin querer en un reto al dolor. Comparto contigo este éxito que el destino no te permitió gozar.

## ÍNDICE GENERAL

<b>ÍNDICE DE ILUSTRACIONES</b>	III
<b>GLOSARIO</b>	V
<b>RESUMEN</b>	VII
<b>OBJETIVOS</b>	IX
<b>INTRODUCCIÓN</b>	XI
<b>1. MARCO TEÓRICO</b>	
1.1. Antecedentes	1
1.2. Principios de Rotomoldeo	3
<b>2. ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA EMPRESA</b>	17
<b>3. FASE DE INVESTIGACIÓN</b>	
3.1. Metodología (Desarrollo)	19
3.2. Resultados (Mezcla óptima de materiales)	19
<b>4. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL</b>	
4.1. Metodología (Desarrollo)	25
4.2. Resultados	26
<b>5. FASE DE DOCENCIA</b>	
5.1. Metodología (Desarrollo)	33
5.2. Resultados (Capacitación)	33
<b>CONCLUSIONES</b>	35
<b>RECOMENDACIONES</b>	37
<b>BIBLIOGRAFÍA</b>	39





# ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

## FIGURAS

1	Piezas rotomoldeadas	5
2	Diseños posibles con rotomoldeo	6
3	Equipo para rotomoldeo	9
4	Preparados de color	24
5	Homogeneidad en la dispersión	28
6	Ambiente de operación	30

## TABLAS

I	Calidad vrs. tiempo de mezcla	26
II	Variación en el costo del nuevo ciclo de mezcla	27
III	Calidad vrs. formulación	29
IV	Variación en el costo utilizando preparados de color	29
V	Comparación costo de limpieza	31



## GLOSARIO

<b>Commodities</b>	Categorización que se da a productos que no son especializados sino que pueden ser encontrados fácilmente en el mercado, provenientes de diversos fabricantes en todo el mundo.
<b>Preparaciones de color</b>	Mezcla de resina y pigmentos que es plastificada para lograr una incorporación completa del colorante.
<b>Rotomoldeo</b>	El moldeo rotacional o rotomoldeo, es un proceso donde un molde hueco es llenado con resina líquida o en polvo y rotado en dos direcciones en una cámara caliente, hasta que la resina cubre la superficie del molde y se cura formando una pieza.



## RESUMEN

Este trabajo de Ejercicio Profesional Supervisado fue realizado en Plástico Industrial Centroamericano S.A. (PICASA), empresa fundada en el año 1967 dedicada a la transformación de resinas y láminas plásticas en productos especializados.

En los años 90, la empresa introduce en el mercado guatemalteco grandes tanques para manejo de agua y desechos líquidos obtenidos a través del proceso de moldeo rotacional o rotomoldeo, donde un molde hueco es llenado con resina líquida o en polvo y posteriormente, rotado en dos direcciones en una cámara u horno caliente, hasta que la resina cubre la superficie del molde y se cura formando una pieza.

Como el mercado presenta la necesidad de contar con artículos de diferente color y presentación, la empresa ha agregado una etapa previa de coloración a la resina plástica utilizando colorantes en polvo o pigmentos. Este proceso de coloración se ha llevado a cabo en un equipo de mezclado sencillo medianamente controlado, dando como resultado piezas con deficiencias perceptibles en el nivel de homogenización del color, básicamente originadas por la volatilidad de las partículas de pigmento.

Para ofrecer una opción de mejor calidad al mercado, la empresa requería que se realizara un análisis de diferentes métodos de coloración, con el fin de determinar cuál de ellos proporciona la combinación óptima de costo-beneficio. Enfocando el trabajo de EPS en este requerimiento de la empresa, se ha encontrado que el uso de preparaciones de color, conocidos como preparados de color, masterbatches o lotes maestros de resina pre-coloreada, ofrecen una solución de fácil incorporación a la operación de PICASA.

Como resultado del uso de las preparaciones de color mencionadas, los productos resultantes presentan homogenización en la incorporación del color en la resina pulverizada a razón de 149 de 150 fabricados (99.33%), contra 113 de 150 de la formulación original (75.33%).

Considerando esta relación de piezas buenas como un factor de corrección para el cálculo de costos de producción, se llegó a determinar que el uso de las preparaciones de color puede llegar a representar casi Q 88 por pieza.

Además, la sustitución de partículas diminutas que forman el pigmento (alrededor de 2 micras) por partículas de tamaño considerablemente mayor (mesh 35), puede significar un ahorro de hasta el 61% en los costos de limpieza incurridos cuando se efectúan cambios de color.

## **OBJETIVOS**

### **GENERAL**

Determinar la relación costo-beneficio óptima en el uso de diferentes materiales de producción, que proporcione el mejor grado de incorporación del colorante, resultando en artículos rotomoldeados que presenten una apariencia homogénea.

### **ESPECÍFICOS**

1. Determinar las condiciones óptimas de operación del equipo de mezcla que conlleven a una mejor dispersión de los colorantes en la resina y la relación costo-beneficio de cualquier modificación realizada en el proceso.
2. Evaluar el efecto de la utilización de concentrados de color en la apariencia final de las piezas coloreadas y la relación costo-beneficio de tal variación en el proceso.
3. Obtener la teoría necesaria y la fuente bibliográfica adecuada, para el diseño de equipos de mezcla de sólidos. Igualmente, se requerirá determinar las condiciones de operación óptimas sugeridas para efectuar premezcla de materiales destinados a la transformación de plásticos por rotomoldeo.
4. Determinar la mejor mezcla resina-pigmento-concentrado de color de forma que se logre la mejor apariencia en la pieza terminada.



5. Compartir con el personal administrativo de planta los hallazgos hechos en cuanto a la forma de optimizar la mezcla de materiales y la mezcla óptima resina-colorante-concentrado de color, a efecto de lograr la mejor dispersión reflejada en la calidad de la pieza final.

## INTRODUCCIÓN

La empresa Plástico Industrial Centro Americano S.A. (PICASA) fue fundada en 1967, y basa su actividad en la transformación de resinas y láminas plásticas en productos especializados. Complementa estas líneas con procesos de impresión serigráfica y digital.

Inicia sus actividades fabricando productos termoformados de gran tamaño, como carátulas para rótulos, domos para iluminación natural y otros.

En los años noventa introduce en el mercado centro americano, el novedoso depósito de polietileno para el sector de vivienda e industria. Complementa la línea de rotomoldeo con productos tales como tarima, letrina, fosa séptica y separador vial. A principios del nuevo siglo continua introduciendo productos novedosos como base para dispensador, caseta y pila plástica.

En el año 2001, implementa una línea de termoformado continuo para fabricación de tapas desechables para vasos de polipapel. Desde entonces ha sostenido un vigoroso crecimiento y desarrollo de productos nuevos, destacando el enfoque en el sector construcción, industrial, sanidad y publicitario.

Actualmente, opera en un complejo industrial, con equipos para rotomoldeo, termoformado de gran tamaño, termoformado continuo, impresión serigráfica y digital.



# 1. MARCO TEÓRICO

## 1.1 Antecedentes

No fue hace poco que el moldeo rotacional se definió como "el proceso usado para hacer tanques y estibas", y era básicamente a esas aplicaciones que estaba limitado. Sin embargo este segmento, si bien permanecerá fuerte en el futuro del moldeo rotacional, se comportará como un mercado de "commodities", donde hay muchos competidores y sólo tendrán éxito aquellas compañías que puedan producir al menor costo. Además, no experimentará el crecimiento que se ha registrado en el rotomoldeo en otras partes del mundo. El crecimiento ha tenido lugar porque el proceso ha evolucionado para aplicarse a propósitos muy diferentes y a mercados muy variados.

Hay áreas del mundo donde el rotomoldeo se ha asumido bajo una nueva percepción por diseñadores y empresarios, y ha sido aceptado por muchos fabricantes de equipo original (OEMs) como un proceso viable para abrir nuevas oportunidades. Esta evolución, que empezó en Estados Unidos en la década de 1980, se extendió a Europa, Australia, Nueva Zelanda y Sur África, donde los rotomoldeadores han alcanzado un éxito notable, lejos del mercado de fabricación de tanques y estibas.

Debido al tamaño relativamente grande y a su bajo peso, los productos rotomoldeados continúan estando geográficamente segregados, desmotivando las importaciones y abriendo nuevos mercados para aquellos que escogen hacer el esfuerzo y lograr que el crecimiento suceda.

Una encuesta realizada entre 105 industriales de moldeo rotacional en la región, permite identificar que el principal desafío para el crecimiento del sector está en la

diversificación de productos, que la mayor parte de las empresas rotomoldeadoras existe hace menos de cinco años y que el 25% tiene ventas superiores a US\$500.000 anuales.

Para indagar sobre las características de la industria de rotomoldeo latinoamericana, la revista industrial Tecnología del Plástico formuló una encuesta que respondieron 105 industriales vinculados al proceso de transformación por moldeo rotacional en la región.

La muestra se compone de la siguiente manera: 67 de las empresas encuestadas fabrican artículos rotomoldeados; 25 se dedican a la producción, preparación y/o comercialización de materia prima; en la fabricación de moldes trabajan 10 de las empresas de la muestra, y 3 suministran maquinaria.

Una parte importante en la encuesta, la constituyó la serie de preguntas tecnológicas que tuvieron que responder los participantes. De ellas pudo interpretarse que el principal problema tecnológico de las empresas rotomoldeadoras se encuentra en el control de proceso: el 31% de los moldeadores rotacionales encuestados identificó ésta como la principal limitante de la tecnología que emplea actualmente. Las dimensiones del producto rotomoldeado son un problema de importancia similar, y un 29% de las empresas lo identificó como su principal limitante tecnológica. Para el 24% de las empresas la tasa de producción es lo que limita su crecimiento, y el porcentaje restante (16%) identifica otros factores como los de mayor relevancia. Dentro de ese control de proceso mencionado, se puede citar el nivel de dispersión que se obtiene en el procesamiento por rotomoldeo. Este nivel de dispersión es el que resulta al final del proceso, en la obtención de una pieza con características homogéneas en su apariencia.

Por otro lado, la encuesta también indica que la principal necesidad de los industriales de rotomoldeo es encontrar soporte técnico; así lo declara el 33% de las empresas que respondieron la encuesta. Encontrar moldes de calidad es otro requerimiento de primera instancia, según lo identifican el 28% de los encuestados. El 19% piensa que el suministro de materia prima es su principal problema, y el 14% piensa que su mayor

urgencia es contar con equipo de procesamiento de calidad. El 6% restante identifica otras como sus necesidades principales.

## **1.2 Principios de rotomoldeo**

El moldeo rotacional o rotomoldeo es un proceso donde un molde hueco es llenado con resina líquida o en polvo y posteriormente rotado en dos direcciones en una cámara u horno caliente, hasta que la resina cubre la superficie del molde y se cura formando una pieza.

Se considera un proceso económico y ofrece una gran ventaja al no requerir aplicación de esfuerzos sobre la resina a ser transformada, obteniéndose así artículos plásticos huecos, sin costuras, sin esfuerzos residuales, con un espesor de pared uniforme y con amplias posibilidades de diseño de producto.

La transformación de plásticos por rotomoldeo ofrece alta versatilidad de producción, y representa una opción interesante, comparada con procesos similares de transformación, tales como el moldeo por inyección, termoformado o inyección soplado.

El moldeo rotacional es un proceso simple de cuatro etapas que usa un molde cerrado de paredes delgadas y alta capacidad de transferencia de calor. Requiere una entrada para la alimentación de la materia prima a ser transformada, y debe ofrecer la posibilidad de ser abierto para que se puedan retirar las partes curadas.

En general se coloca una cantidad conocida de plástico en polvo y seco que rota simultáneamente en dos ejes perpendiculares; con la rotación lenta del molde, el material se funde adhiriéndose a las paredes calientes y cubre toda la superficie homogéneamente. Este principio de operación hace que el material pueda adquirir una diversidad importante de configuraciones para formar piezas de diferentes tamaños, y que quede distribuido en toda la superficie con un espesor uniforme.

En el molde se introduce la cantidad necesaria de material plástico a procesar, que generalmente es un termoplástico en polvo finamente molido, mezclado con los aditivos necesarios para el artículo, tales como colorantes, estabilizadores contra los rayos ultravioleta, etcétera; sin embargo, también se pueden procesar dispersiones de termoplásticos en solventes no volátiles y algunas resinas termoestables. La cantidad de material introducida es el peso deseado de la pieza final. El material es montado en un molde abierto y frío cubierto previamente en su interior con agente desmoldante. Luego el molde es cerrado y llevado al interior de un horno para ser calentado.

Una vez preparado el molde, se somete a la aplicación de calor y simultáneamente se hace rotar sobre dos ejes perpendiculares a fin de permitir que el material se vaya adhiriendo poco a poco a la pared interna y se fusione en una masa continua. La fusión es un proceso que une material sólido, y no implica que el material pase al estado líquido (fundición) y luego se resolidifique; por lo tanto las partículas en el proceso de rotomoldeo no se funden realmente, sino que se sinterizan en los puntos de contacto, hasta formar una red tridimensional porosa. Finalmente, por capilaridad el material viscoso llena los poros remanentes.

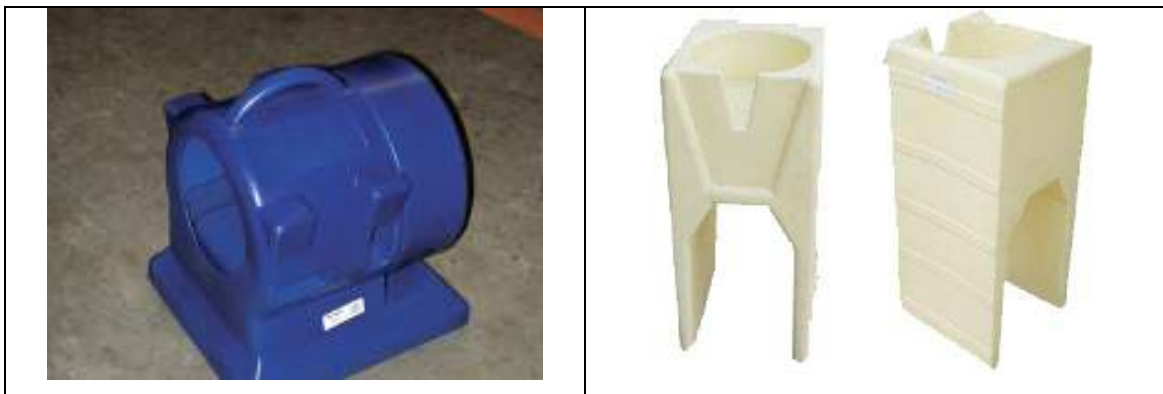
El ciclo de calentamiento es la etapa de mayor duración en el proceso de rotomoldeo. El proceso de calentamiento de la resina y fusión de las partículas toma normalmente entre 7 y 15 minutos, aunque se conocen ciclos hasta de 30 minutos. La duración de esta etapa está directamente relacionada con el espesor deseado de la pieza final, pues a medida que el plástico se deposita sobre las paredes del molde, debido a su pobre capacidad de conductividad térmica, actúa como un aislante que disminuye la transferencia de calor hacia el material que todavía no se ha incorporado a las paredes.

Cuando todo el material plástico ha tomado la forma interna del molde, se procede a enfriarlo para que se endurezca y quede terminado con las características buscadas;

durante esta etapa continúa la rotación, para garantizar uniformidad en la conformación de la pieza. Como medio de enfriamiento es posible usar agua fría dispersada en gotas sobre la superficie del molde (para lograr un enfriamiento rápido), una corriente de aire con vapor de agua condensado (con menor rapidez de enfriamiento) o aire frío (consiguiendo un enfriamiento lento).

Al estar la pieza terminada, se procede a sacarla del molde y se puede iniciar un nuevo ciclo de producción. Esta última etapa, aparentemente muy sencilla, puede llegar a requerir métodos de alta tecnología cuando las piezas fabricadas tienen diseños intrincados o son de gran tamaño.

**Figura 1. Piezas Rotomoldeadas**

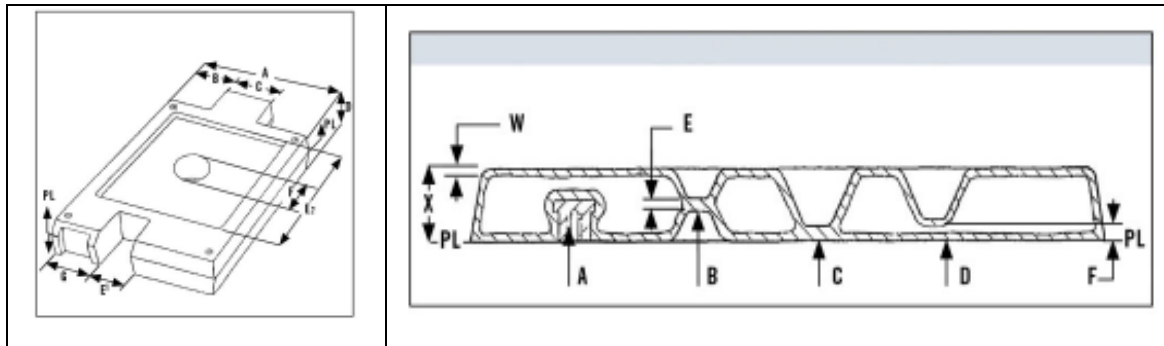


El proceso, como se mencionaba anteriormente, permite que haya una distribución uniforme del material en el molde; de esta forma se garantiza homogeneidad en el espesor de las paredes de la pieza, y las esquinas, que generalmente están sometidas a impactos durante el servicio, no se adelgazan. Además, las piezas se fabrican sin costuras ni juntas, y el proceso de rotación biaxial garantiza isotropía en las propiedades. Como el material no es sometido a presiones durante su transformación, el producto final no tiene esfuerzos residuales. Todo esto hace que las piezas obtenidas tengan propiedades uniformes y menos concentradores de esfuerzos.



El diseño de la pieza puede tener complicaciones impensables en la producción con otros procesos. De la misma forma, es posible producir en una sola pieza un producto que anteriormente se hacía ensamblando cuatro o cinco partes conformadas por otros métodos. Los parámetros de proceso se pueden controlar para producir piezas de casi cualquier tamaño, desde máscaras o tapones para oídos hasta carcazas para autos y botes, y es posible incluir roscas, insertos, refuerzos, manijas, o dar acabados superficiales dentro del diseño del molde, evitando procesos posteriores. Añadiendo aditivos a la materia prima se pueden modificar directamente las propiedades físicas del producto; los colorantes, por ejemplo, se pueden añadir en la etapa de alimentación, eliminando un proceso de pintura posterior y una capa separada, que puede agrietarse o desprenderse en detrimento de la apariencia del producto.

**Figura 2. Diseños posibles con Rotomoldeo**



Como en el proceso no se manejan altas presiones de transformación, el molde es una pieza más liviana y conformable, con menores requerimientos de resistencia que en otros procesos, como el moldeo por inyección; además, puede ser alterado fácilmente para hacer modificaciones sobre el cuerpo o la superficie de la pieza, y no es necesario tener un núcleo para moldear el agujero interno. Los tiempos de entrega de un molde para producción también son menores; Custom Rotomolding, por ejemplo, asegura que puede diseñar la pieza, construir la herramienta necesaria y empezar la producción en un lapso menor a tres meses, mientras que el mismo proceso para moldeo por inyección puede

tomar seis meses. Estas reducciones en inversión de herraje para procesamiento, generan una reducción dramática en las restricciones de producción, haciendo rentable producir lotes pequeños (diez productos o menos) o lotes de gran tamaño.

Los diseños producidos pueden tener más de una pared, y el espacio intermedio puede estar relleno de polímeros espumados. Los productos objetivo del proceso de rotomoldeo se construyen para reemplazar otros fabricados en materiales como metal o fibra de vidrio; de esta forma se obtienen productos con las atractivas ventajas del plástico: inertes químicamente, resistentes a corrosión, con alta flexibilidad en los colores y acabados superficiales excelentes, resistentes al impacto, tenaces, durables y más livianos y portables.

### **Maquinaria y equipos**

En las máquinas para rotomoldeo, además de su desempeño en producción, se consideran importantes tres parámetros: capacidad de calentamiento, tiempo promedio por ciclo y velocidad de rotación del molde. La optimización y ajuste de estas variables, ha dado origen a las diferentes clases de máquinas que se usan hoy en día:

**Máquinas de giro y vaivén (*Rock and Roll*):** las primeras máquinas diseñadas para rotomoldeo pertenecen a esta categoría. En estas máquinas, el molde gira 360° con respecto al eje secundario, mientras que el eje principal solo presenta un movimiento de 45° a la izquierda y a la derecha. El ángulo de movimiento del eje principal (vaivén), puede variarse de acuerdo al producto a elaborar. Como sistema de calentamiento, generalmente se emplean mecheros de gas u hornos. Las máquinas de giro y vaivén resultan prácticas para la fabricación de piezas grandes.

**Máquinas de horno tipo caja (*Box oven machines*):** Como su nombre lo indica, este tipo de máquinas emplean hornos y el calentamiento del molde ocurre por convección a través del aire; para el proceso de enfriamiento se emplea un baño de agua en el cual se

sumerge el molde. El tiempo de producción promedio de una pieza está relacionado con el número de moldes que se emplean y la duración de la etapa de calefacción. Con este tipo de máquinas se fabrican balones, piezas de juguetes y autopartes.

**Máquinas tipo lanzadera (*Shuttle machines*):** en estas máquinas el desplazamiento del molde entre las cuatro zonas (carga, calefacción, enfriamiento y descarga) se realiza por medio de guías, disminuyendo los requerimientos de mano de obra, aunque son necesarias dos zonas de enfriamiento. Estas máquinas son simples de fabricar y manejar, y adicionalmente presentan bajos costos de mantenimiento. Permiten la fabricación de piezas pequeñas y grandes de forma económica.

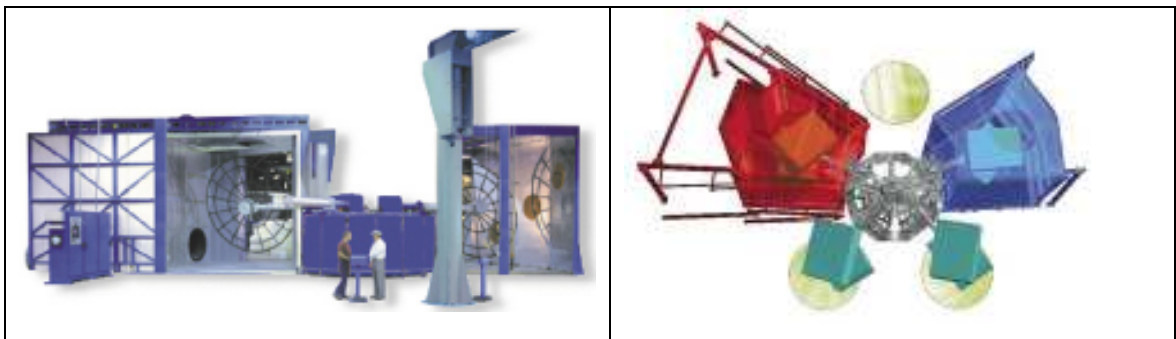
**Máquinas tipo cofre (*Clamshell machines*):** Desarrolladas hace alrededor de 20 años, estas máquinas presentan la particularidad de que todo el proceso ocurre en la misma cámara, que sirve como horno (por medio de calentadores externos y la conducción del calor a través del aire), y como cámara de enfriamiento con circulación de aire frío y aspersores de agua. Estas máquinas requieren bajos niveles de inversión inicial, poco espacio y mano de obra mínima, y permiten la fabricación de productos de buena calidad, pero requieren de una mayor duración del ciclo y mayores gastos en consumo de energía y servicios industriales, debido a que debe acondicionarse el mismo recinto para calentamiento y enfriamiento. Son útiles para fabricar productos que necesiten un control del proceso riguroso, para producciones de bajos volúmenes y especialmente para el desarrollo de prototipos y actividades de investigación y desarrollo.

**Máquinas verticales:** los modelos originales presentaban 3 ó 6 brazos, dispuestos todos sobre una misma cámara como en las máquinas tipo cofre, pero en su interior las zonas se encuentran separadas. En la de tres brazos se tienen zonas de carga/descarga, calentamiento y enfriamiento. En la de seis brazos, la etapa de calentamiento posee tres zonas (operan a diferentes temperaturas) y la de enfriamiento dos zonas. Este tipo de máquinas es apropiado para rotomoldear piezas de PVC, ya que este material requiere

bajas temperaturas para lograr una adecuada distribución sobre el molde; permite minimizar los requerimientos de espacio, y es apropiada para elaborar juguetes, muñecos, balones y autopartes.

**Máquinas tipo carrusel (*Turret machines*):** Estas máquinas fueron introducidas al mercado en la segunda mitad del siglo pasado. Constan de tres estaciones separadas físicamente, a diferencia de las máquinas verticales. Para la selección de esta máquina es necesario que las duraciones de los ciclos de calentamiento y enfriamiento sean similares, que la disponibilidad de espacio no sea crítica y que se necesiten altos niveles de producción. Estas máquinas son por lo tanto muy efectivas, de alto rendimiento y bajo costo de mantenimiento. Si la duración de uno de los ciclos (carga/descarga, calentamiento y enfriamiento), es muy superior a la de los otros dos, se acostumbra emplear un brazo adicional y duplicar la etapa de mayor duración, para incrementar la efectividad del proceso. Hoy en día, los brazos de estas máquinas pueden programarse de manera independiente entre sí, incrementando la flexibilidad de operación.

**Figura 3. Equipo para Rotomoldeo**



La dotación requerida para la producción de piezas de rotomoldeo incluye entre otros un molino, para adecuación de materia prima, el molde donde se conforma la pieza, y un horno para calentamiento de la pieza. Las características relevantes para cada uno de estos equipos se presentan a continuación:

**Molino:** Normalmente los proveedores de resinas suministran los termoplásticos en la forma de gránulos (pellets), presentación inapropiada para el moldeo rotacional, debido a que el proceso se basa en la capacidad del polímero para adquirir la forma del molde sin la aplicación de ninguna presión; el estado idóneo para garantizar fluidez durante la rotación es el de polvo. Además durante el proceso, la materia prima es calentada por encima de la temperatura interna del molde y para garantizar una efectiva transferencia de calor es necesario que el polímero esté en forma de polvo, pues el material granular, que tiene menor área superficial, necesitaría temperaturas mayores, generando una fundición poco deseable en el proceso. Existen excepciones como el nylon, que puede ser procesado en forma granular debido a propiedades como rápida fundición y baja viscosidad.

Para producir el tipo de polvo requerido para este proceso, los gránulos deben ser sometidos a un proceso de molienda, en el cual se alimentan dos rodillos que giran a alta velocidad y que poseen una pequeña separación. La acción cortante de los rodillos reduce los gránulos a polvo, que posteriormente es tamizado para obtener partículas del tamaño adecuado para ser rotomoldeadas. La habilidad del molino, y la eficiencia y calidad del equipo de molienda tienen un efecto importante en la facilidad de moldeo del polvo. Además de la distribución del tamaño de partícula, la forma de las mismas también es importante. Excesivas colas son indeseables, porque pueden afectar severamente las características de flujo del polvo. Para corregir este problema es necesario controlar la temperatura y la velocidad de alimentación en el proceso de molienda.

**Molde:** El material más común para la elaboración de moldes es el aluminio fundido. Otros materiales usados son hojas de metal, aluminio maquinado, acero dúctil o inoxidable (especialmente cuando deben ser elaboradas muchas partes o el molde va a

ser encamisado), níquel, y cobre o sus aleaciones, cuando es deseable aumentar la transferencia de calor para obtener formas muy complejas.

**Hornos:** Se emplean hornos convencionales de gases, en donde el aire que rodea el molde es calentado y transfiere el calor por convección al molde; estos hornos son los más populares. No obstante presentan el inconveniente de que la corriente de aire no siempre transfiere calor de igual manera hacia toda la geometría del molde, por lo que ciertas zonas reciben mayor transferencia de calor que otras, especialmente cuando existen áreas de difícil acceso que crean zonas de aire encerrado y con dificultad de fluir.

Actualmente se cuenta con el moldeo rotacional por infrarrojo (hornos infrarrojos). Este método permite expandir significativamente los diseños y la capacidad de producción del proceso debido a que favorece el control puntual del calentamiento en áreas difíciles o de formas complejas; permite incrementar la transferencia de calor en ciertas áreas y consecuentemente aumentar el espesor de la pared o reducir el tiempo del ciclo de calentamiento. Con el sistema infrarrojo, el calor puede ser concentrado en ciertas áreas empleando tintas oscuras que absorban los rayos, o puede ser disminuido en ciertas zonas empleando materiales reflectivos que reflejen los rayos. Esto permite un mejor control de la temperatura y una operación más precisa cuando se va a trabajar con moldes de espumados.

#### Características de materiales para rotomoldeo

Aunque la variedad de resinas para rotomoldeo es amplia, las exigencias sobre las propiedades específicas de los grados que son apropiados para el moldeo rotacional son en cierto modo restrictivas. Una buena resina para el rotomoldeo puede definirse por los siguientes parámetros:

Facilidad de molienda: La facilidad de un material para la molienda se refiere a su capacidad para ser molido hasta un polvo fino. Los grados de resina que tienen bajo

índice de fluidez no se muelen fácilmente. En algunos casos una resina con bajo índice de fluidez puede ser molida bajo una atmósfera de nitrógeno líquido o algún otro método de enfriamiento para que el material no se caliente excesivamente durante el proceso.

Distribución de partícula: La distribución de tamaños de partícula del polvo debe ser estrecha. La presencia de partículas muy pequeñas con partículas relativamente grandes, trae como consecuencia que la absorción de calor de las partículas sea poco homogénea, lo que podría originar un recubrimiento no uniforme de las paredes del molde.

Tamaño de partícula: El tamaño de partícula es una medida de la abertura de malla a través de la cual pasa el 95% de las partículas. Los tamaños de malla comunes para polvos usados en rotomoldeo van de 16 a 50, correspondiendo a tamaños de partícula entre 1,9 y 0,30 mm respectivamente. Un tamaño de partícula del polvo de 35 mesh es apropiado para al rotomoldeo.

El PE por ejemplo, se encuentra disponible en forma de polvo. Las densidades del PE sólido están en el rango de 920 a 960 Kg/m<sup>3</sup>, y el grado seleccionado depende del uso final del producto. El índice de fluidez para el PE puede variar entre 2 y 8 g/10 min para aplicaciones de rotomoldeo. Un valor por encima de 10, indica un PE con pobre resistencia al impacto a bajas temperaturas y baja resistencia al craqueo por esfuerzo ambiental (ESCR). Si el índice de fluidez es inferior a 2, la viscosidad es demasiado alta, por lo que se dificulta la elaboración de piezas con detalles en sus superficies

Fluidización: Para que el material se adhiera apropiadamente al molde, el polvo debe fluir fácilmente sin ninguna presión externa diferente a la gravedad. Esta propiedad es llamada fluidización, y se mide contabilizando el tiempo requerido para que un peso dado del polvo del material fluya a través de un embudo estándar. Si se emplea el procedimiento de prueba indicado en la Norma ASTM 1895, una velocidad de flujo mínima de 185 gramos/minuto caracteriza polvos apropiados para el moldeo rotacional.

Densidad a granel (bulk density): Es una medida de la densidad del polvo antes de ser calentado o compactado, es decir, es la densidad del polvo justo después de ser molido. Entre mayor sea la densidad a granel del material mejor es su procesabilidad para el rotomoldeo, porque se favorece la compactación en estrechos paquetes, ayudando a la fusión de la resina.

Facilidad de fusión: las partículas deben fusionarse fácilmente durante el ciclo de calentamiento. Si el peso molecular del plástico es demasiado alto (índice de fluidez bajo) las partículas necesitarán más energía para moverse juntas y llegar a fusionarse, y por lo tanto serán necesarias altas temperaturas, pudiendo incluso provocar degradación térmica del material. Si el peso molecular es demasiado bajo, el material se fundirá antes de fusionarse; si el material se funde, formará pequeños charcos en el molde y ambiental (ESCR). Si el índice de fluidez es inferior a 2, la viscosidad es demasiado alta, por lo que se dificulta la elaboración de piezas con detalles en sus superficies. Además, para cada resina un rango de pesos moleculares debe ser establecido. Este rango generalmente es expresado como un rango del índice de fluidez. Para el HDPE, el rango de índice de fluidez normal es de 3 a 7. Dentro de este rango las resinas con alto índice de fluidez son seleccionadas cuando la pieza es muy compleja y buen flujo es requerido en ciertas áreas complicadas. Resinas con bajo índice de fluidez son apropiadas cuando se necesita mejorar la resistencia al impacto, al agrietamiento por esfuerzos y a la carga. Desde el punto de vista del desempeño físico, las resinas con bajo índice de fluidez son preferidas, aunque son difíciles de moldear y no pueden ser usadas para la elaboración de algunas piezas.

Entrecruzamiento: Un método para obviar el problema de la necesidad de un bajo índice de fluidez por las propiedades del producto final y la necesidad de un alto índice de fluidez por facilidad de procesamiento, consiste en moldear una resina de alto índice de fluidez y, cuando la fusión ya haya ocurrido, incrementar el peso molecular por



entrecruzamiento químico de la resina. Las resinas usadas normalmente en rotomoldeo (como el polietileno), generalmente no presentan entrecruzamiento por métodos químicos, pero bajo ciertas circunstancias esto puede lograrse con la adición de un peróxido (agente iniciador), calor y algo de tiempo, aunque la duración del ciclo de calentamiento generalmente es suficiente para que ocurran las reacciones de entrecruzamiento.

Espumado del PE: Es posible incrementar la rigidez y resistencia al impacto de una pieza de PE rotomoldeada mezclando un pequeño porcentaje de un agente espumante con el polvo de PE antes del proceso. El porcentaje de agente de espumado a usar depende del espesor de la espuma necesitada. El proceso de rotomoldeo puede hacerse adicionando la mezcla de polímero y agente espumante, o primero iniciando el proceso con la resina del polímero sola y adicionando la mezcla de polímero con agente espumante una vez se haya formado una capa inicial en el molde.

#### Forma y diseño del producto

Mientras una alta flexibilidad de diseño es posible con el rotomoldeo, algunas limitaciones importantes deben ser tenidas en cuenta: las secciones largas y planas deben ser evitadas, ya que tienden a pandearse cuando se remueven del molde. Cuando la pieza tiene secciones con estas características, se debe diseñar un refuerzo estructural.

El control del espesor de pared es usualmente mejor que el obtenido por soplado o termoformado, pero no tan bueno como el de moldeo por inyección. Con el rotomoldeo, es normal tener variaciones menores al 10% en el espesor. Los principales factores que influyen en esta falta de homogeneidad son las variaciones térmicas en el horno y la cámara de enfriamiento y deficiencias en las velocidades rotacionales de los dos ejes. El espesor de una pieza está limitado por la habilidad de la resina para transmitir calor. Las piezas rotomoldeadas generalmente tienen espesores entre 0,3 y 1,2 pulgadas (7,5 y 30 mm). Incrementar el espesor puede tener un efecto significativo en el ciclo; por ejemplo

un incremento de 0,33 pulg (0,75 mm) en espesor para una pieza hecha de nylon requiere un incremento del ciclo de calentamiento de 2 minutos. Si el ciclo de calentamiento llega a ser demasiado largo, las piezas pueden comenzar a degradarse; adicionalmente el límite del espesor alcanzado esta también limitado por la sensibilidad térmica de la resina. Es por tanto necesario estudiar los parámetros involucrados para llegar a un balance óptimo durante la operación.



## **2. ANÁLISIS PRELIMINAR DE LA EMPRESA**

Dentro del proceso de transformación por rotomoldeo, en PICASA se han utilizado desde el inicio de la operación, colorantes en forma de pigmentos, para proporcionar al artículo final las características estéticas que el mercado demanda.

La incorporación del pigmento se logra a través de un proceso de mezcla previo a la etapa de carga, el cual se realiza en una mezcladora de tipo universal, donde se agregan la resina 100% virgen y el colorante requerido, totalizando 110 kg. El proceso de mezcla tiene una duración de 15 minutos, tiempo que debe ser suficiente para lograr una buena incorporación del colorante, de forma que a simple vista no logren detectarse señales de defectos, tales como espacios “crudos” (sin color), líneas de dispersión (manchas de color más oscuro, visibles a simple vista o a veces sólo al exponer la pieza a la luz), o espacios de color más intenso resultado del esfuerzo de corte que pueda ejercer el material sobre el pigmento al momento de romper aglomerados.

De la experiencia obtenida por los personeros de la empresa a lo largo de la operación continua del proceso descrito anteriormente, se ha podido determinar lo siguiente:

- 1) El proceso de mezcla resina-pigmento no proporciona al final de la operación de rotomoldeo, un producto completamente homogéneo. Esto lo han podido inferir al observar la aparición de vetas de color más intenso a lo largo de la superficie del artículo rotomoldeado. También ha sido notoria la presencia de puntos sin color.
- 2) El proceso de mezcla resina-pigmento genera contaminación en el ambiente de trabajo.

Las variaciones en la falta de homogeneidad de las piezas, generan en la empresa la necesidad de realizar trabajos de reproceso, de forma que pueda aprovecharse el material

de las piezas imperfectas. Esta operación de reproceso no ha sido costeadada por lo que no se conoce el impacto en las utilidades de la empresa.

Igualmente, la limpieza requerida posteriormente terminada la operación de mezcla, obliga a la empresa a destinar recursos y tiempo a una operación que al final no agrega ningún valor a las piezas producidas, y que simplemente genera un incremento en los costos.

Luego de realizadas las primeras visitas a las instalaciones de la empresa, ha sido evidente que no se cuenta con instalaciones o equipo adecuado para la manipulación de pigmentos, los cuales normalmente presentan un tamaño de partícula muy pequeño del orden de 2 micras. Esto permite entonces, que el pigmento pueda moverse libremente por el ambiente, arrastrado por corrientes de aire.

Pudo observarse igualmente, que el equipo de mezcla con que cuenta la empresa fue diseñado por personal operativo de la misma, y no ha sido posible medir la efectividad de la dispersión resina-pigmento que se obtiene, con lo cual no se ha logrado la certeza que el artículo final presentará una distribución homogénea del color.

### **3. FASE DE INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 Metodología**

- Estudio bibliográfico para determinar las mejoras necesarias a introducir tanto en el equipo como en el procedimiento de mezcla, según la información que pueda obtenerse de la industria del rotomoldeo.

#### **3.2 Resultados**

Esta investigación bibliográfica tuvo como resultado conocer que normalmente los profesionales del rotomoldeo tienden a asumir que el pigmento es el culpable de las variaciones en el color, pero éste es sólo una de tantas variables a ser controladas.

Una industria de rotomoldeo más sofisticada ha elevado las expectativas de calidad de los clientes en industrias como la de los juguetes, recreación, automotriz y productos de consumo. Obtener uniformidad en el color es un requerimiento crítico en este tipo de industrias. Pero los profesionales del rotomoldeo puede que no estén preparados para alcanzar estos estándares elevados de color, al poseer experiencia sólo en la fabricación de tanques donde el color no es importante (este no es el caso de la empresa objeto del EPS, pues ha incursionado en el campo de artículos rotomoldeados diferentes a los tanques). Un número considerable de profesionales no tienen experiencia en el origen de problemas tales como variaciones en el color, manchas de color, sangrado (migración del pigmento), y algunos otros problemas más severos relacionados con la coloración de piezas, tales como el alabeo o torsión y la pérdida de propiedades físicas.

Visto desde un punto de vista de coloración, el proceso de rotomoldeo no es tan benevolente como el de inyección o el de extrusión, donde los tiempos de residencia del plástico son relativamente cortos y el proceso mismo genera cierto grado de mezcla. El proceso de rotomoldeo típicamente maneja temperaturas alrededor de 500°F (unos 260°C) y tiempos de operación de unos 15 minutos, creando un ambiente agresivo para los materiales utilizados. Además el rotomoldeo se ve limitado por la ausencia de esfuerzos cortantes sobre el material dentro del molde.

En la industria del rotomoldeo regularmente se asume que los problemas de coloración son originados por el pigmento, pero esto es sólo una parte de ellos. El primer paso para corregir variaciones en el color consiste en entender las fuentes de dichas variaciones originadas por la resina misma, el pigmento y otros aditivos, el proceso de mezcla y las condiciones del moldeo.

**Resina.** La resina principal para el rotomoldeo es el LLDPE, obtenido en presencia de catalizadores metálicos y neutralizadores, cuyos residuos pueden afectar al color. La resina es resultado de la polimerización de comonomeros y estos igualmente pueden provocar variaciones en el color. Cada vez que se cambia una resina puede que se introduzca un material con densidad levemente diferente, lo cual afecta el color. De igual forma, los fabricantes de resinas utilizan diferentes tipos de sistemas de aditivos (antioxidantes, estabilizadores uv, retardantes a la flama, modificadores de impacto, etc) que igualmente ejercen influencia sobre el color. Por todo ello, es importante proporcionar al fabricante de pigmento muestras de las resinas a utilizar, si el color va a ser una variable crítica en el proceso.

**Pigmentos y aditivos.** Debido al ambiente agresivo que se genera en el rotomoldeo, sólo 30 pigmentos de unos 200 conocidos para aplicación en la industria plástica, pueden ser utilizados para dicho proceso. Para resinas con entrecruzamiento (cross-linked) el número puede ser aún menor. Los molderos deben tener presentes las limitaciones de

ciertos pigmentos, y deben por ello proporcionar al fabricante de pigmentos toda la información relacionada con el diseño de las piezas, procedimientos de mezcla, resinas utilizadas, tiempos de ciclo, y temperaturas de proceso.

Mientras que los pigmentos inorgánicos son generalmente menos reactivos y menos propensos a provocar cambios en el color que los pigmentos orgánicos, pueden presentarse problemas con ambos tipos, bajo algunas condiciones. A diferencia de los pigmentos orgánicos, los inorgánicos generalmente mantienen la consistencia en el color bajo una amplia gama de condiciones de proceso. Tienden a ser más opacos, usualmente presentan mayor solidez a la luz, y son relativamente fáciles de dispersar. Normalmente son más baratos y tienen mayor resistencia a la migración o sangrado.

Sin embargo, los pigmentos inorgánicos no son tan brillantes y limpios como los orgánicos, lo que presenta una limitante a la gama de colores a igualar. Los inorgánicos generalmente se utilizan a concentraciones mayores, aunque sin efecto negativo sobre las piezas fabricadas. En resinas entrecruzadas, algunos metales presentes en pigmentos inorgánicos tienden a reaccionar con el peróxido limitando el grado de curado que pueda alcanzarse. Esto puede provocar algunos problemas en la resistencia al impacto, aunque este inconveniente puede solucionarse aumentando las temperaturas de proceso o el ciclo de operación, si el producto y sus costos pueden tolerarlos.

Hasta hace algunos años, los pigmentos de cadmio eran de los más usados en el rotomoldeo, debido a su limpieza, brillo, resistencia a la luz y el calor, relativa economía, facilidad de dispersión, ausencia de sangrado, y posibilidad de utilizar altas concentraciones sin afectar la resistencia al impacto en las piezas finales. Además, no interfieren con el entrecruzamiento. Sin embargo, tanto los pigmentos base cadmio y los base plomo han quedado bajo una sombra de regulaciones y muy frecuentemente se prohíbe su aplicación en algunas industrias. Al no haber otros pigmentos inorgánicos



que puedan ofrecer la brillantez de los populares colores amarillos, rojos y naranjas, es necesario utilizar pigmentos orgánicos.

En general, los pigmentos orgánicos son fuertes, brillantes, limpios y traslúcidos, y presentan una solidez aceptable al calor y a la luz exterior (uv). Por otro lado, son más caros, difíciles de dispersar, y provocan cambios de color a diferentes rangos de temperaturas de proceso. Algunos de ellos pueden provocar problemas de alabeo o torsión y algunos presentan migración o sangrado. Además, el tamaño de partícula tan pequeño las hace más propensas a la electricidad estática lo que resulta en manchas de color en las piezas. Algunos agentes de entrecruzamiento a base de peróxidos reaccionan con algunos pigmentos orgánicos provocando grandes variaciones en el color.

Como se ha indicado, las resinas de rotomoldeo pueden llegar a contener una amplia variedad de aditivos, algunos de los cuales afectan el color. Uno de ellos es el agente antistático incluido en la formulación de los colorantes, a efecto de reducir las manchas de color. Otro aditivo es el agente antiestático, el cual ha sido diseñado para migrar a la superficie de la pieza rotomoldeada a efecto de prevenir que el polvo se adhiera a ella. Algunos pigmentos, especialmente los orgánicos, presentan una marcada tendencia a migrar a la superficie junto con estos agentes antiestáticos donde pueden desprenderse por fricción, provocando manchas en los objetos en contacto con la pieza.

**La mezcla es crítica.** En el rotomoldeo, los colorantes, aditivos, y la operación de mezcla afectan enormemente el ciclo de producción y las propiedades físicas de las piezas fabricadas. Con mezcla en seco de colorantes y resinas, el proceso más usado en rotomoldeo, se debe medir muy exactamente la cantidad de pigmento utilizado. Si se agrega 15g en exceso de colorante a 99 lb de resina (0.04%), puede provocarse un descenso del 50% en la resistencia al impacto de la pieza final, mientras que una escasez de 15g provocaría una reducción del 30% en la opacidad. Además, los pigmentos

pueden afectar la resistencia a la torsión, como ya se indicó. Para procesar piezas con una carga relativamente alta de dióxido de titanio, se deberá elevar el ciclo de operación.

Para incrementar la consistencia en la apariencia de la pieza final, mejorar la calidad y reducir rechazos al utilizar colorantes sólidos (en polvo), será necesario utilizar un tipo de mezcladora de alta intensidad (MAI). Las MAI generan calor por fricción, permitiendo que la temperatura sea un factor de control de proceso y no el tiempo. De esta forma, el fabricante sabe que se agrega al material la cantidad adecuada de esfuerzo cortante. Por otro lado, las MAI deben llenarse a un nivel adecuado de carga, evitando que por el exceso no se produzca una mezcla homogénea o que un bajo nivel de carga permita que se introduzca aire en la mezcla reduciendo el esfuerzo cortante generado.

**Afinado del proceso.** Durante la deposición que ocurre inicialmente del polvo en el horno de rotomoldeo, las partículas más pequeñas son las primeras en adherirse. Estas finas partículas tienen una relación pigmento-resina particularmente elevada. Cualquier evento que entorpezca una distribución uniforme de estas partículas, resultará en una concentración de pigmento en la parte exterior de la pieza. La carga estática generada por el flujo de los polvos sobre la superficie del molde será lo primero a culpar por este efecto. Muchas veces, los técnicos del rotomoldeo al ver los vestigios de la estática en la superficie del molde (presentes en forma de espirales), tienden a culpar de esto a una mala dispersión del colorante, sin darse cuenta que este fenómeno se da siempre en la parte exterior de la pieza, nunca en el interior.

Las condiciones extremas de tiempo y temperatura del proceso de rotomoldeo, provocan que un mismo lote de colorante dé resultados satisfactorios en una corrida de producción mientras que en otra dé resultados deficientes. Esto puede pasar, posiblemente, al querer utilizar un mismo lado del equipo para preparar diferentes partes. Las condiciones necesarias para fundir una pieza pueden ser excesivas para otra, provocando que sufra “sobre-cocimiento”. En este caso, es mejor considerar utilizar diferentes equipos para

diferentes piezas o preparar diferentes corridas de producción con ajustes diferentes en el equipo (i.e. tiempo de mezcla, temperatura, o tiempo de residencia en el horno).

Por otro lado, muchas veces es subestimada la calidad del acabado del molde en el efecto de la apariencia final de la pieza. Diferentes condiciones de pulimento o textura en diferentes partes del molde, pueden generar variaciones en el color de la pieza final. Esto será especialmente importante, cuando se fabriquen piezas por separado a ser ensambladas posteriormente en un solo producto final.

**Preparaciones de color vrs pigmentos en polvo.** Las preparaciones de color pueden eliminar muchas fuentes de error y variación en el color de las piezas terminadas. No hay necesidad de pesado ni de mezcla de componentes. Los remolinos causados por la estática dejan de ser un problema. Más aún, en piezas donde se requiere una alto grado de opacidad, las preparaciones de color llegan a ser la única opción viable.

Un detalle que no debe dejarse al azar, es que el uso de preparaciones de color le confiere un nuevo comportamiento térmico al sistema resina-pigmento-aditivos. El proceso de moldeo ejercerá en ella un mayor nivel de degradación, por lo que será necesario ajustar la ventana de proceso de forma que se obtengan las nuevas condiciones óptimas de operación. Por otro lado, el uso de pigmentos es la forma de coloración más barata que se conoce (si no se toma en cuenta el nivel de reproceso y desperdicio que genera), además de no requerir aumento en el número de ítems que deben manejarse en el inventario.

**Figura 4. Preparados de Color**



## 4. FASE DE SERVICIO TÉCNICO PROFESIONAL

### 4.1 Metodología

- Realización de pruebas de dispersión del colorante en la resina variando las condiciones de operación del equipo de mezcla (tiempo, velocidad, cualidad de las materias primas, etcétera). La mejora o detrimento de la dispersión se determinará con base en la apariencia de la pieza procesada. Para medir la relación costo-beneficio de las modificaciones que resultaren exitosas, se seguirán criterios financieros para comparar los ahorros obtenidos por mejoras a la eficiencia con índices tales como la tasa interna de retorno o el tiempo necesario para recuperar la inversión.
- Realización de pruebas de dispersión del colorante en la resina utilizando concentrados de color en lugar de pigmentos. Los concentrados a utilizar pueden ser de cualquier tipo: peletizados, pulverizados o líquidos; preparaciones de color o resinas pre pigmentadas. La mejora o detrimento de la dispersión se determinará con base en la apariencia de la pieza procesada. Para medir la relación costo-beneficio de las formulaciones que resultaren exitosas, se seguirán criterios financieros para comparar los ahorros obtenidos por mejoras a la eficiencia con el gasto en materiales.
- Determinación del nivel de contaminación ambiental producido por los diferentes materiales utilizados en el proceso y compararlo contra los estándares de seguridad ocupacional. Si no es posible esta medición, podrá medirse el tiempo requerido para efectuar una limpieza lo suficientemente profunda que no permita la contaminación de producciones subsiguientes.

## 4.2 Resultados

**Condiciones de operación.** La primera parte de las pruebas realizadas, consistió en alterar los ciclos de mezcla de resina-pigmento previo a la alimentación del equipo. El ciclo de mezcla utilizado como estándar en la empresa, se implementó en 15 minutos por carga desde el inicio de operaciones. Para este estudio se sugirió el cambio a 23 minutos el tiempo de mezcla. Este ejercicio fue realizado a lo largo de 100 lotes de producción, siendo 50 lotes mezclados bajo los parámetros estándar, y 50 con el nuevo ciclo definido.

Como se había establecido, la efectividad de este cambio sería medida a través de determinar la apariencia de las piezas fabricadas siguiendo el método de verificación de calidad establecido en la empresa, es decir, por observación directa de la homogeneidad en el acabado. Los resultados se presentan en la Tabla I.

**Tabla I. Calidad vrs Tiempo de Mezcla**

<b>No. De Lotes</b>	<b>t DE MEZCLA</b>	<b>No. TOTAL PIEZAS</b>	<b>No. PIEZAS SIN DEFECTO</b>	<b>% DE PIEZAS BUENAS</b>
50	15 min	150	113	75.33 %
50	23 min	150	120	80.00 %

Esta mejora de un poco menos del 5% en piezas sin defecto, requiere revisión de la diferencia en costo que debe tenerse en cuenta. Para tal efecto, la Tabla II presenta el resumen del análisis realizado. Tómese en cuenta que para el cálculo se tomó en consideración el costo de oportunidad que se incurre en la sección de mezclas, al variar de 1.82 lotes por hora (5 minutos de carga, 23 minutos de mezcla y 5 minutos de

descarga), a sólo 1.50 lotes por hora (5 minutos de carga, 30 minutos de mezcla y 5 minutos de descarga). Dado que el ciclo completo de una carga de producción puede variar entre 45 minutos y una hora, de los cuales 30 minutos se utilizan en el cocimiento de la pieza dentro del molde, un incremento en el tiempo de mezcla sobre esos 30 minutos representa retraso en el ciclo de producción en forma directa.

**Tabla II. Variación en el Costo del Nuevo Ciclo de Mezcla**

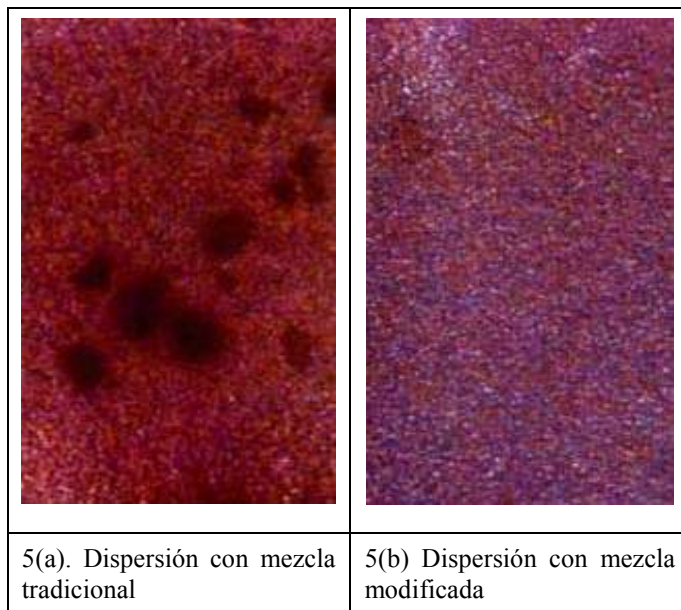
DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO	No. UNIDADES	COSTO TOTAL
Aumento en costo de energía por incremento en tiempo de mezcla	Q 3.52	150	Q 528.00
Incremento en costo unitario por aumento de ciclo (Q30/hr-h)	Q 6.04	150	Q 906.00
Aumento en depreciación por mezcla (base de \$25,000 valor equipo al 10% año)	Q 0.78	150	Q 117.00
TOTALES	Q 10.34	150	Q 1,551.00
Ajuste por mejora piezas buenas (120/113)	<b>Q 9.74</b>	150	<b>Q 1,461.09</b>

Puede notarse fácilmente, como este resultado no es favorable a la empresa y por ello no se hace necesario realizar ningún análisis financiero que permita comparar el valor parcial del ahorro contra la inversión necesaria.

**Preparaciones de color vrs pigmentos.** Para comparar la diferencia en calidad utilizando los preparados de color, se procedió a efectuar lotes de producción bajo la formulación tradicional (resina y pigmento) y lotes de producción con la formulación sugerida (90% resina en color natural y 10% resina precoloreada).

Los lotes de producción obtenidos en la mezcla tradicional, mostraron una dispersión de baja calidad, tal como se muestra en la figura 5(a).

**Figura 5. Homogeneidad en la Dispersión**



Nótese cómo se presentan concentraciones de color en diferentes puntos de la mezcla, aún después de aplicar agitación durante 15 minutos a los materiales.

Con el uso de los preparados de color, la incorporación del preparado de color en la mezcla es evidente, tal como se muestra a en la figura 5(b).

Luego del resultado obtenido con el aspecto visual de las piezas fabricadas con preparados de color, fue necesario evaluar el aspecto económico del experimento. Para ello se repitió el patrón utilizado con el tiempo de mezcla, fabricando esta vez 50 lotes con la formulación experimental con preparados de color. La muestra de comparación utilizada fue la misma obtenida en el primer experimento con el tiempo de mezcla, dado

que es la que refleja las condiciones actuales. El resultado obtenido se muestra en la tabla III.

**Tabla III. Calidad vrs. Formulación**

No. De Lotes	Tipo de Colorante	No. Total Piezas	No. Piezas sin defecto	% de piezas buenas
50	Pigmento tradicional	150	113	75.33 %
50	Preparado de color	150	149	99.33 %

En este caso la diferencia en la calidad de las piezas obtenidas es significativa (14%) y el análisis de costos dio como resultado los siguientes datos.

**Tabla IV. Variación en el Costo utilizando Preparados de Color**

DESCRIPCIÓN	COSTO UNITARIO	Kg por TANQUE	COSTO TOTAL
Resina natural	Q 10.00	30.000	Q 300.00
Pigmento	Q 57.38	0.003	Q 0.20
Total Fórmula original			Q 300.20
Ajuste por rechazos (113/150) *			<b>Q 398.50</b>
Resina natural	Q 10.00	27.00	Q 270.00
Preparado de color	Q 12.85	3.00	Q 38.55
Total Fórmula modificada			Q 308.55
Ajuste por rechazos (149/150) *			<b>Q 310.62</b>
Diferencia entre ambas formulaciones			<b>- Q 87.88</b>

\* El ajuste por rechazos se considera muy importante puesto que la pieza “defectuosa” no puede ser introducida en el mercado de primera, sino que es tratada como reciclaje o como producto de segunda el cual se vende a precio de liquidación, análisis fuera de este estudio.



**Contaminación ambiental.** Esta parte de la investigación buscaba determinar si existe mejora en las condiciones del área de trabajo. La figura 6 muestra las condiciones de limpieza del área de mezclas utilizando la formulación original.

**Figura 6. Ambiente de Operación**



Para poder utilizar nuevamente el área de trabajo, sobre todo en un cambio de color, la empresa ha medido que se requiere del trabajo de dos operarios durante 45 minutos por cambio entre colores afines (i.e. de azul a celeste, de rojo a naranja), y 1 hora con 30 minutos para colores de tonalidad muy diferente (i.e. de negro a blanco, de negro a celeste, etc.).

Con los preparados de color, se ha visto que la variación en el tiempo de limpieza ha sido considerablemente favorable: 18.56 minutos en promedio para colores afines y 34.69 minutos para colores de tonalidad diferente, tomando los 50 lotes fabricados para la prueba. La comparación económica, entonces, se muestra en la tabla V.

**Tabla V. Comparación costo de Limpieza**

<b>DESCRIPCIÓN</b>	<b>TIEMPO INVERTIDO</b>	<b>No. LOTES</b>	<b>COSTO TOTAL</b>
Limpieza fórmula original colores afines (Q30/hr-h)	45 min	38	Q 1,710.00
Limpieza fórmula original colores tonalidad diferente (Q30/hr-h)	90 min	12	Q 1,080.00
Limpieza fórmula modificada colores afines (Q30/hr-h)	18.56 min	38	Q 705.28
Limpieza fórmula modificada colores tonalidad diferente (Q30/hr-h)	34.69 min	12	Q 416.28
<b>AHORRO EN LIMPIEZA CON FÓRMULA MODIFICADA COLORES AFINES</b>			<b>Q 1,004.72</b>
<b>AHORRO EN LIMPIEZA CON FÓRMULA MODIFICADA COLORES TONALIDAD DIFERENTE</b>			<b>Q 663.72</b>



## **5. FASE DE DOCENCIA**

### **5.1 Metodología**

- Una vez recabada la información, se realizará la presentación de los resultados a la administración junto con el o los instructivos que sean pertinentes, de forma que sea posible implementar las mejoras encontradas en la operación.
- Si la administración lo considera conveniente, se realizará un derrame de la información recabada hacia todo el personal involucrado en el proceso productivo.

### **5.2 Resultados**

Se presentaron los resultados de las diferentes fases del trabajo de EPS a la administración de la empresa, de forma que pueda utilizarlos como herramienta de análisis para la toma de decisiones gerenciales.

No se elaboró ningún instructivo de operación nuevo como resultado del estudio, puesto que se definió que los cambios sugeridos en los materiales a formular no requieren de modificaciones en la operación en sí, sino que únicamente afectan el listado de materias primas autorizadas para su uso en planta. Por otro lado, será necesario modificar las fórmulas de los artículos fabricados por la empresa, pero debe ser ésta quien defina cuáles pigmentos serán sustituidos por las preparaciones de color y en qué horizonte de tiempo, de acuerdo a los niveles de inventario que se manejan y las negociaciones apropiadas con los proveedores de materiales.

En cuanto al derrame de la información hacia el personal de la empresa, la administración definió el nivel jerárquico que deberá recibir la capacitación, para la cual se ha elaborado un pequeño curso resumen de la investigación realizada en este trabajo de EPS, con los títulos siguientes:

- I. MARCO TEÓRICO
  - a. Antecedentes
  - b. El Proceso de Rotomoldeo: Fundamentos
- II. MÁQUINAS Y EQUIPOS DE ROTOMOLDEO
- III. MATERIALES PARA ROTOMOLDEO

Este curso puede ser utilizado como parte del proceso de inducción del personal técnico de nuevo ingreso a la empresa.

## CONCLUSIONES

1. El equipo de mezcla utilizado por la empresa proporciona una fuente aceptable de dispersión, demostrado con el uso de materiales de fácil incorporación.
2. Incrementar el tiempo de la operación de mezcla, tiene mayor efecto en el incremento de los costos que en la mejora de la calidad de la pieza final.
3. La sustitución de colorantes en polvo o pigmentos por preparaciones de color, incrementa en 14% el número de artículos catalogados como aceptados.
4. Esta sustitución representa una disminución de aproximadamente Q 88 por pieza fabricada (considerando las utilizadas en esta investigación), tomando en cuenta la mejora en el resultado de la prueba de aceptación de las mismas. Esto porque los costos de operación no se distribuyen ya entre el 75.33% de productos catalogados bueno, sino que entre el 99.33 % obtenido luego de la sustitución de colorantes.
5. La sustitución de pigmentos como colorantes en el proceso, genera también una disminución en los costos de limpieza en que debe incurrir la empresa, al reducirlos en 59% aproximadamente cuando se trata de colores de tonalidad similar, y 61% aproximadamente cuando se trata de colores de diferente tonalidad.



## RECOMENDACIONES

1. Se debe evaluar la sustitución del equipo de mezcla. Aunque se indica que el equipo aún proporciona resultados satisfactorios en la dispersión de los materiales, la tendencia de la industria del rotomoldeo apunta hacia el uso de Mezcladores de Alto Impacto o High-Intensity Mixers como se les conoce en inglés.
2. Se debe realizar, en el mediano plazo, la sustitución del tipo de colorantes que la empresa utiliza actualmente por los sugeridos en este estudio, a medida que las existencias se vayan agotando. Esto con la finalidad de aprovechar a la brevedad las ventajas encontradas en su uso.
3. Se debe realizar una alianza estratégica con los proveedores de materiales, como alternativa para lograr una actualización constante de los últimos desarrollos tecnológicos en la industria mundial del rotomoldeo.





## BIBLIOGRAFÍA

1. Leemhius, Weert & Pallmann, Hartmut. **“Pulverizado de polietileno para el rotomoldeo”** Tecnología del Plástico. <http://www.plastico.com>. (Junio de 1999)
2. Rotheiser, Jordan I. **“Diseño para Rotomoldeo”**. Tecnología del Plástico. <http://www.plastico.com>. (Octubre de 2003)
3. Knights, Mikell. **“Tecnologías de Punta en metodologías de producción en rotomoldeo”**. Tecnología del Plástico. <http://www.plastico.com>. (Marzo de 1998)
4. Howard, Harry & Scott, Dority . **“You can get consistent color in rotomolding”**. Plastics Technology. <http://www.plasticstechnology.com>. (November, 1997)
5. Sepe, Michael. **“The Materials Analyst, Part 39: The hidden effects of color (Part 1)”**. Injection Molding Magazine. <http://www.immnet.com>. (January, 2001)
6. Sepe, Michael. **“The Materials Analyst, Part 40: The hidden effects of color (Part 2)”**. Injection Molding Magazine. <http://www.immnet.com>. (February, 2001)
7. Association of Rotational Molders International. **Association of Rotational Molders International**. <http://www.rotomolding.org> (February, 2006)