



**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA
ESCUELA DE INGENIERÍA MECÁNICA**

**DISEÑO DE MOLDES PARA EL PROCESO DE ROTOMOLDEO DE
MATERIALES PLÁSTICOS**

**MAX FRANCISCO MANRIQUE JEREZ
ASESORADO POR ING. ERICK GARIVALDI BOLAÑOS GUDIEL**

GUATEMALA, OCTUBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA



FACULTAD DE INGENIERÍA

**DISEÑO DE MOLDES PARA EL PROCESO DE ROTOMOLDEO DE
MATERIALES PLÁSTICOS**

TRABAJO DE GRADUACIÓN

PRESENTADO A JUNTA DIRECTIVA DE LA
FACULTAD DE INGENIERÍA
POR

MAX FRANCISCO MANRIQUE JEREZ

ASESORADO POR ING. ERICK GARIVALDI BOLAÑOS GUDIEL
AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE

INGENIERO MECÁNICO
GUATEMALA, OCTUBRE DE 2003

UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA

FACULTAD DE INGENIERÍA



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO	Ing. Sydney Alexander Samuels Milson
VOCAL I	Ing. Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL II	Lic. Amahán Sánchez Alvarez
VOCAL III	Ing. Julio David Galicia Celada
VOCAL IV	Br. Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V	Br. Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIO	Ing. Pedro Antonio Aguilar Polanco

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

Decano	Ing. Julio Ismael Gonzáles Podszueck
EXAMINADOR	Ing. Pedro Enrique Kubes Zacek
EXAMINADOR	Ing. Melvin Aman Monroy Gonzales
EXAMINADOR	Ing. Hermenegildo Argueta Morales
SECRETARIO	Ing. Francisco Javier Gonzáles López



HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

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

DISEÑO DE MOLDES PARA EL PROCESO DE ROTOMOLDEO DE MATERIALES PLÁSTICOS

Tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Ingeniería Mecánica, con fecha 24 de mayo de 2000.

MAX FRANCISCO MANRIQUE JEREZ

INDICE GENERAL

INDICE DE ILUSTRACIONES	IV
INDICE DE TABLAS	VII
LISTA DE SÍMBOLOS	VIII
GLOSARIO	IX
RESUMEN	XI
OBJETIVOS	XIII
INTRODUCCIÓN	XIV
1. PROCESO DE MOLDEO ROTACIONAL	1
1.1. Definición del proceso	1
1.2. Elementos básicos del proceso	5
1.3. Materiales plásticos utilizados	8
2. DISEÑO DE PARTES ROTOMOLDEADAS	11
2.1. Diseño del producto	11
2.2. Espesores de pared	15
2.3. Radios de esquina	19
2.4. Ángulos de salida	22
2.5. Costillas de refuerzo	24
2.6. Refuerzos de paredes con espacios cercanos	25
2.7. Hoyos	26
2.8. Roscas moldeadas	28
2.9. Insertos	29
2.10. Hendiduras	30
2.11. Tolerancias	32
2.12. Cálculos matemáticos a considerar	35
2.12.1. Medidas por cambios de temperatura por calentamiento y enfriamiento	35
2.12.2. Cálculo para el diseño del espesor de pared de un tanque cilíndrico	36

2.12.3.	Cálculo de presiones internas en las paredes de un tanque cilíndrico	38
2.12.4.	Cálculo del peso de una pieza, asumiendo su espesor de pared	39
2.12.5.	Estimación del peso de una pieza de polietileno	41
2.12.6.	Estimación del espesor de pared de una pieza	42
2.12.7.	Cálculo del volumen de la cavidad del molde versus el volumen del peso del material plástico pulverizado	43
3.	DISEÑO DE MOLDES PARA ROTOMOLDEO	47
3.1.	Moldes para rotomoldeo	47
3.2.	Nomenclatura de los moldes	48
3.3.	Tipos de moldes	49
3.3.1.	Moldes de aluminio vaciado	49
3.3.2.	Moldes de lamina soldada	50
3.3.3.	Moldes electro formados	52
3.3.4.	Moldes maquinados	52
3.4.	Estructura de soporte	53
3.5.	Mordazas para líneas de separación	54
3.6.	Bridas para líneas de separación	55
3.7.	Moldes de más de dos piezas	56
3.8.	Insertos	57
3.9.	Acabados de superficie en la cavidad	60
3.10.	Manejo de la temperatura	62
3.11.	Ventilación del molde	64
3.12.	Mantenimiento del molde	65
4.	COMPONENTES BÁSICOS DE ROTOMOLDEO PARA EL DISEÑO MOLDES	69
4.1.	Tipos de máquina	69
4.2.	Calentamiento del plástico	76
4.3.	Ventilación del molde	78
4.4.	Inyección de gas	83

4.5.	Relación entre rotaciones	88
4.6.	Mezclado del material	93
4.7.	Medición de la carga del material plástico	93
4.8.	Cierre del molde	96
4.9.	Fuegos en el horno	96
4.10.	Balanceo del molde	97
4.11.	Desmoldantes	98
5.	SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO	99
5.1.	Enfriamiento a temperatura ambiente	99
5.2.	Enfriamiento por aire forzado	99
5.3.	Enfriamiento por agua rociada con atomizador	100
5.4.	Enfriamiento por chorro de agua	100
6.	ELECCIÓN DEL MOLDE Y MÁQUINA PARA EL MOLDEO ROTACIONAL	101
6.1.	Análisis técnico	101
6.2.	Análisis económico	103
	CONCLUSIONES	112
	RECOMENDACIONES	115
	BIBLIOGRAFÍA	117

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURA

1	Cargado del molde	1
2	Cerrado y sellado del molde	1
3	Rotación y calentamiento del molde	2
4	Rotación y enfriamiento del molde	2
5	Apertura del molde	3
6	Descarga del molde	3
7	Proceso de rotomoldeo	4
8	Molde montado en la maquina	5
9	Rotación del molde en dos ejes	6
10	Calentamiento del molde	6
11	Cámara de enfriado	7
12	Separación de la pieza	8
13	Producto plástico exitoso	14
14	Espesor nominal de la pared	16
15	Deformaciones en la pared	18
16	Distancia interna mínima entre paredes	19
17	Resistencia en la esquina en función del radio	20
18	Tipos de esquina	22
19	Ángulos de salida	23
20	Costillas rigidizadoras en piezas rotomoldeadas	25
21	Refuerzos	25
22	Diversas formas de aberturas en hoyos y agujeros	26
23	Dos partes moldeadas en una sola cavidad	27
24	Roscas rotomoldeadas	29
25	Insertos metálicos	30
26	Diversos tipos de endiduras	31

27	Tipos de dimensiones a considerar para establecer tolerancias de diseño	33
28	Cambios de medida por calentamiento y enfriamiento	36
29	Calculo de las presiones internas de un tanque cilíndrico	39
30	Calculo de partes anchas asumiendo espesores de pared	40
31	Estimaciones de partes anchas en polietileno	41
32	Estimaciones de espesores de pared	42
33	Estimaciones de espesores de pared cilíndrico	43
34	Volumen de la cavidad versus peso de la pólvora de tiro	45
35	Partes principales de un molde para rotomoldeo	48
36	Tolva con paso de sección redonda a rectangular	51
37	Mordaza acodada y pinzas de presión	54
38	Aplicación de las pinzas de presión	55
39	Diferentes tipos de líneas de separación	56
40	Rediseño de molde para lograr solo dos piezas	57
41	Insertos ciegos e insertos con perforación de lado a lado	58
42	Formas para facilitar y para reducir la transferencia de calor	59
43	Transmisión de calor a través del molde	62
44	Máquina de ida y vuelta con brazo sencillo	69
45	Máquina de ida y vuelta con dos brazo	70
46	Máquina tipo pista de carrera	71
47	Máquina tipo vaivén	72
48	Máquina tipo torreta o carrusel	73
49	Máquina de brazos independientes	74
50	Máquinas verticales	74
51	Máquina de concha de almeja	75
52	Presión de aire en el interior del molde causada por la diferencia de temperaturas dentro y fuera del molde	80
53	Efectos en la presión del aire por el tubo de ventilación	82
54	Tipos de inyección de gas	84

55	Equipo necesario para inyección de gas	86
56	Conexión del sistema de inyección de gas a la maquina	87
57	Pesador automático para polvo y pellets	95

TABLAS

I	Gruesos de pared posible	17
II	Tolerancia en el aplanado de pared	18
III	Espesores de pared recomendables	21
IV	Ángulos de salida recomendables para diversos materiales	24
V	Tolerancias de diseño para piezas rotomoldeadas	34
VI	Valores de conductividad térmica de metales comúnmente usados	63
VII	Temperatura y tiempo de horneado	77
VIII	Relación de rotación	89
IX	Relación de rotación establecida con base a ensayo y error	91
X	Comparación de tipos de moldes	103

LISTA DE SÍMBOLOS

mm	milímetros
°C	Grados centrigrados
°F	Grados Fahrenheit
ASTM	Sociedad Americana de normas para materiales
plg	pulgadas
pie	pies
lbs	libras
hrs	horas
rpm	revoluciones por minuto
Coe	Coeficiente de resina de expansión
Vmc	Volumen de la cavidad del molde
Vsw	Volumen del material pulverizado
Sw	peso del material pulverizado
T	Espesor de pared
SG	Gravedad especifica del fluido
Sd	Esfuerzo designado para una resina
S	Presión interna de un tanque
Wt	peso

GLOSARIO

Cavidad	Parte del molde cuya superficie interna esta en contacto conel material plástico y le da la forma final a la parte moldeada.
Índice de fluidez	Medida aproximada del peso molecular promedio o la capacidad que tiene un material de fluid, ASTM D-1238.
ESCR	Resistencia al resquebrajamiento por esfuerzos inducidos Ambientalmente.
<i>Sand-blast</i>	Chorro de arena especial que se aplica a presión para dar el acabado final de la cavidad y por consiguiente la calidad de superficie del articulo moldeado.
Curado	Proceso de precalentamiento que se realiza al molde, estructura de soporte, para eliminar esfuerzos residuales en soldaduras y uniones especiales.
CAD-CAM	Software que se utiliza para el diseño de parte moldeadas.
CNC	Control numérico computarizado.
<i>Router</i>	Herramienta de corte que se utiliza para realizar operaciones secundarias de acabo.
Electroformado	Es un proceso para producir moldes en el que relativamente se deposita una capa delgada de metal eléctricamente en un modelo.
Nylon	Es una resina familiar a los termoplásticos, se caracteriza como fuerte, resistente a la abrasión y a la fatiga.
pvc	Resina que esta compuesta de termolplasticos formados por una cadena de polimerización y copolimerización de vinilo y esterres.

Conductividad térmica	Es la transferencia de un material en dejar pasar el calor a través de él y está relacionado con el calor específico de un material.
Termoplástico	Es la capacidad que tiene los materiales de ser ablandados repetidamente por el calor y endurecidos por el enfriamiento.
Policarbonato	Es una resina de la familia de los termoplásticos y está compuesta por una reacción química y se caracteriza por una alta resistencia a la temperatura, transparencia e impacto.
Polietileno	Es la resina plástica de menor costo y mayor volumen utilizada por la industria del moldeo rotacional y está compuesta por átomos de hidrógeno y carbono.
Densidad	Es una medida de la gravedad específica de un material plástico, conforme la densidad aumenta, aumenta la rigidez, la temperatura de deflexión por calor, el abombamiento y el encogimiento.

RESUMEN

Este trabajo de graduación se ha desarrollado en seis temas de los cuales, cada uno, describe el proceso, diseño, tipos de moldes empleados, técnicas y sistemas de producción.

El primer tema, desarrolla la función del proceso con base a la técnica de moldeo rotacional. Definiendo la necesidad industrial de encontrar tipos de producción con diferentes tipos de plástico, polietileno, PVC, nylon y policarbonato para crear productos que sustituyan a la madera o a algunos otros materiales que por su costo el precio del producto es elevado.

El segundo tema, describe los diseños empleados para la manufactura del producto. Utilizando para el efecto protocolos típicos de diseño donde el diseñador seleccionara el material a usar, que necesidades debe satisfacer, el tiempo de producción y la capacidad de producción. Es importante considerar que el tema de diseño es profundo, ya que toman parte la ingeniería humana y las apariencias del producto en la manufactura industrial.

El tercero, desarrolla los tipos de moldes que se utilizan en el proceso de manufactura. El proceso de rotomoldeo tiene muchas funciones pero la principal es definir la parte moldeada, que depende de la parte plástica. En este tema se considera la nomenclatura de los moldes como parte importante del desarrollo del proceso de rotomoldeo, así como también se describe la herramienta con que debe contar el técnico que trabaja y opera estos moldes, los tipos de injertos que puede realizar y los acabados de superficies en cavidades, y el manejo de la temperatura para lograr objetivos de producción óptimos y la calidad del producto.

El tema cuatro, describe las máquinas para rotomoldeo que el fabricante puede encontrar en el mercado y se hace un análisis de los puntos de vista prácticos de todas las maquinas pero sin perder la capacidad de producción que cada una de ellas realiza. A demás que el tema sobre la temperatura es objeto de atención, en donde se analizarán el calentamiento y enfriado del material con cuadros de control para la producción. Se considera también el equipo de inyección en el proceso de rotomoldeo, su utilización y ventajas que se obtienen en la manufactura del producto.

El tema cinco se desarrollán los sistemas de enfriamiento más utilizados en el proceso de rotomoldeo.

El tema seis se hace un análisis técnico y otro económico en el desarrollo del rotomoldeo y manufactura del producto.

OBJETIVOS

- **General**

Proporcionar una guía e instrumento que sirva como base para el conocimiento y desarrollo de proyectos de diseño de moldes de rotomoldeo, utilizando cálculos y técnicas básicas que faciliten al estudiante, ingeniero y técnico que trabaja dentro de esta especialidad para la elaboración de productos plásticos rotomoldeables como tanques, letrinas, pallets, etc.

- **Específicos**

1. Conocer los elementos y características básicas del proceso para el diseño de moldes de rotomoldeo.
2. Establecer los criterios y cálculos necesarios para el diseño del producto o parte a rotomoldear.
3. Conocer los diferentes tipos de moldes utilizados de rotomoldeo y aspectos que se deben considerar para su elección en el diseño.
4. Describir los análisis de ventajas y desventajas del proceso de rotomoldeo en la selección del diseño del molde y producto.

INTRODUCCIÓN

El proceso de moldear rotacionalmente partes huecas de plástico es una parte importante, pero relativamente nueva de la industria del plástico. El rápido y constante crecimiento del moldeo rotacional excede permanentemente el abastecimiento de personal capacitado que se requiera para este importante segmento de la industria.

El proyecto de este trabajo es la toma de conciencia de las necesidades, presentes y futuras, del personal capacitado y competente para trabajar dentro de la especialidad de moldeo rotacional.

El constante crecimiento de la industria en el futuro, depende de la disponibilidad de personal que posea un entendimiento total y completo de los varios segmentos dentro del negocio de moldeo rotacional.

Entre el descubrimiento y el desarrollo humano, siempre ha existido una innovación por mejorar, y a la vez economizar la materia prima. De este punto, parte este proyecto de graduación. Actualmente, se han descubierto tecnologías de avanzada que vienen a sustituir productos con manufactura nueva.

Entre estos están los diseños de plástico, que actualmente utilizamos y que son elaborados por esta materia prima para desarrollar productos como:

- a) Tubería plástica para todo tipo de uso.
- b) Piezas mecánicas que se han utilizado en plomería, mecánica automotriz y electrónica, etc.
- c) Objetos de uso diario para el hogar
- d) Juguetes para niños de todas las edades.

El objetivo es entonces analizar la producción y la capacidad en este campo de la industria moderna. En la producción, el plástico en Guatemala ha tenido un avance considerado, ya que la manufactura de hacer productos de plástico ha llenado el mercado con grandes cantidades de cosas de uso diario.

Pero en la capacidad de producción, las técnicas han desarrollado poco, ya que por la pobre inversión que ha existido en este campo, no se han conocido las técnicas de rotomoldeo del plástico y sus beneficios para la sociedad.

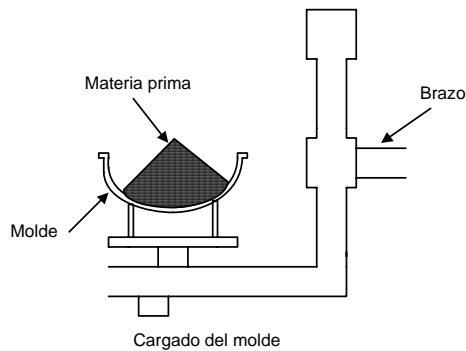
Estas técnicas que se han expuesto a lo largo de este trabajo de graduación, se hace énfasis en el diseño del producto, sistemas de producción, sistemas de enfriamiento y los procesos de rotomoldeo.

1. EL PROCESO DE MOLDEO ROTACIONAL

1.1 Definición del proceso

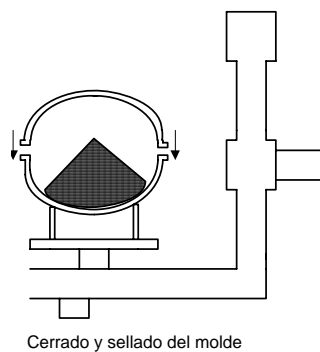
El proceso de moldeo rotacional es engañosamente simple. Consiste en cargar un molde hueco con material plástico en forma de líquido o polvo. Según se muestra en la figura 1.

Figura 1. Cargado del molde



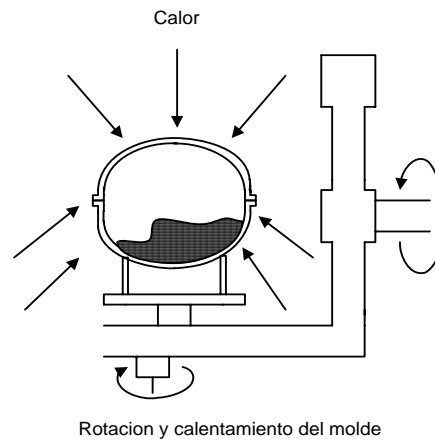
Una vez que ha sido llenado se cierra y se sella el molde. Ver figura 2.

Figura 2. Cerrado y sellado del molde



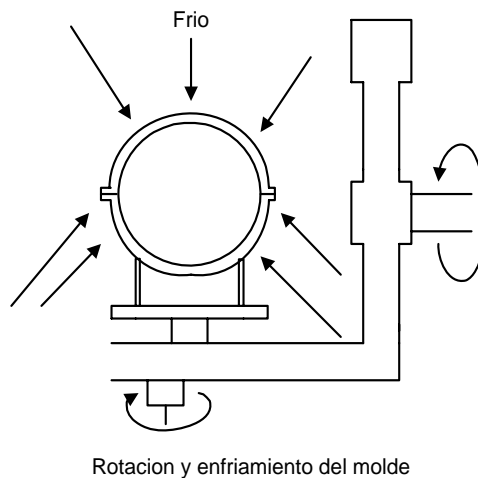
Luego se pone a rotar sobre sus ejes horizontal y vertical. El molde en rotación se mete a un horno donde es sometido a altas temperaturas, de tal manera que el material plástico alcanza la temperatura de fusión y se adhiere a las paredes del molde, mientras el proceso de rotación continúa. Ver figura 3.

Figura 3 Rotación y calentamiento del molde



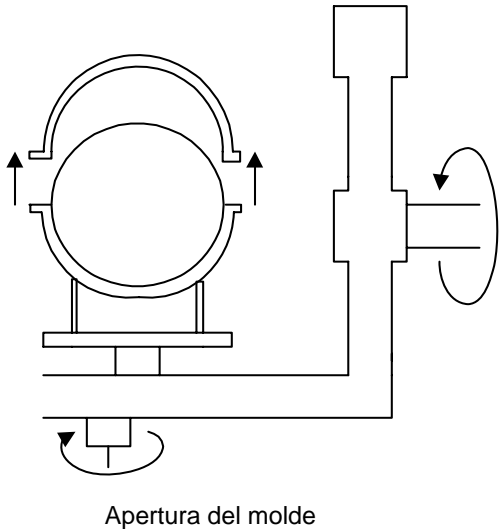
Posteriormente el molde es colocado en un cámara de enfriamiento donde es rociado con aire, agua o bien una llovizna combinada de ambos. Cuando el molde se enfría, el material se solidifica tomando la forma del molde. Ver figura 4.

Figura 4 Rotación y enfriamiento del molde



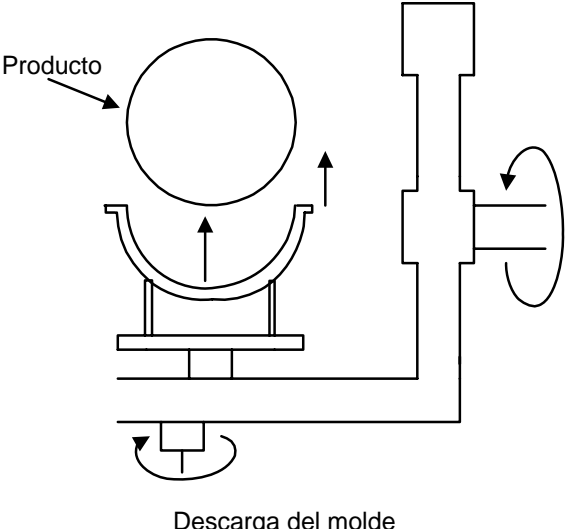
Finalmente, el molde es trasladado a la estación donde es abierto como se indica en la figura 5.

Figura 5. Apertura del molde



Una vez abierto el molde, es posible descargarlo sacando la pieza ya moldeada. Ver figura 6.

Figura 6. Descarga del molde



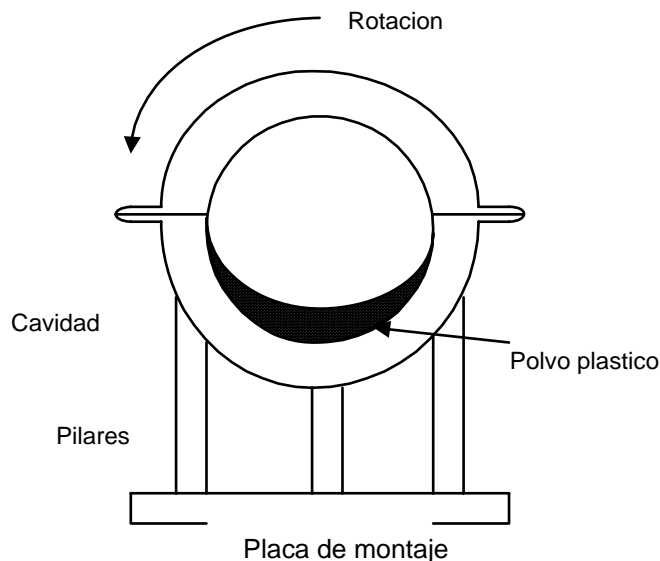
El molde se vuelve a cargar y el proceso se repite tantas veces como se requiera.

El moldeo rotacional no debe confundirse con el vaciado por centrifugación, el cual lanza el material plástico a la periferia de la cavidad, mientras que en el moldeo rotacional el material plástico se mantiene en forma de pasta en la parte inferior del molde.

Conforme el molde rota sobre sus dos ejes, toda la superficie interna de la cavidad tienen contacto con esta pasta de material plástico líquido o en polvo.

Cuando la temperatura de la cavidad es lo suficientemente alta, el plástico se va adheriendo a las paredes internas, conforme el molde continúa rotando, esta delgada capa de material plástico va aumentando gradualmente su espesor hasta que la pasta queda uniformemente repartida por toda la pared interior del molde. Como se ve en la figura 7.

Figura 7. Proceso de rotomoldeo



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Mientras el molde continúa rotando, la pasta de material plástico pasa una y otra vez por toda la superficie interna del molde. Este proceso se repite hasta que todo el material plástico ha sido depositado sobre dicha superficie interior de la cavidad.

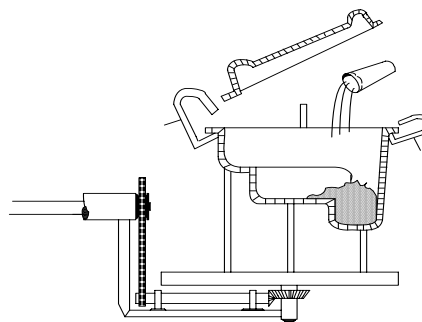
Es fácil comprender que el proceso de moldeo rotacional es ideal para producir formas esféricas como flotadores o pelotas. El rotomoldeo es un proceso de contradicciones. Es simple en concepto, pero complicado en ejecución.

Existe un número limitado de resinas plásticas que son moldeables, pero el número de formas posibles de moldear es ilimitado. El tiempo de desarrollo de nuevos productos es corto, pero los ciclos de moldeo son largos, las máquinas y herramientas son de bajo costo, pero las partes moldeables son de costo relativamente alto.

1.2 Elementos básicos del proceso

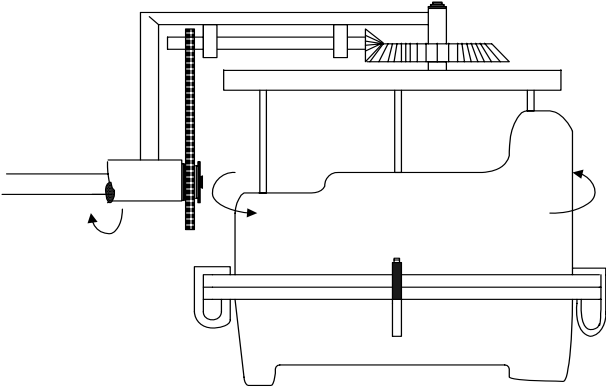
Los elementos básicos de una máquina de rotomoldeo son todos aquellos dispositivos y partes mecánicas que se utilizan para montar el molde a la máquina, y además el tipo de anclaje necesario para operar este equipo que se presenta en la figura 8.

Figura 8. Molde montado en la máquina



Un mecanismo para rotar biaxialmente el molde y poner todas las superficies internas de la cavidad en contacto repetitivo con el material plástico, tal como se presenta en figura 9.

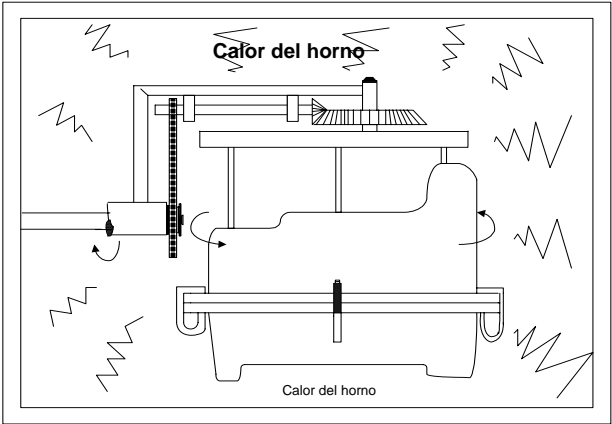
Figura 9 Rotación del molde en dos ejes



Fuente: Introducción al moldeo rotacional.

Un horno y otro medio de calentamiento para el molde y el subsecuente fundido del material plástico para permitir que cubra la superficie interna de la cavidad, como vemos en la figura 10.

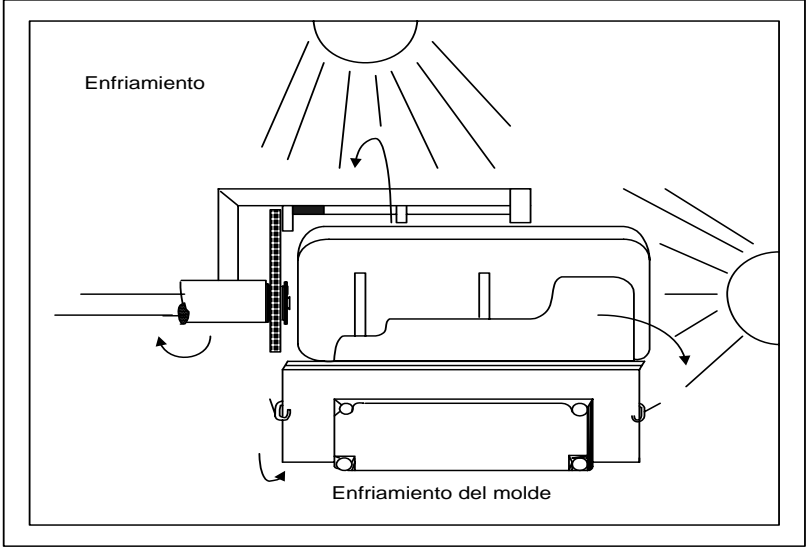
Figura 10. Calentamiento del molde



Fuente: Introducción al moldeo rotacional.

Una cámara de enfriado, u otro medio, para enfriar el molde y la parte plástica moldeada contenida en el interior del mismo, al punto en que ésta se haya endurecido lo suficiente para mantener su forma, como se ve en figura 11.

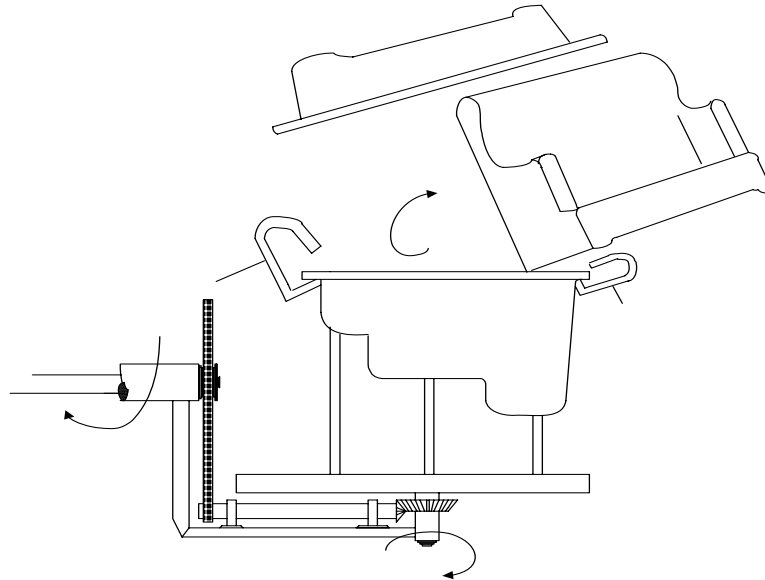
Figura 11. Cámara de enfriado



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

La máquina también debe proporcionar un espacio abierto para retirar la parte moldeada de la cavidad, como se observa en la figura 12, y para la recarga del molde con material para el siguiente ciclo, ver la figura 8.

Figura 12. Separación de la pieza



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Un motor, u otro mecanismo, para mover los moldes entre las estaciones mencionadas arriba, así como dentro de las mismas.

La máquina moldeadora también debe de incorporar controles adecuados para ajustar y mantener el tiempo, la temperatura y la velocidad de rotación en las varias etapas del ciclo de moldeo.

Existen otras características en una máquina de rotomoldeo, pero estos son los siete elementos básicos.

1.3 Materiales plásticos utilizados

Existen varios tipos de material plástico que son adecuados para el moldeo rotacional. Cada uno de estos materiales tienen sus propiedades únicas.

Si se le pidiera a un moldeador rotacional que describiera la resina ideal para moldeo rotacional, mencionaría las siguientes características: fácil de hacer fluir; flexibilidad desde muy suave hasta muy rígida; con la fuerza del acero; la transparencia del vidrio; alta resistencia a resquebrajaduras por acción tenso-activa superficial; y moldeabilidad en un amplio rango de temperatura y tiempos de ciclo. Esta resina ideal no existe, pero existen excelentes resinas que incorporan muchas de estas características deseables.

Cómo se logra un material ideal para moldeo rotacional: facilidad de flujo: para formas complejas, es deseable una resina con índice de fluidez de cinco o más.

Muchos moldeadores han utilizado resinas con índice de fluidez tan bajo como dos, pero esto puede limitar el diseño de la parte.

Buena resistencia al impacto: para partes que serán sometidas a intemperización al aire libre, es importante una buena resistencia al impacto en temperaturas menores a -40° F. El material ideal debe ser capaz de resistir el golpe de un martillo a cualquier temperatura.

ESCR (resistencia al resquebrajamiento por esfuerzos inducidos ambientalmente): si una resina se va utilizar en una aplicación para tanques, es importante la resistencia ambiental a resquebrajamiento por acción tenso-activa superficial.

Encogimiento consistente: Permite la producción uniforme de partes moldeadas estables dimensionalmente y que presenten una deformación previsible y controlable.

Procesamiento: una resina debe tener ciclos de curado rápidos; proporcionar encogimiento consistente de parte a parte; y demostrar buena resistencia al abombamiento. El termino 'curado' puede definirse como el punto en el cuál la parte rotomoldeada alcanza el máximo de sus propiedades físicas, el termino ciclo de curado puede definirse como el tiempo necesario para el procesamiento de la resina.

Considerando el amplio uso del polietileno y las limitantes de espacio en este trabajo, el polietileno será la única resina revisada en detalle. Datos similares a los aquí presentados se pueden obtener de los productos de las otras resinas comúnmente utilizados para moldeo rotacional.

Para comprender el polietileno, es necesario considerar tres de las principales características del material que ya se han comentado anteriormente:

- a. índice de fluidez
- b. densidad
- c. peso molecular.

Los plásticos más importantes y de mayor volumen y uso en moldeo rotacional son polietileno, PVC, nylon y policarbonato. Pero existen otros plásticos que han sido moldeados con gran éxito.

Debido a que el material plástico rotomoldeable ideal no existe, por lo tanto, el material plástico optimo para una aplicación dada es una mezcla de costo, moldeabilidad y requerimiento funcional del producto en manos del usuario final, estos tres requerimientos deben ser satisfechos.

Si embargo, el requerimiento funcional y el costo debe ser precedente a la facilidad de moldeo.

2. DISEÑO DE PARTES ROTOMOLDEADAS

2.1 Diseño del producto

Para diseñar una parte plástica que se va a producir por moldeo rotacional se sigue el mismo protocolo de diseño de cualquier otra parte que vaya a producirse con cualquier técnica de manufactura y con cualquier otro material.

En un protocolo típico de diseño del producto se deben de considerar los siguientes aspectos.

- a. Comprensión de los requerimientos
- b. Diseño preliminar
- c. Selección del material
- d. Selección del proceso
- e. Determinación de la fuerza
- f. Diseño industrial
- g. Ingeniería humana
- h. Condiciones de apariencia
- i. Diseño de la parte a moldear

Para empezar, es importante desarrollar un entendimiento completo de lo que se requiere de un producto en el ambiente donde finalmente habrá de usarse. Esto debe incluir todo lo que se pueda recabar acerca de los requerimientos funcionales del producto.

Una vez que quede comprendido lo que se requiere, se puede empezar a diseñar el producto. Esto es el concepto de diseño preliminar, o bosquejo, donde el diseñador elabora varios borradores de diversas estructuras que proporcionan los requerimientos funcionales del producto.

Una vez que el diseño preliminar esta listo, el diseñador debe seleccionar el material plástico a usar y que debe:

- a. Satisfacer las necesidades funcionales del producto, y
- b. Al mismo tiempo, satisfacer los requerimientos de manufactura del proceso.

En el moldeo rotacional, se debe realizar todo esfuerzo posible para seleccionar uno de los materiales plásticos comunes para rotomoldeo. Si no se puede encontrar ese material entre los plásticos moldeables comunes, entonces se puede considerar un plástico especial que pueda ser rotomoldeado. Sin embargo, se debe recordar que estos plásticos especiales son generalmente menos adecuados para el proceso de moldeo rotacional.

Será más difícil procesarlos y, por consiguiente, más caro lograr el moldeo en una parte tridimensional. Además será difícil encontrar un moldeador capaz, deseoso y con experiencia previa en procesar estos plásticos moldeables especiales que se usa con muy poca frecuencia. Para seleccionar qué material plástico se usara, el diseñador debe verificar que dicho material cumple con todos los requerimientos físicos y ambientales del producto considerando la forma necesaria y las características del proceso de moldeo rotacional.

El diseñador debe también recordar que no existen dos materiales plásticos que reaccionen de la misma manera al proceso de moldeo rotacional. Teniendo esto en cuenta, el diseñador debe hacer todo esfuerzo para adaptar el diseño del producto al material en particular que ha sido escogido.

Por ejemplo, el policarbonato requiere mayor radio en las esquinas que el polietileno. Los materiales de bajo encogimiento en el moldeo como el policarbonato, presentarán menor burbujeo y mejor uniformidad dimensional que el plástico de alto encogimiento en el molde como el polietileno.

El siguiente paso es seleccionar un proceso de manufactura capaz de formar el material plástico en la forma que se requiere de parte.

En este punto, el diseñador tendrá que haber:

- a. Trabajado un concepto básico de diseño
- b. Seleccionado un material plástico adecuado
- c. Escogido un proceso para convertir el material plástico en la parte deseada.

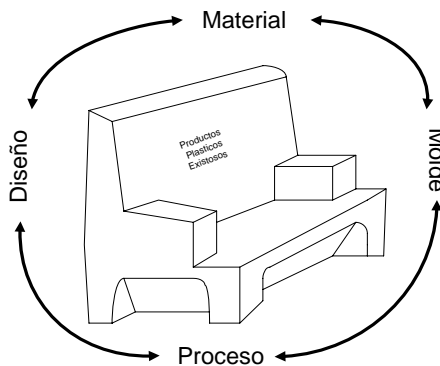
En este punto, es recomendable detenerse a considerar los aspectos de la ingeniería humana y los de apariencia del producto, en el caso de diseño industrial. El diseño de la apariencia es siempre una preocupación, pero es especialmente crítico en el caso de un producto para su uso por el consumidor final.

El diseño industrial se relaciona con la apariencia del producto y la ingeniería humana.

La ingeniería humana se concentra en hacer un producto que beneficie a los seres humanos o que la gente puede utilizar convenientemente. Una vez que los aspectos de diseño industrial del producto han sido considerados, el diseñador puede proceder a finalizar el diseño y preparar los dibujos detallados de ingeniería.

Antes de proceder con el diseño al detalle, es bueno recordar que todos los productos plásticos exitosos pueden visualizarse como rodeados y por consiguiente, protegidos por los cuatro elementos básicos que todos los productos plásticos tienen en común. Ver figura 13.

Figura 13. Producto plástico exitoso



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

- a. Diseño de la parte
- b. Selección del material
- c. Herramienta de diseño y construcción
- d. Proceso de moldeo y operaciones secundarias

Conforme se avanza en el proceso al detalle hasta finalizar el diseño, se debe siempre recordar que estos cuatro elementos básicos deben cumplirse para producir un producto plástico exitoso.

El diseño de una parte de buena calidad es el resultado del entendimiento que tenga el diseñador sobre las capacidades, limitaciones y requerimientos únicos del material, de las herramientas y de las técnicas del proceso todo lo cual ha sido elegido en conjunto, con una atención meticulosa a los detalles del diseño.

Una atención y un cuidado en la fase de diseño del ciclo de desarrollo del nuevo producto, rendirá grandes dividendos cuando el producto sea lanzado al mercado. Mientras el nuevo producto esté en la fase preliminar de diseño, se debe buscar el minimizar las operaciones secundarias de terminado y decorado que no pueden incorporarse en el proceso mismo de moldeo.

El moldeo rotacional es una técnica de procesamiento plástico relativamente nueva. Un diseñador que contemple el uso de moldeo rotacional por primera vez debe proceder con precaución, uno de los problemas recurrentes con el moldeo rotacional es que muchas partes son diseñadas con gente sin experiencia previa en el proceso.

Aquellos que utilizan por primera vez el moldeo rotacional incrementan sus oportunidades de éxito si consultan durante la fase preliminar de un producto nuevo las técnicas de diseño.

2.2 Espesores de pared

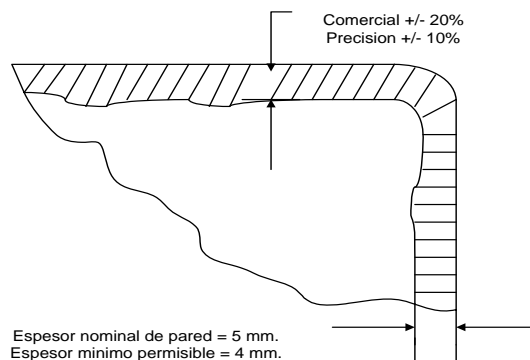
El aspecto más elemental que debe recordarse acerca del diseño de una parte plástica es mantener un espesor uniforme en la pared. En este aspecto, el moldeo rotacional es el sueño de un diseñador hecho realidad, porque el proceso crea uniformidad en el espesor de pared sin importar lo que el diseñador especifique.

De hecho, es difícil producir una parte moldeada con cambio significativo en el espesor de pared, cuando esto sucede, se considera un desafortunado error. Una de las cosas del moldeo rotacional que gusta para el diseño de los productos es que este proceso proporciona la capacidad de aumentar y disminuir el espesor de pared después que el molde de producción ha sido muestreado y las partes moldeadas han sido evaluadas.

La forma ideal para especificar el espesor de la pared en una parte rotomoldeada es especificar la pared nominal e indicar el espesor mínimo permisible de la pared que puede existir en cualquier parte de la parte terminada.

Una tolerancia de $\pm 10\%$ en el espesor de la pared es considerada una tolerancia de precisión. Una tolerancia de $\pm 20\%$ sería una tolerancia comercial. Como se muestra en la figura 14.

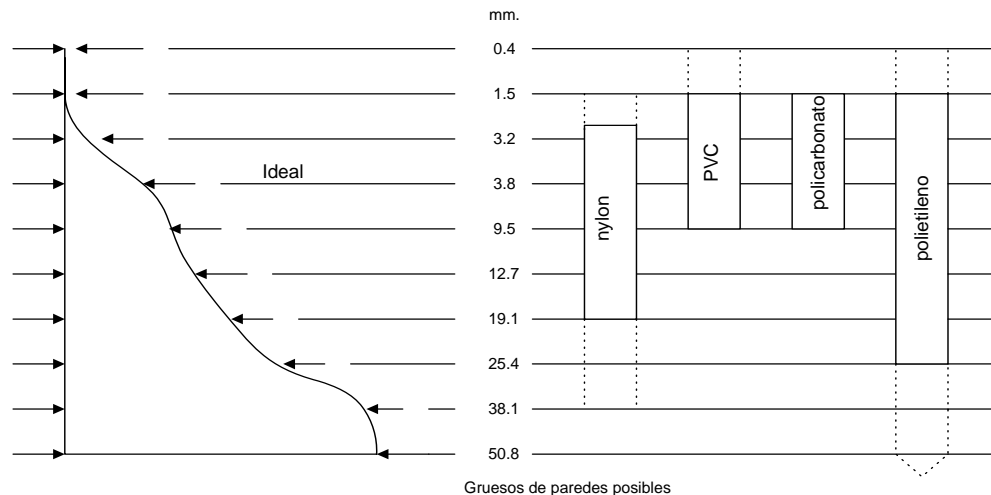
Figura 14. Espesor nominal de pared



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

El espesor nominal de la pared que puede ser moldeado depende del material utilizado. La tabla I enlista el espesor de la pared recomendado para los materiales plásticos más comúnmente rotomoldeadores.

Tabla I. Grosos de pared posible



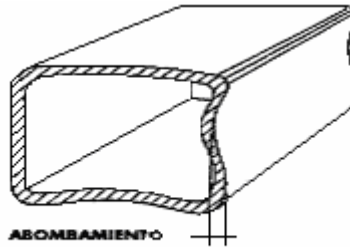
Fuente: Introducción al moldeo rotacional

El espesor de pared ideal para la mayoría de los materiales está en el rango de 1/8 de pulgada (3.2 mm), lo que permite un buen compromiso entre el ciclo de tiempo (de horneado), la facilidad de procesar, la resistencia y el costo. Se pueden utilizar otros espesores si los requerimientos funcionales lo justifican. Las paredes tan delgadas como de 0.030 pulgadas (0.75 mm) han sido producidas en PVC, sin embargo el 0.060 a 3/8 de pulgada (1.5 a 3.2 mm) es estándar.

Generalmente se acepta que las paredes de nylon deben limitarse a un espesor de pared de 0.100 a 0.750 de pulgada (2.5 a 19 mm) como el espesor ideal. El espesor de pared del polietileno varía de 0.060 a una pulgada (1.5 a 25 mm) Sin embargo se han hecho partes grandes con espesores de más de dos pulgadas.

Las partes rotomoldeadas se producen sin soporte interno, lo que dificulta garantizar el aplanado de los grandes antepechos planos como se observa en la figura 15.

Figura 15 Deformaciones en la pared



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Es difícil mantener el aplanado en las superficies grandes. La tabla II enlista las tolerancias de aplanado posibles con los plásticos comúnmente moldeados.

Tabla II. Tolerancia en el aplanado de pared

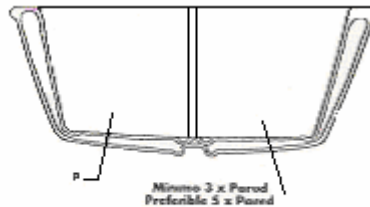
Aplanado del material	Ideal	Comercial	Precision
Polietileno y PVC	5.0 %	2.0%	1.0 %
Nylon y policarbonato	1.0%	0.5 %	0.3 %

Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Los diseñadores experimentados evitan las grandes superficies planas en lo posible, cuando esto no se puede hacer, estas superficies deben ser soportadas con costillas rígidas o una corona de 0.015 pulgadas por pulgada. Se debe proporcionar una distancia adecuada entre las paredes paralelas para permitir que el plástico fundido entre en contacto con todas las superficies internas de la cavidad.

Las paredes laterales que estén muy juntas una con la otra se puentean y evitan que la cavidad se llene completamente. Una separación de pared de cinco veces el espesor de la pared de la parte da por resultado el moldeo de partes de buena calidad. Ver figura 16

Figura 16. Distancia interna mínima entre paredes



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Las separaciones de pared tan pequeñas como tres veces el espesor nominal de la pared han sido moldeadas con éxito, sin embargo, las paredes tan cercanas requieren atención extra. El polvo finamente molido tiene una densidad de aproximadamente tres veces la del material final ya compactado. El diseño de la parte y por consiguiente el de la cavidad, deben tener espacio suficiente para aceptar esta carga de polvo.

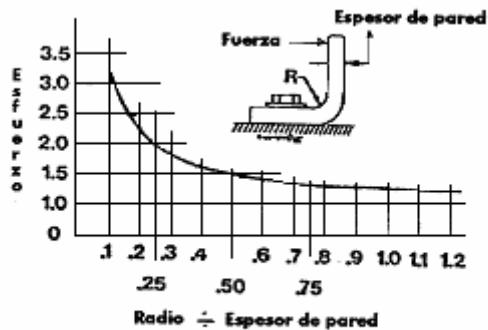
2.3 Radios de esquina

Los radios en las esquinas de las partes plásticas tienen dos funciones principales:

- a Mejorar la parte moldeada.
- b Distribuir la presión en una esquina sobre una área mas amplia.

Es un hecho bien conocido que la parte plástica será altamente presionada donde el radio de una esquina interna es menor del 25% del espesor nominal de la pared. La esquina se fortalecerá notablemente cuando el tamaño del radio se incrementa al 75% del espesor nominal de la pared. Se pueden producir radios más grandes, pero proporcionan muy poca fuerza adicional en las esquinas como se muestra en la figura 17.

Figura 17. Resistencia de la esquina en función del radio



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

La tabla enlista los radios recomendados para los materiales comúnmente moldeados. Siempre que sea posible, el diseñador debe utilizar estos radios o el tamaño indicado por la grafica de fuerza de radio o la que sea mas grande.

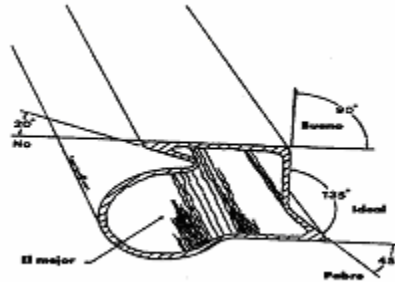
Tabla III. Espesores de pared recomendables

Material	Condición	Radio Interno en mm	Radio externo en mm
Poliétileno	Ideal	6.4	12.7
	Comercial	3.2	6.4
	Mínimo	1.6	3.2
PVC	Ideal	6.4	9.57
	Comercial	3.2	4.8
	Mínimo	1.6	2.4
Nylon	Ideal	12.7	19.1
	Comercial	6.4	9.5
	Mínimo	3.2	4.8
Policarbonato	Ideal	12.7	19.1
	Comercial	6.4	9.5
	Mínimo	3.2	4.8

Fuente: Introducción al moldeo rotacional

El proceso de rotomoldeo puede fácilmente producir partes con ángulos de 90 grados en casi cualquier material siempre y cuando las esquinas estén redondeadas. Materiales rígidos de flujo difícil, como el policarbonato, tiene dificultades para llenar ángulos mayores de 45 grados sin puentearse como se muestra en la figura 18.

Figura 18. Tipos de esquina



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Las esquinas internas puntiagudas en el molde son los últimos puntos que alcanzan la temperatura de moldeo. El plástico también tiene una tendencia a emigrar de las esquinas puntiagudas internas. Estas dos acciones se combinan para producir una reducción en el espesor de la pared en las esquinas puntiagudas internas de la parte.

Las esquinas puntiagudas externas en los moldes son generalmente las más cercanas al calor del horno. Alcanzan la temperatura de moldeo primero y empiezan a recoger plástico antes que las otras superficies de moldeo. Hay una tendencia del plástico a acumularse en las esquinas externas. Estas dos acciones provocan una situación donde las esquinas externas en partes rotomoldeadas son casi siempre más gruesas que el resto de la parte. Con frecuencia las esquinas externas son altamente cargadas y el espesor añadido en estas esquinas se considera una ventaja en el proceso de moldeo rotacional.

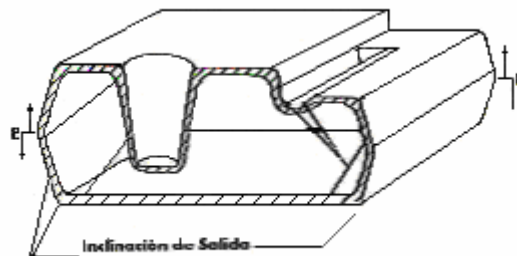
2.4 Ángulos de salida

Los ángulos de salida son ahuzamientos que se colocan en las superficies perpendiculares a la línea de separación del molde para facilitar el retirar la parte del molde.

Esto se requiere para darle una cierta conicidad de la parte, para permitir su salida del molde. Es difícil establecer rápida y fácilmente las reglas para los ángulos de salida en partes rotomoldeadas. Algunas partes han sido exitosamente producidas sin ángulos de salida.

La habilidad de producir partes con paredes perfectamente verticales sin conicidad es una razón por la que los diseñadores especifican el moldeo rotacional. Es conveniente decir, sin embargo que al incorporar ángulos de salida al diseño de una parte plástica simplifica su remoción del molde. Esto es especialmente cierto en el caso de superficies internas donde el material se encoge hacia un corazón interno, tal como en el hoyo mostrado en la figura 19.

Figura 19. ángulos de salida



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

La tabla IV siguiente enlista los ángulos de salida mínimos y máximos recomendados para los materiales plásticos mas comúnmente moldeados. Existe alguna variación debido al material con poca o nula conicidad requerida en las superficies externas para el polietileno y PVC, y con dos a cuatro grados recomendados para las superficies internas con policarbonato, la mejor conicidad es la máxima permisible sin llegar a deteriorar las funciones de la parte.

Tabla IV. Ángulos de salida recomendables para diversos materiales

	Superficies externas		Superficies internas	
	Mínimo	Máximo	Mínimo	Máximo
Polietileno	0.0°	1.0°	1.0°	2.0°
PVC	0.0°	1.5°	1.0°	3.0°
Nylon	1.0°	1.5°	1.5°	3.0°
Polycarbonato	1.5°	2.0°	2.0°	4.0°
Poliéster	1.0°	1.5°	1.5°	3.0°

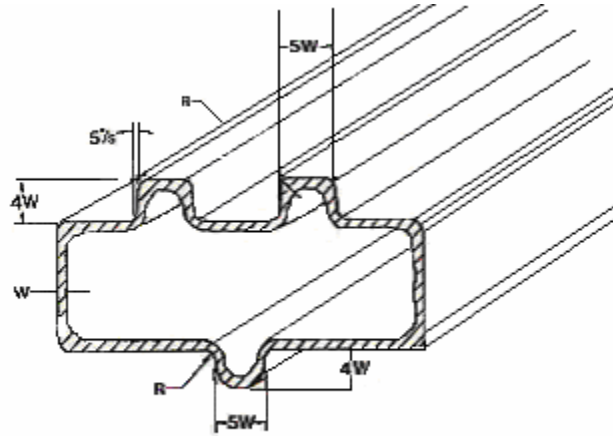
Fuente: Introducción al moldeo rotacional

2.5 Costillas para refuerzo

Las partes rotomoldeadas frecuentemente tienen paredes que son delgadas en comparación con su tamaño. El uso de las costillas puede incrementar la rigidez de la parte y al mismo tiempo mantener el espesor de la pared al mínimo. Esto da por resultado partes más fuertes y ligeras producidas en ciclos de moldeo cortos y a bajo costo. Las pestañas profundas o delgadas son en realidad paredes paralelas muy cercanas entre sí y no deben exceder los lineamientos de diseño para paredes paralelas.

En la figura 20, se muestran relaciones de la pared de la pieza con el ancho y el alto de las costillas reforzantes en rotomoldeo. Su profundidad debe de ser por lo menos cuatro veces el espesor de la pared y el ancho debe ser cinco veces el espesor de la pared, para permitir que el material fluya y llene la cavidad. Al igual que los ángulos agudos las proporciones reales pueden variar ligeramente para materiales diferentes. Los materiales de fluido más rígido podrían requerir pestañas más anchas y bajas para lograr el llenado.

Figura 20. Costillas rigidizadoras en piezas rotomoldeadas.

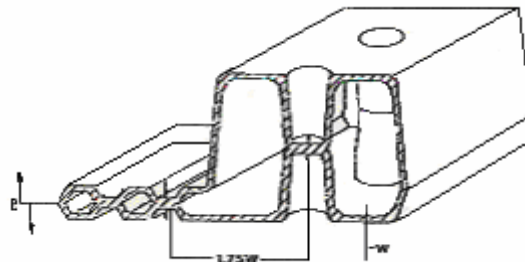


Fuente: Introducción al moldeo rotacional

2.6 Refuerzos de paredes con espacios cercanos.

Este refuerzo es una técnica en que las paredes con espacios cercanos son anexadas una a la otra para proporcionar fuerza adicional y estabilidad dimensional. El espesor exacto en área es normalmente establecido por prueba y error, sin embargo 1.75 % del espesor de la pared es un buen inicio como se observa en la figura 21.

Figura 21. Refuerzos (w = espesores de pared)



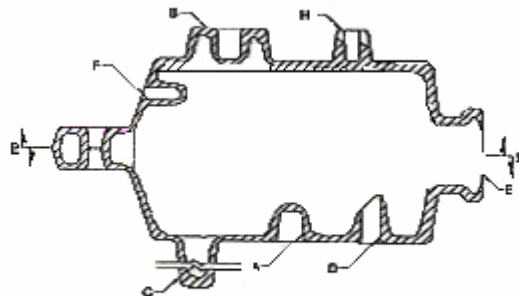
Fuente: Introducción al moldeo rotacional

2.7 Hoyos

La misma naturaleza del proceso de moldeo rotacional hace difícil moldear hoyos automáticamente a través de las paredes laterales de una parte. Esto es una ventaja si se están produciendo flotadores o pelotas, pero la mayoría de los productos requiere una abertura para entrar a la parte o para adherirla a otros artículos.

La protuberancia realizada hacia el interior con perforación mostrada en la figura, puede ser formada sobre un tubo de ventilación. Los huecos ciegos como se muestran en la figura 22a pueden ser moldeados pero unicamente si se proyectan hacia el interior de la parte, los huecos ciegos proyectados hacia fuera o huecos con protuberancia, como se muestra en la figura 22h no pueden ser rotomoldeados. Un hueco ciego con paredes proyectadas hacia fuera se puede obtener agregando una protusión a la pared de la parte como se muestra en la figura 22b. De hecho este hoyo es básicamente el mismo caso mostrado en la figura 22a. Los cuellos perforados que se proyectan hacia fuera, se pueden formar al moldear protuberancias cerradas más profundas y posteriormente cortando la protuberancia a la longitud deseada para exponer el hoyo como se muestra en la figura 22c.

Figura 22. Diversas formas de aberturas, hoyos y agujeros



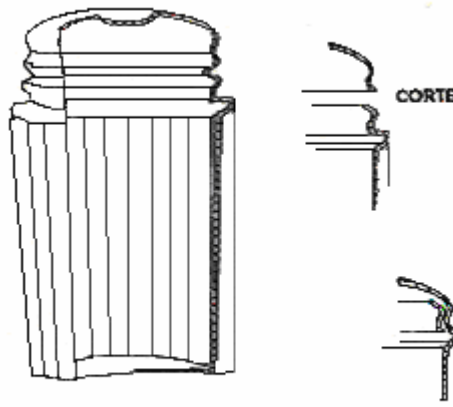
Fuente: Introducción al moldeo rotacional

El diámetro exterior del cuello puede ser dimensionalmente controlado de cerca; sin embargo, el diámetro interior será libremente formado y su tamaño no puede ser controlado adecuadamente. El hoyo en la figura 22f es un hoyo proyectado hacia adentro perpendicular a la dirección de la abertura del molde, este hoyo puede ser moldeado utilizando una acción lateral en el molde. Esto complica el diseño del molde e incrementa el costo. Los hoyos grandes que atraviesan la pared como se muestra en la figura 22e pueden producirse por un método único.

Para formar este tipo de hoyo, una sección de la cavidad es diseñada con una superficie no adherente y una sección del molde con baja conductividad térmica debido a que hay una temperatura insuficiente en la pared interna de la cavidad en esta área y el plástico no se adhiere y así se forma el hoyo.

Otro enfoque interesante para producir aberturas grandes es moldear dos partes en una y separarlas después del moldeo para producir dos partes separadas, por ejemplo un contenedor de desechos y su cubierta se muestran en la figura 23.

Figura 23. Dos partes moldeadas en una sola cavidad



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

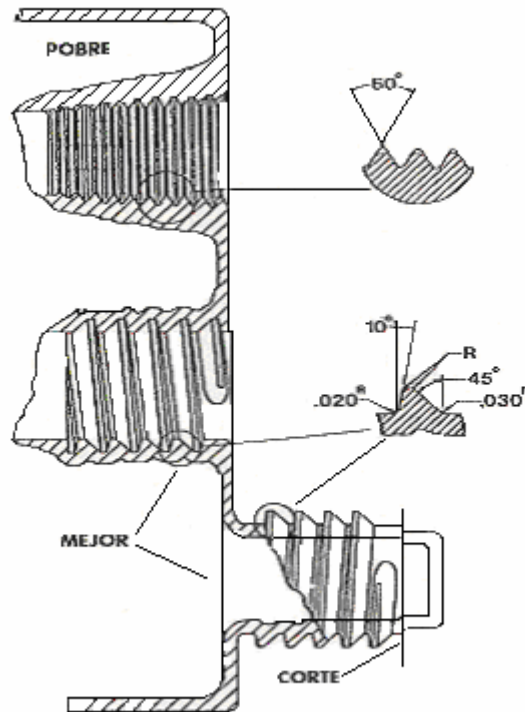
El moldeo rotacional es un proceso ideal para producir partes plásticas huecas y sin costuras, sin embargo, la mayoría de las partes requiere una abertura de ventilación en la pared de la parte para igualar la presión dentro y fuera de la parte moldeada conforme el molde es calentado y enfriado. En muchos casos, el hoyo que queda del tubo de ventilación puede ser utilizado como parte del diseño final de la parte.

2.8 Roscas moldeadas

Roscas tanto internas como externas pueden ser rotomoldeadas. Las formas gruesas de ACME y tipo reforzado son las preferidas. Las cuerdas con perfiles agudos como la *American Standard* o roscas para tubos son difíciles de producir sin puenteo en el vértice de las cavidades roscadas.

Cuando se necesitan cuerdas finas, se deben maquinar en la parte después de moldearla, las roscas de cuerda fina que son muy difíciles de moldear, se logran mediante insertos metálicos que se agregan a la parte durante el ciclo normal de moldeo tal y como se muestra en la figura 24.

Figura 24. Roscas rotomoldeadas



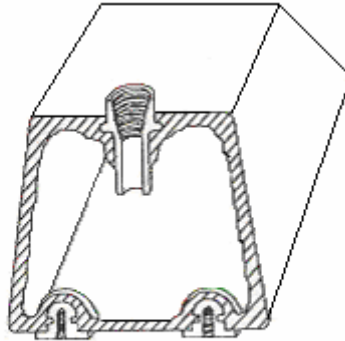
Fuente: Introducción al moldeo rotacional

2.9 Insertos

Los insertos fijados durante el moldeo son comunes en partes rotomoldeadas y como se puede ver en la figura 25. Se debe tener cuidado al seleccionar el material para un inserto. Este debe ser químicamente compatible con el plástico que se va a utilizar y tener suficiente resistencia a la temperatura porque debe de soportar el calor del horno.

Al mismo tiempo se deben de evitar los insertos con cuerdas y esquinas filosas ya que pueden provocar grietas por esfuerzos intensos cuando el plástico se enfría y se encoge apretando fuertemente al inserto.

Figura 25. Insertos metálicos



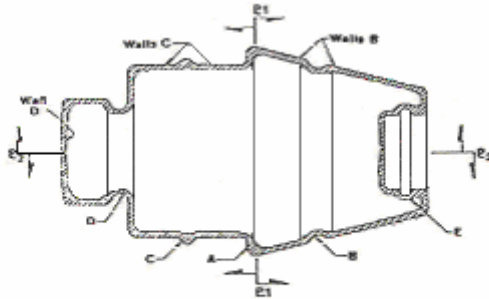
Fuente: Introducción al moldeo rotacional

El mismo efecto se experimenta con insertos grandes. Estos también se deben de evitar. Al montar los insertos en el molde se debe prever un sujetamiento seguro del inserto, una ubicación adecuada de este y también la transparencia de calor hacia el inserto.

2.10 Hendiduras

El rotomoldeo utiliza moldes hembra sin corazón central, esto permite que las paredes de las partes moldeadas sean flexionadas hacia adentro para liberar las hendiduras o muescas, del tipo mostrado en las figuras 26(b, c y d) o hacia fuera como en el caso de la hendidura mostrada en la figura 26e, misma que requiere un corazón macho para formarla.

Figura 26. Diversos tipos de hendiduras



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Conforme la parte moldeada se enfría, el plástico se encoge y se separa de las superficies interiores de la cavidad. Este encogimiento tiende a liberar pequeñas hendiduras o muescas del tipo mostrado en las figuras 26b y 26c así como en la figura 26d, aunque en menor escala.

De las hendiduras mostradas en la parte de la figura 26, la más difícil de retirar del molde es la 26e. Esto es debido a que el encogimiento del plástico asienta la hendidura con mucha fuerza al molde por ser macho aquí. Las muescas potencial de la figura 26a puede ser eliminada al localizar la línea de la separación del molde en el corte 1. Las muescas de las figuras 26a, 26b, 26c y 26d dejaran de serlo si la línea de separación del molde estuviera reubicada como se muestra en el corte 2.

La facilidad para sacar del molde una pieza con hendiduras como las mostradas en la figura 26, depende de la forma de la hendidura en sí misma, la rigidez del material, el factor de encogimiento del material y el espesor de la pared.

2.11 Tolerancias

El importantísimo tema de las tolerancias es siempre difícil de reducir a números sencillos y rápidos. Las tolerancias accesibles son una cosa muy individual que depende de:

- a) El diseño de la parte.
- b) El material plástico utilizado
- c) Las dimensiones de la cavidad
- d) La técnica de procesamiento utilizada

Los materiales plásticos de alto encogimiento en el molde, como el polietileno y el nylon, son más difíciles de moldear a dimensiones de precisión que los materiales de bajo encogimiento en el molde, como el policarbonato, por consiguiente, las tolerancias que se pueden esperar deben contemplar estas diferencias en el material plástico que se está especificando.

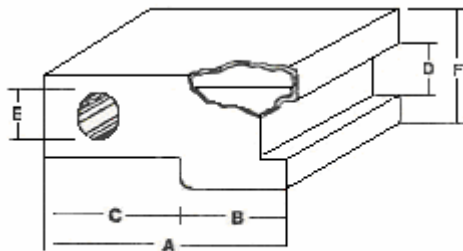
La manera en que se moldea un material plástico dado afecta notablemente el encogimiento en el molde. Variaciones menores en el calentamiento y muy especialmente en el enfriado, pueden dar por resultado tamaños diferentes de partes terminadas. El tamaño final de una parte plástica moldeada rotacionalmente depende, en gran escala, del tamaño de la cavidad que se utilice para moldear la parte.

Las variaciones en dimensiones que se tengan entre las especificaciones y el molde serán reproducidas en la parte rotomoldeada. Sin embargo, una vez que el molde ha sido construido, sus dimensiones permanecerán relativamente constantes. Puede haber variaciones menores en las líneas de separación de la cavidad o cambios debido a desgaste del molde; sin embargo estas pueden ser compensadas con buen mantenimiento del molde.

La forma de una parte plástica rotomoldeada también afecta las tolerancias en la parte terminada. Generalmente hablando, para un material plástico dado, se pueden sostener dentro de tolerancias más estrictas las dimensiones pequeñas que las dimensiones grandes.

Las dimensiones internas como los detalles D y E mostradas en la figura 27, se estabilizan al encogerse contra secciones positivas en la cavidad. Las dimensiones externas como los detalles A, B, C y F, también mostradas en la figura 27 tienen la libertad de separarse de las paredes de la cavidad conforme el material plástico se encoge. Las dimensiones exteriores como estas no pueden mantenerse dentro de las tolerancias tan estrictas como las dimensiones internas.

Figura 27. Tipos de dimensiones a considerar para establecer tolerancias de diseño



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Las partes rotomoldeadas se forman en moldes huecos que no ofrecen resistencia al encogimiento. Esto dificulta o hasta puede imposibilitar, el control sobre las dimensiones internas en piezas plásticas rotomoldeadas. Aquellas dimensiones de las partes plásticas que no están en contacto con el molde, como son las dimensiones internas de la pieza generalmente no quedan especificadas.

La reproductibilidad de dimensiones críticas en partes plásticas rotomoldeadas dependen de la forma de la parte, el material a moldear y la uniformidad y calidad del molde. Todos estos factores deben considerarse al especificar las tolerancias en las partes que se van a rotomoldear. Los principios de diseño aquí presentados son los lineamientos básicos a seguir, sin importar el tamaño o complejidad de la parte, sin embargo, como se ha explicado, estos lineamientos cambian ligeramente para diferentes materiales.

La tecnología nueva de hoy será cosa común mañana. La industria del moldeo rotacional encontrara maneras de mantenerse dentro de tolerancias inalcanzables hoy. Se llegaran a moldear partes consideradas como imposibles, pero por ahora, estas son las realidades y lineamientos de diseño para partes rotomoldeadas. La tabla V muestra las tolerancias ideales, comerciales y de precisión para partes plásticas moldeadas rotacionalmente.

Tabla V. Tolerancias de diseño para piezas rotomoldeadas

Material	Condiciones	A	B	C	D	E	F
Poliétileno	Ideales	+/- 2.0 %	+/- 2.0 %	+/- 2.0 %	+/- 1.5 %	+/- 1.0 %	+/- 2.0 %
	Comerciales	+/- 1.0 %	+/- 1.0 %	+/- 1.0 %	+/- 0.8 %	+/- 0.8 %	+/- 1.0 %
	De precisión	+/- 0.5 %	+/- 0.5 %	+/- 0.5 %	+/- 0.4 %	+/- 0.4 %	+/- 0.5 %
Cloruro de polivinilo	Ideales	+/- 2.5 %	+/- 2.5 %	+/- 2.5 %	+/- 1.5 %	+/- 1.5 %	+/- 2.5 %
	Comerciales	+/- 2.0 %	+/- 2.0 %	+/- 2.0 %	+/- 1.0 %	+/- 1.0 %	+/- 2.0 %
	De precisión	+/- 1.0 %	+/- 1.0 %	+/- 1.0 %	+/- 0.5 %	+/- 0.5 %	+/- 1.0 %
Nylon	Ideales	+/- 1.0 %	+/- 1.0 %	+/- 1.0 %	+/- 0.8 %	+/- 0.8 %	+/- 1.0 %
	Comerciales	+/- 0.6 %	+/- 0.6 %	+/- 0.6 %	+/- 0.5 %	+/- 0.5 %	+/- 0.6 %
	De precisión	+/- 0.4 %	+/- 0.4 %	+/- 0.4 %	+/- 0.3 %	+/- 0.3 %	+/- 0.4 %
Policarbonato	Ideales	+/- 0.8 %	+/- 0.8 %	+/- 0.8 %	+/- 0.5 %	+/- 0.5 %	+/- 0.8 %
	Comerciales	+/- 0.5 %	+/- 0.5 %	+/- 0.5 %	+/- 0.3 %	+/- 0.3 %	+/- 0.5 %
	De precisión	+/- 0.3%	+/- 0.3%	+/- 0.3%	+/- 0.2%	+/- 0.2%	+/- 0.3%

Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Tolerancia ideal = cuidado mínimo requerido

Tolerancia comercial = posible con cuidado razonable

Tolerancia de precisión = posible con dificultad y costo adicional

Agregar 1.0 % para variaciones de líneas de separación.

2.12 Cálculos matemáticos a considerar

2.12.1 Medidas por cambios de temperatura, por calentamiento y enfriamiento

Evaluación de la aplicación de los efectos de expansión o contracción debido a calentamiento o enfriamiento contra una complacencia de producto con medidas tolerantes.

Formula: cambios de medidas = $Coe \times D1 \times T1$

Donde: Coe = coeficiente de resina de expansión (plg/plg/°F)

$D1$ = dimensión original (plg)

$T1$ = cambio de temperatura (°F)

(Coe) debe ser calculado por alguna resina especifica seleccionada usando ASTM D-696. Es una prueba normal conducida sobre la temperatura en una rango de $-30^{\circ} C$ a $30^{\circ} C$. Los valores variaran para diferentes rangos de temperatura.

Ejemplo de calculo:

$$D1 = 48 \text{ plg}$$

$$Coe = 0.8 \times 10^{\text{exp}(-4)} \text{ plg/plg/}^{\circ} F$$

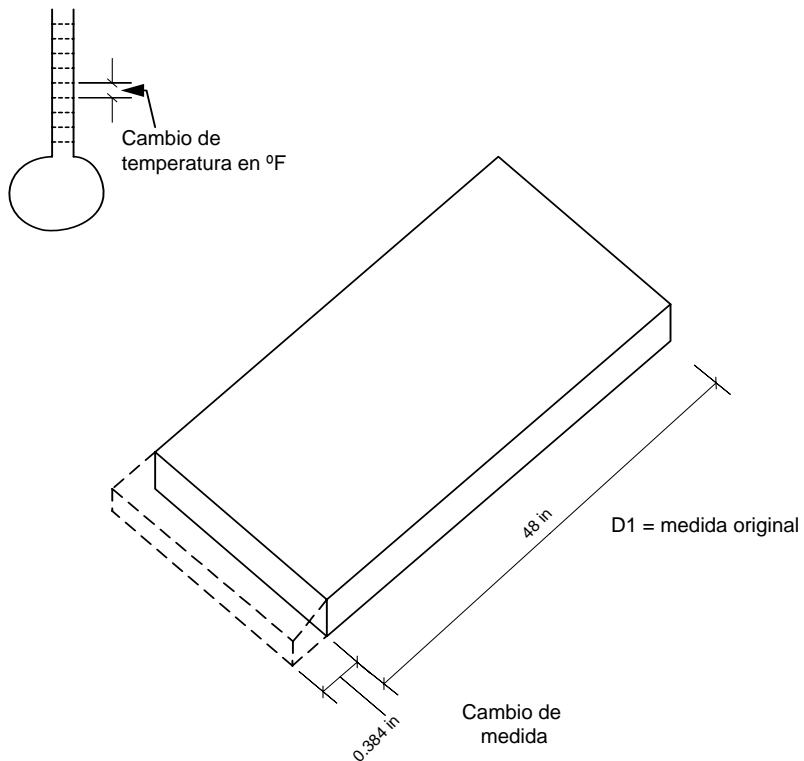
$$T1 = 10^{\circ} F$$

Dimensiones de cambio: = $Coe \times D1 \times T1$

$$= 0.8 \times 10^{\text{exp}(-4)} \text{plg/plg/}^{\circ} F \times 48 \text{ plg} \times 10^{\circ} F$$

$$= 0.0384 \text{ plg.}$$

Figura 28. Cambios de medida por calentamiento y enfriamiento



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

2.12.2 Cálculo para el diseño del espesor de pared de un tanque cilíndrico

Aplicación en determinados espesores de pared de un tanque cilíndrico cuando el diámetro y la altura son conocidos.

Aplica solo para las siguientes condiciones:

- a) Presión atmosférica

- b) Temperatura ambiente de 60-85 °F
- c) Tanque de cilindro vertical.

Formulas: $T = (P \times O.D)/2 S_d$

$$P = S.G. \times 0.433 \text{ (psi/pie. H}_2\text{O)} \times H \text{ (pie.)}$$

$$SG = (\text{Densidad del fluido (lbs/gal.)}/(\text{densidad del agua (8.33 Lbs/gal)})$$

Donde: $T =$ espesor de la pared del tanque (plg.)

$P =$ presión (psi)

$OD =$ diámetro externo del tanque (plg.)

* $S_d =$ designación de la carga para resinas (presiones internas)

$SG =$ gravitación específica del fluido

$H =$ fluido principal o altura del tanque (pie.)

Ejemplo de calculo:

Diámetro del tanque = 9 pie. x 11 in (119 plg)

Altura del tanque = 13 pie.

Densidad del fluido = 12 lbs/gal. (U.S.)

$S_d = 600$ psi para la resina en cuestión.

$$P = SG \times 0.433 \times H.$$

$$= (12 \text{ lbs/gal} \times 0.433 \times 13 \text{ pie})/ 8.33 \text{ lbs/gal.}$$

$$= 8.1 \text{ psi}$$

$$T = (P \times O.D)/2 S_d = (8.1 \text{ psi} \times 119 \text{ plg})/(2 \times 600 \text{ psi})$$

$$T = 0.803 \text{ in.}$$

* S_d se obtiene el valor para una resina suministrada por una resina específica

2.12.3 Cálculo de presiones internas en las paredes de un tanque

La determinación de las presiones internas es unicamente aplicable cuando se conoce el espesor de pared, como lo calculado en la sección 2.12.2

Aplicable solo para las siguientes condiciones:

- a) presión atmosférica
- b) temperatura ambiente 60-85 °F
- c) tanque de cilindro vertical

Esta formula deberá ser usada en conjunción con la designación de espesores de pared, para verificar la presión en las paredes, seleccionando una resina en cuestión.

Formula: $S = (P \times O.D.) / 2T$

Donde: $S =$ Presión interna en las paredes de un tanque

$P =$ presión interna del tanque (psi)

$O.D. =$ diámetro externo del tanque (plg)

$T =$ espesor de la pared del tanque (plg)

Ejemplo de calculo:

Diámetro de tanque = 9 pie. x 11 in. (119 in)

Fluido principal = 13 pie.

Densidad del fluido = 12 lbs/gal. (U.S.)

Espesor de la pared del tanque = 0.803 plg.

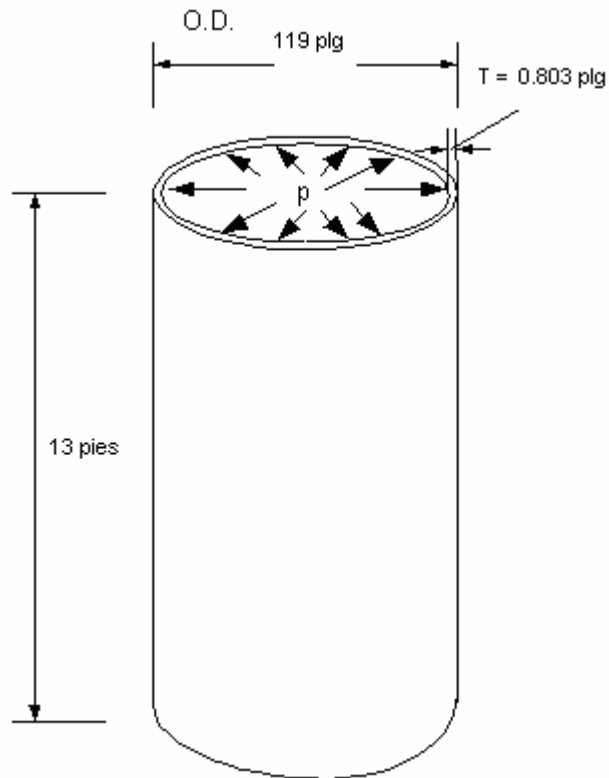
Presión = 8.1 psi

$S = (P \times O.D.) / 2T$

$= (8.1 \text{ psi} \times 119 \text{ plg}) / (2 \times 0.803 \text{ plg.})$

$= 600 \text{ psi}$

Figura 29. Cálculo de las presiones internas de un tanque cilíndrico



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

2.12.4 Cálculo del peso de una pieza, asumiendo su espesor de pared

Determinación exacta en aplicación del peso de las resinas para moldear según tipo de la parte plástica.

Formula:

$$\text{wt (lbs)} = \text{area (plg}^2) \times \text{espesores (plg)} \times \text{densidad (gm/cm}^3) \times 0.036.$$

donde:

área = parte del área de la superficie

espesor = estimado o espesor deseado de la pared

densidad = densidad de la resina expresada en gm/cm³

Ejemplo de calculo:

$$\text{área} = 592 \text{ plg}^2$$

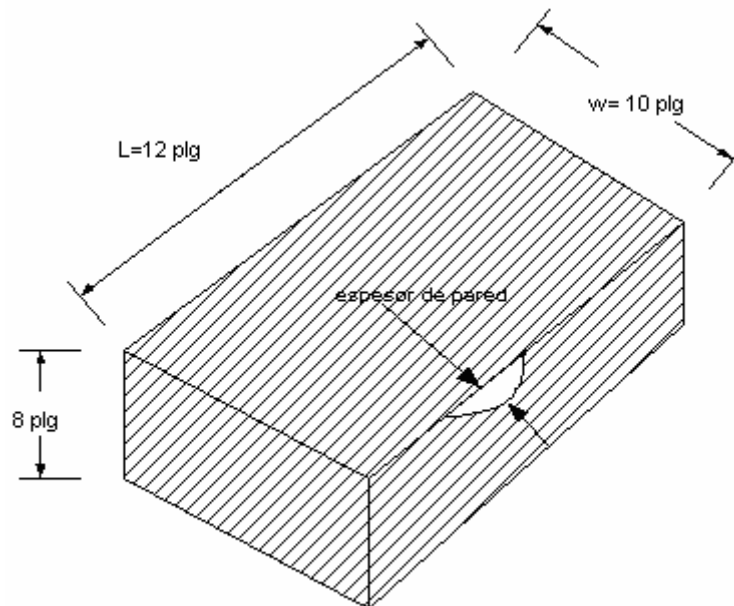
$$\text{Espesor deseado} = 0.125 \text{ plg}$$

$$\text{Densidad de la resina} = 0.939 \text{ gm/cm}^3$$

$$Wt = 592 \times 0.125 \times 0.939 \times 0.036$$

$$Wt = 2.50 \text{ lbs.}$$

Figura 30. Cálculo de partes asumiendo espesores de pared



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

$$L \times w \times 2 \text{ lados} = 240 \text{ plg}^2$$

$$L \times w \times 2 \text{ lados} = 192 \text{ plg}^2$$

$$H \times w \times 2 \text{ lados} = 160 \text{ plg}^2$$

$$\text{Area total de la superficie} = 592 \text{ plg}^2$$

2.12.5 Estimación del peso de una pieza de polietileno

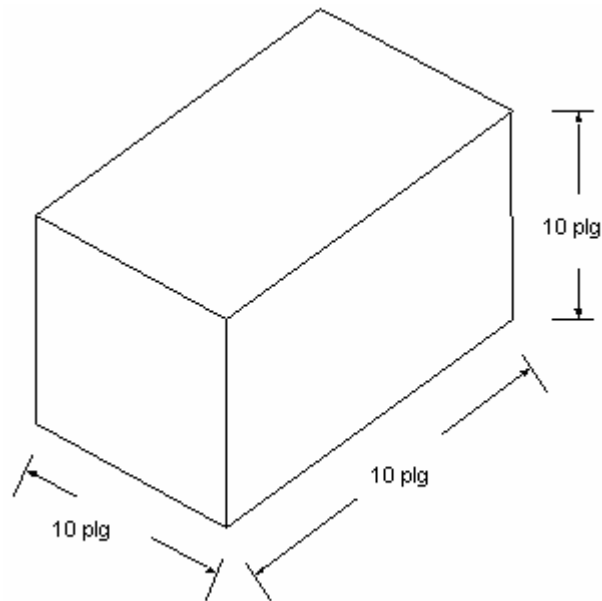
Estimación aplicable en resinas de polietileno.

Formula:

Parte ancha = superficie del área (pulgadas cuadradas)/232
= ancho 0.125 plg de espesor de pared

ejemplo de calculo:

Figura 31. Estimaciones de partes anchas en polietileno



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

600 plg cuadrados/232 = 2.59 lbs se utiliza 0.125 plg de espesor de la pared
= 5.18 lbs se utiliza 0.25 plg de espesor de la pared *
= 7.77 lbs se utiliza 0.375 plg de espesor de la pared **

Si se quiere que la pieza pese el doble se tiene que duplicar el espesor de pared, tomando como base el calculo inicial.

2.12.6 Estimación del espesor de pared de una pieza

Formula:

Parte de espesor = $w t / (\text{área} \times \text{densidad}(\text{material conocido}) \times 0.036)$

Ejemplo de calculo:

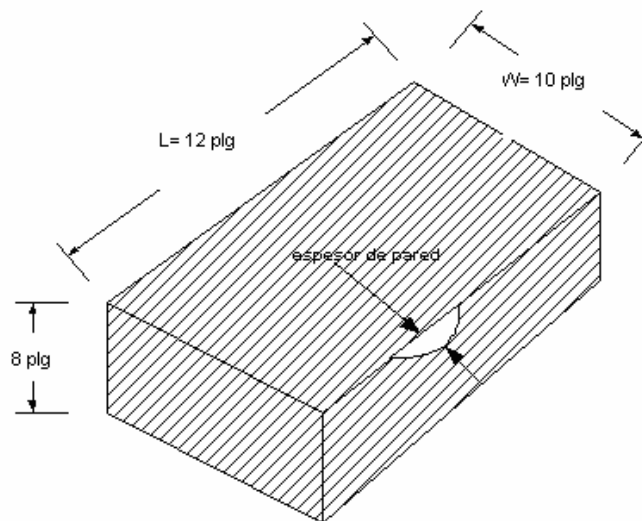
Wt = 5 lbs.

Area = 592 plg²

Densidad = 0.939 gm/cm³

Espesor = $5 / (592 \times 0.939 \times 0.036)$
= 0.249 plg

Figura 32. Estimaciones de espesores de pared



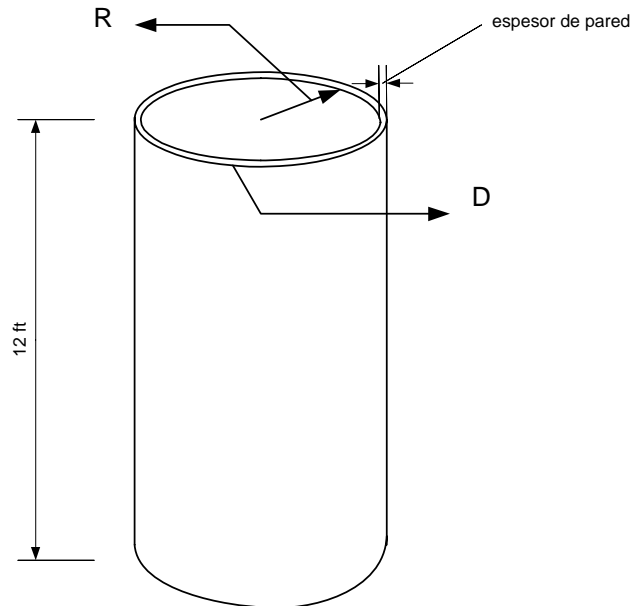
$L \times w \times 2 \text{ lados} = 240 \text{ plg}^2$

$L \times h \times 2 \text{ lados} = 192 \text{ plg}^2$

$H \times w \times 2 \text{ lados} = 160 \text{ plg}^2$

Area total de la superficie 592 plg²

Figura 33. Estimaciones de espesores de pared cilíndrico



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

área total de la superficie de un cilindro cerrado

$$3.1416 \times D \times H = 2226 \text{ plg}^2 \quad \text{Espesor} = 5 / (283 \times 0.939 \times 0.036)$$

$$3.1416 \times R^2 \times 2 \text{ tapas} = 57 \text{ plg}^2 \quad = 0.52 \text{ plg.}$$

área de la superficie total 283 plg²

12.2.7 Cálculo del volumen de la cavidad del molde versus el volumen del peso del material plástico pulverizado

Aplicación para determinar si el molde es de cavidad demasiado larga o corta para aceptar el peso de la parte deseada y su espesor.

Formulas: $V_{mc} = \text{superficie del área} \times \text{espesor de la pared} \times \text{densidad(resina)}$

$$V_{sw} = \text{peso del material pulverizado} \div \text{densidad de masa}$$

Donde:

V_{mc} = volumen de la cavidad del molde

V_{sw} = volumen del material plástico pulverizado

S_w = peso del material plástico pulverizado.

Ejemplos de calculo:

Dimensión del molde 24plg(L)x 24plg(W) x 2plg(H),

densidad(resina) 0.94 gm/cm³

Densidad de masa 23 lbs/pie³,

Espesor de pared 0.186

Paso 1: Convertir densidad de masa a lbs/plg³

$$\begin{aligned} \text{Densidad de masa} &= 23\text{lbs}/\text{ft}^3 \times 1/1728\text{plg}^3/\text{pie}^3 \\ &= 0.1331 \text{ lbs/plg}^3 \end{aligned}$$

Paso 2: Convertir densidad (resina) a lbs/plg³

$$\begin{aligned} \text{Densidad} &= 0.94 \text{ gm/cm}^3 \times 1/454 \text{ gm/lb} \times 16.39 \text{ cm}^3/\text{plg}^3 \\ &= 0.3393 \text{ lbs/plg}^3 \end{aligned}$$

Paso 3: Superficie de área = 2 (24 x 24) + 4 (2 x 24)

$$= 1344 \text{ plg}^2$$

Paso 4: $S_w = 1344 \text{ plg}^2 \times 0.186 \text{ plg} \times 0.03393 \text{ lbs/in}^3$

$$= 8.48 \text{ lbs.}$$

Paso 5: $V_{sw} = 8.48 \text{ lbs}/0.0133 \text{ lbs/plg}^3$

$$= 637.6 \text{ plg}^3$$

Paso 6: $V_{mc} = 24 \times 24 \times 2$

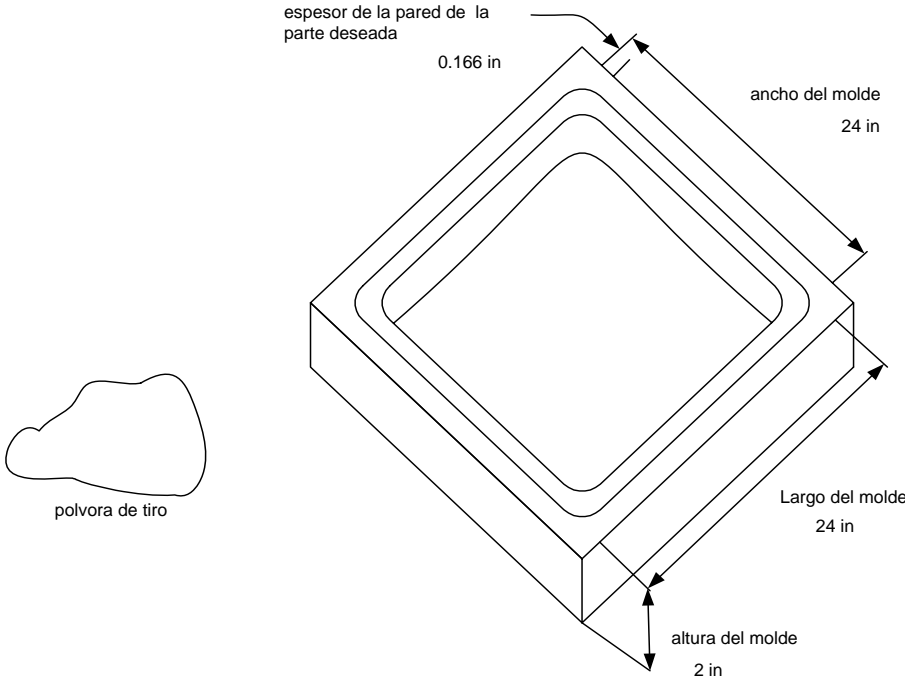
$$= 1152 \text{ plg}^3$$

Comparación: V_{mc} por V_{sw}

$$1152 \text{ plg}^3 \text{ por } 637.6 \text{ plg}^3$$

Sumario: el volumen de la cavidad del molde es lo bastante grande para aceptar el volumen del peso del material requerido para producir las partes deseadas en el espesor de pared.

**Figura 34. Volumen de la cavidad del molde versus peso del material
Plástico pulverizado**



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

3. DISEÑO DE MOLDES PARA ROTOMOLDEO

3.1 Moldes para rotomoldeo

Los moldes son parte vital del proceso de rotomoldeo. Tienen muchas funciones, pero la principal es la de definir la forma de la parte moldeada, el diseño de un molde depende de la parte plástica.

Una parte moldeada no puede ser mejor que el molde que la produjo. Todo diseño de partes plásticas debe considerar los requerimientos de construcción del molde al diseñar la parte plástica que se vaya a fabricar por rotomoldeo.

Además de dar a la parte plástica su forma final, los moldes deben prepararse para realizar simultáneamente otras importantes funciones. Por ejemplo, el molde debe permitir la transferencia de calor hacia adentro y hacia afuera de la cavidad.

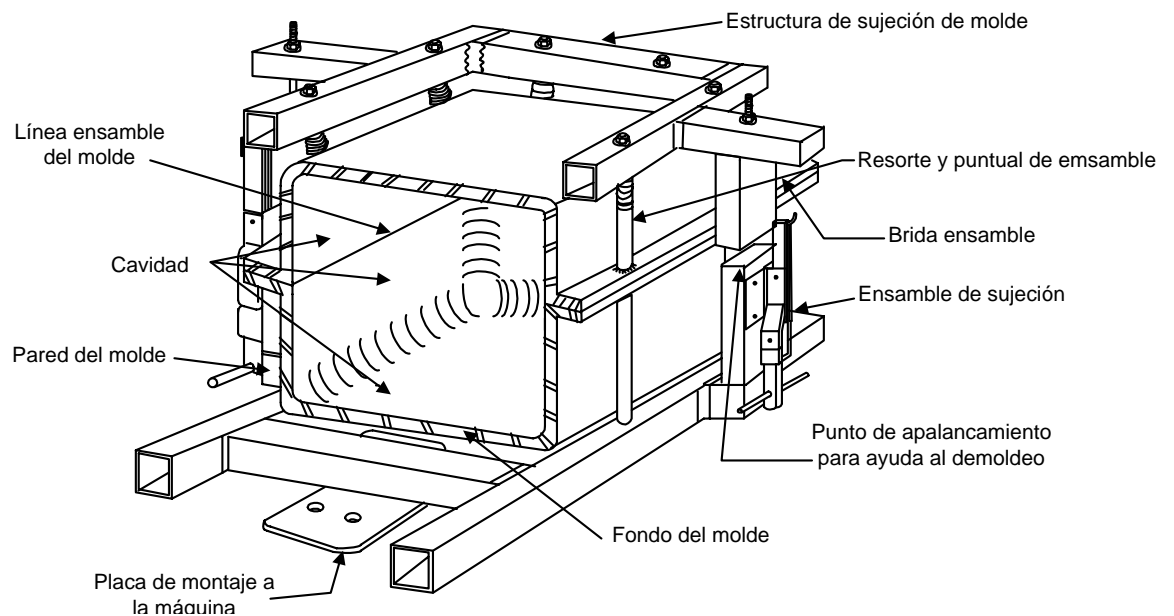
Durante el diseño de los moldes se deben considerar muchos aspectos, como pueden ser:

- a. Colocación del molde en la máquina de rotomoldeo
- b. Apertura y cierre del molde
- c. Remoción de la pieza moldeada
- d. Mantener alineadas las partes del molde
- e. Mantener las partes del molde en su posición durante el proceso
- f. Ventilar la cavidad cuando se requiera.

3.2 Nomenclatura de los moldes

En rotomoldeo nos referimos como molde o herramental, como en ocasiones se le llama, a una unidad completa, ver figura 35.

Figura 35. Partes principales de un molde para rotomoldeo



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Todos los moldes llevan cuatro partes básicas:

- La cavidad, (una o varias)
- La estructura de sujeción, (marco)
- La placa de montaje
- Los mecanismos de cierre
- Tubos de ventilación
- Aros para levantamiento
- Resortes de apriete
- Puntos de apalancamiento para el desmoldeo
- Tope de sujeción
- Insertos sueltos o cavidades de piezas múltiples.

La palabra “cavidad” se refiere únicamente a la parte del molde cuya superficie interna está en contacto con el material plástico y que es la que realmente da la forma final a la parte plástica moldeada. Los nombres dados a cada una de estas partes del molde son resultado del uso cotidiano.

3.3 Tipos de moldes

Existen varios tipos diferentes de moldes que se usan en la industria de rotomoldeo.

- a. Moldes de aluminio vaciado
- b. Moldes de lámina soldada
- c. Moldes electroformados
- d. Moldes maquinados

3.3.1 Moldes de aluminio vaciado

Los moldes con cavidades de aluminio vaciado son el tipo de molde más comúnmente usado en rotomoldeo cuando se busca alta calidad en las piezas a fabricar.

Existen dos tipos de cavidades vaciadas: de yeso y de arena. Las cavidades vaciadas usando yeso son más caras, pero también de mejor calidad. Estas cavidades proporcionan mejor repetibilidad dimensional y detalles finos.

Se pueden vaciar en espesores de pared tan delgados como 4.75mm (0.187 plg). Las cavidades vaciadas usando arena son más económicas, pero los vaciados son más porosos, el vaciado de arena no proporciona el detalle ni la repetibilidad de las dimensiones que si son posibles con las de yeso.

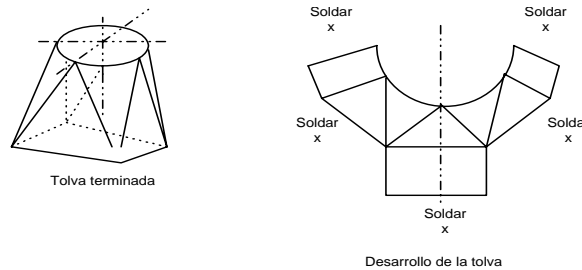
Los vaciados de arena tienen un espesor mínimo de pared de aproximadamente 6.35 mm(0.250 plg). Ambos tipos de cavidades de aluminio requieren un modelo o patrón. Los patrones tienen la desventaja de incrementar el costo y el tiempo requeridos para producir una cavidad vaciada. Sin embargo, estos patrones nos permiten ver como será la parte aún antes de construir el molde. También nos permiten la entrega de cavidades adicionales rápidamente y de bajo costo. Moldes grandes de aluminio vaciado se usan sólo cuando la complejidad y tolerancias dimensionales son importantes.

3.3.2 Moldes de lamina soldada

Las cavidades fabricadas con lámina metálica son el segundo tipo de molde más común usado en rotomoldeo. Su mayor aplicación es en cavidades grandes de formas relativamente simples.

Es difícil definir los costos relativos de una cavidad de lámina en comparación con una cavidad de aluminio vaciado. Por ejemplo, una cavidad para un tanque de 208 litros (55 galones), puede ser hecha por vaciado o en lámina. Si se requieren varias cavidades, el vaciado sería la solución más económica. Si se requiriera únicamente una cavidad, la lámina de metal sería más rápida y de menor costo. Ver ejemplo en la figura 36.

Figura 36. Tolva con paso de sección redonda a rectangular



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Las cavidades fabricadas se hacen doblando, estirando, cortando y soldando placas de hojas de metal. Los metales más comunes son aceros al carbón, aluminio y acero inoxidable, este proceso requiere mucha habilidad; se pueden lograr formas sorprendentes y complejas.

El espesor de las cavidades fabricadas en lámina puede variar según se requiera. Una gran ventaja de este enfoque es la posibilidad de utilizar diferentes espesores y/o diferentes materiales en diferentes lugares de la cavidad. Los espesores para aceros al carbón e inoxidables para moldes de rotomoldeo generalmente fluctúa entre 1.3 y 3.6 mm (0.050 a 0.141 pulgadas), siendo el espesor más común el de 2.0 mm (0.078 pulgadas), el espesor de lámina para cavidades de aluminio varía de 2.0 a 6.4 mm (0.078 a 0.250 pulgadas)

En general se puede decir que las marcas que deja la soldadura son difíciles de remover dependiendo del material a soldar, esto quiere decir que entre más fino se requiera el acabado, tanto más caro saldrá el molde

Eliminar totalmente las marcas de soldadura incrementaría notablemente el costo del molde, además los terminados inadecuados de soldadura pueden provocar porosidad e imperfecciones. Estas marcas no afectan la calidad funcional de la parte, pero sí afectan la apariencia.

3.3.3 Moldes electroformados

Las cavidades electroformadas son quizá las cavidades más costosas para usar en rotomoldeo, son principalmente usadas para formas muy complicadas que requieren detalles muy finos en el acabado de la superficie y/o muescas profundas.

Las cavidades electroformadas tienen la desventaja, al igual que las cavidades de vaciado, de requerir un patrón, el electroformado que es un proceso excelente para hacer moldes de cavidades múltiples dimensionalmente precisas, y una de las ventajas del proceso es su habilidad para producir cavidades con muescas profundas.

3.3.4 Moldes maquinados

Las cavidades maquinadas de acero al carbón, aluminio o acero inoxidable proporcionan el nivel más alto de precisión de los varios tipos de moldes usados. También son el tipo de cavidades más caro, excepto para formas simples y sencillas muy fáciles de maquinar, así como también proporcionan el más alto nivel de pulido de superficies y pueden ser texturizados, grabados, tratados con chorro de arena (*sand-blast*).

La mayor desventaja es que son económicamente posibles únicamente para formas simples, a veces también es difícil maquinar la parte externa del molde para producir una pared delgada y uniforme de la cavidad. En años recientes, las capacidades de cavidades maquinadas se han extendido con el advenimiento del CAD-CAM o CNC, para hacer formas más complejas y remover el exceso del material de la parte exterior de la cavidad y para producir una pared uniformemente delgada.

Las cavidades maquinadas pueden o no ser económicas para una sola cavidad, sin embargo proporcionan el tiempo de entrega lo más rápido posible .

3.4 Estructuras de soporte

Todos los moldes deben ser montados en la máquina de rotomoldeo. Este montaje puede consistir desde una simple placa de acero atornillada al brazo de la máquina y fijada en alguna forma a la cavidad, hasta una complicada estructura de tubo de acero que de soporte a la cavidad y a los mecanismos de sujeción.

La mayoría de marcos o estructuras son fabricados de acero. En algunos casos de acero inoxidable para prevenir corrosión, y así proporcionar una larga vida de servicio. Debido a que algunos materiales al derramarse y luego calentarse excesivamente se descomponen y generan compuestos químicos que provocan corrosión en todas las partes del molde y estructura.

Por eso los marcos de acero inoxidable son de mayor costo que los de acero al carbón, pero en algunos casos, el costo inicial agregado es justificable. Algunos fabricantes de moldes insisten que cuando se fabrica una estructura es conveniente eliminarle esfuerzos mediante un tratamiento térmico en el horno de secado a 500 ó 600°F, para eliminar los esfuerzos en las soldaduras.

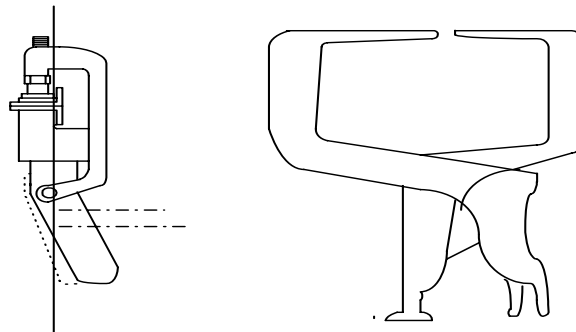
No se debe de subestimar la importancia de una araña o soporte de buena calidad y liberada de esfuerzos en la soldaduras pues soporta y refuerza las cavidades del molde, esto a su vez alarga la vida útil del molde y genera menos rebaba durante la vida del molde.

Otra ventaja que puede incorporar el marco al molde es el alineamiento necesario para asegurar que las dos mitades del molde estén perfectamente alineadas en la línea de separación, además proporcionará presión uniforme de sujeción a la línea de separación de la cavidad , para evitar problemas de rebabas .

3.5 Mordazas para líneas de separación

Hoy en día se usan muchos tipos diferentes de pinzas para líneas de separación, los tipos más comunes son la mordaza acodada, la pinza de presión con tornillo y resorte, y el tornillo en “C” como se observa en la figura 37.

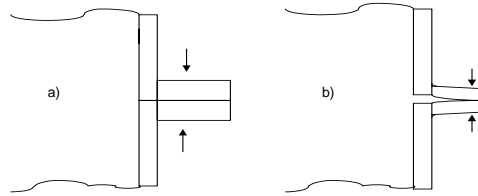
Figura 37. Mordaza acodada y pinzas de presión



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Las más convenientes son las pinzas de presión y las mordazas acodadas, sin embargo generalmente son utilizados los tornillos y tuercas que son el método más confiable para mantener presión uniforme en la línea de separación Cuando se utilizan pinzas de sujeción deben colocarse lo más cerca posible a la pared de la cavidad, según se muestra en la figura 38.

Figura 38. Aplicación de las pinzas de presión



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Sujetar la brida en su extremo externo provoca que se doble, y consecuentemente genera rebaba en la línea de separación, esto sucede especialmente con moldes de lámina metálica.

3.6 Bridas para las líneas de separación

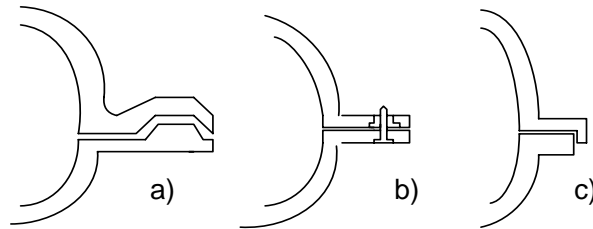
Las bridas en los moldes son un detalle importante de diseño y construcción. Estas bridas forman la línea de separación crítica donde las dos mitades del molde se encuentran. Las bridas también son elementos estructurales que proporcionan mucha de la fuerza del molde.

Tanto moldeadores como fabricantes de moldes tienen marcadas preferencias por el estilo de brida a usar en el molde. No existe un acuerdo general sobre que estilo es el mejor, sin embargo es suficiente decir que todos los diferentes estilos de bridas aquí presentadas han pasado la prueba del tiempo exitosamente.

Los tipos mas usados y comunes de bridas en los moldes de rotomoldeo son:

- a. Línea de separación entre la lengua y la ranura. Ejemplo en figura 39a
- b. Línea de separación plana con pines y casquillos. Ejemplo en figura 39b
- c. Línea de separación escalanoda. Ejemplo en la figura 39c

Figura 39. Diferentes tipos de líneas de separación



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Las bridas escalonadas son a veces usadas en moldes vaciados para formas simples como por ejemplo las pelotas redondas. Sin embargo son más utilizadas en cavidades de lamina metálica o maquinados.

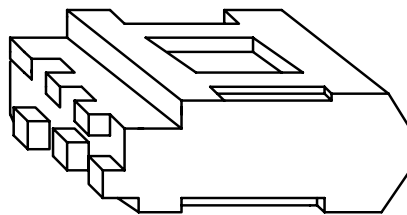
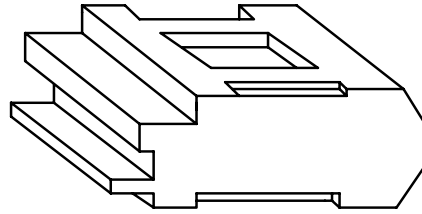
3.7 Moldes de mas de dos piezas

Una situación ideal es encontrar una localización de la línea de separación que permita construir el molde en únicamente dos piezas. Esto no siempre se puede lograr, pero se debe realizar todo el esfuerzo para limitar el número de partes sueltas requeridas para producir la pieza moldeada.

Cuando no se puede evitar el tener un molde de más de dos piezas, se debe de prestar especial atención a la alineación de la línea de cierre y al sistema de sujeción de las piezas entre si.

También debe de pensar en el operador ya que se le complicara el manejo de las partes sueltas del molde. Es muy común que las partes sueltas de un molde se dañen severamente durante el proceso de desmoldeo. como se puede ver en la figura 40.

Figura 40. Rediseño de molde para lograr solo dos piezas



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

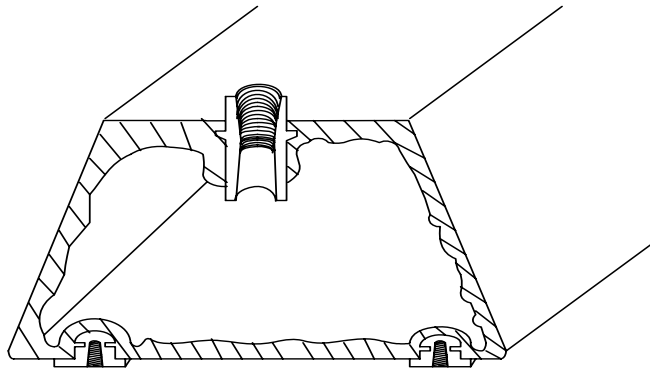
3.8 Insertos

Junto con todas sus otras buenas características, el rotomoldeo resulta ser casi el mejor de todos los procesos termoplásticos al incorporar insertos en una parte moldeada. Los insertos completos o ciegos como se muestra en la figura 20, pueden ser de acero al carbón, bronce, aluminio, acero inoxidable, plástico y hasta madera. Se debe tener mucho cuidado al seleccionar el material para un inserto, este debe cumplir químicamente compatible con el plástico que se va a utilizar y resistir la temperatura del horno.

Debe de evitarse los insertos de gran tamaño y aquellos con esquinas filosas ya que pueden provocar agrietamientos por esfuerzos conforme la parte se enfría y se encoge firmemente sobre el inserto. Los insertos deben asegurarse firmemente al molde y deben estar perfectamente en posición, y además deben de resistir la temperatura a la que se trabajara el molde.

Los insertos de metal incorporados durante el moldeo tendrán máximo torque y fuerza de anclaje si son calentados hasta el punto en que el plástico se funde. Así el plástico se adhiere al inserto como lo hace a la cavidad. Una manera de lograr este objetivo es usando un inserto con una base ancha para lograr una buena transferencia de calor de la cavidad, un inserto de este tipo se muestra en la parte superior de la figura 41.

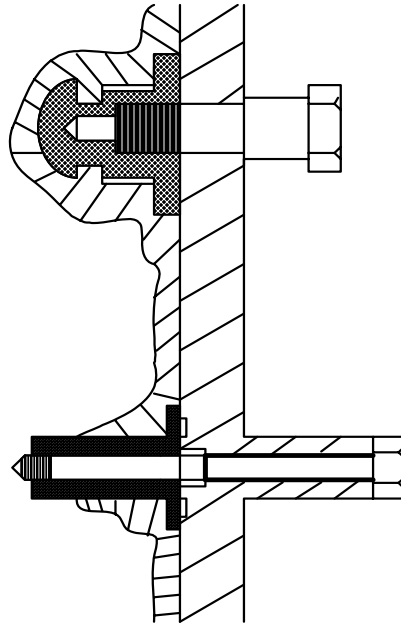
Figura 41. Insertos ciegos e insertos con perforación de lado a lado



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Otra forma de controlar el calor transferido al inserto es mediante una muesca en la cavidad para reducir el área de contacto entre la cavidad y el inserto como se muestra en la parte inferior de la figura 42.

Figura 42. Formas para facilitar y para reducir la transferencia de calor



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Tanto fabricantes de moldes, como moldeadores y operadores de máquinas, deben de ser muy ingeniosos para encontrar maneras convenientes de posicionar y liberar los insertos, incorporados durante el moldeo.

Los sujetadores roscados son probablemente el método más común, sin embargo también se han usado resortes, imanes, mordazas acodadas, retenes y hasta simple fricción con gran éxito.

Los moldeadores han reportado factores de encogimiento del plástico durante su enfriamiento dentro del molde de hasta de 1% entre insertos, al mismo tiempo el resto de la parte tiene un encogimiento dentro del molde de 2.5%.

Un método sencillo para enfrentar este problema es proporcionar movimiento en los insertos para que no impidan que el material plástico se encoja normalmente.

Para el diseño de piezas rotomoldeadas, siempre se recomienda comentar con el fabricante de moldes, la mejor manera de manejar las secciones sueltas de la cavidad, los machos removibles y los insertos antes de iniciar la construcción del molde. Formas para facilitar y para reducir la transferencia de calor

3.9 Acabados de superficie en la cavidad

Los distintos tipos de moldes usados para el proceso de rotomoldeo pueden ser chapeados, cubiertos, pulidos, grabados, biselados o limpiados con chorro de arena (sand-blast) o con varios otros tipos de materiales, sin embargo para ciertos acabados algunos tipos de cavidades son mejores que otras.

Las cavidades de acero maquinadas o de lamina son las que aceptan el mejor pulido. Las cavidades electroformadas o vaciadas pueden ser pulidas a terminado de espejo; sin embargo la presencia ocasional de porosidad es una limitante.

Muchas partes destinadas al mercado industrial no requieren de un gran terminado de la superficie. Estas cavidades generalmente tendrán lo que se define como “terminado industrial”.

Cada fabricante de moldes tiene su propia interpretación de lo que es un terminado industrial. Este es un detalle que debe ser discutido para llegar a un acuerdo antes de iniciar la construcción del molde. Un terminado industrial generalmente se refiere a que la cavidad será pulida a mano con lija fina de arena.

Por lo tanto se puede esperar que queden marcas de corte o pulido del proceso de acabado. Los mejores procesos para el acabado de los moldes son el electroformado o vaciado que son la mejor opción para duplicar la textura del molde original.

Hay otros tipos comunes en la fabricación y acabados esto son los fabricados en lamina, hechos por hojas pretexturizadas disponibles comercialmente; pero las uniones de soldadura siguen siendo el problema.

Con todos los tipos de moldes se pueden limpiar y texturizar las cavidades mediante *sand-blast*. Con todos se pueden utilizar materiales abrasivos y variar el tamaño pero las limitaciones del proceso de sand-blast, para proporcionar un terminado uniforme se presentaron en el fondo de huecos profundos y angostos.

El acabado superficial de las cavidades puede requerir mucha mano de obra, dependiendo del tamaño y forma de la cavidad y del proceso por el cual fue originalmente hecha. El acabado de pulido fino será el más caro de obtener y mantener.

Los variados acabados de superficies por sand-blast son más baratos y rápidos. Una de las cosas que se debe de considerar es el terminado industrial, que es la técnica de acabado más ampliamente usada por ser la más facil de aplicar y a su vez la más barata.

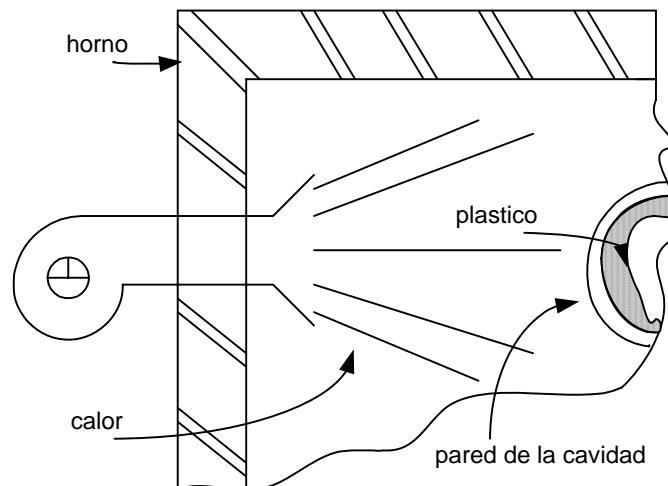
Uno de los secretos para mantener el costo del terminado de la cavidad al mínimo, es la planeación. El fabricante de moldes debe estar bien informado del tipo de terminado requerido al momento de solicitar el diseño del molde a fabricar.

Una de las consideraciones más importante a tomar y considerar en la fabricación y diseño del molde es el acabado de la cavidad que varia desde un sand-blast hasta un pulido muy fino.

3.10 Manejo de la temperatura

Si el principal objetivo de un molde es definir la forma de la parte moldeada, el segundo más importante objetivo es el manejo del calentamiento y enfriado del material plástico. Desafortunadamente el calor del horno debe pasar a través de la pared de la cavidad antes de llegar al material plástico, como se ve en figura 43.

Figura 43 Transmisión de calor a través del molde



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Por consiguiente la pared de la cavidad debe tener buena conductividad térmica para que el material plástico sea calentado y enfriado eficientemente. La conductividad térmica aproximada de los metales comúnmente usados en herramientas de rotomoldeo son, según la Tabla VI.

La lógica indicaría que la alta conductividad térmica del cobre lo convierte en un material ideal para rotomoldeo de cavidades. Teóricamente la alta conductividad del cobre le permitiría transferir calor de y hacia el plástico más rápido que un molde similar hecho de níquel o acero inoxidable.

Tabla VI. Valores de conductividad térmica de metales comúnmente usados

Conductividad Térmica	
BTU/Hrs/ft ²	°F/in
Cobre	2,500
Aluminio	1,080
Níquel	423
Acero	324
Acero inoxidable	139

Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Por consiguiente pareciera lógico asumir que el uso de una cavidad de cobre daría por resultado el tiempo del ciclo de moldeo más corto posible. Como por ejemplo las corridas de prueba utilizando cavidades de cobre electroformadas y de níquel, del mismo espesor.

Esta sorprendente situación puede explicarse al reconocer que en promedio, la conductividad térmica del polietileno es de solamente 1/10, la del cobre, el tiempo del ciclo no es definido por la conductividad del metal en la pared de la cavidad sino la conductividad del plástico.

La buena conductividad térmica en la pared de la cavidad es importante para el calentamiento y enfriado uniforme del material plástico. Sin embargo, por cuestiones prácticas, la diferencia en el tiempo total de ciclo es significativa para los materiales de cavidades comúnmente usados.

Estas pequeñas diferencias son más importantes con moldes muy grandes que tengan paredes de cavidad excesivamente gruesas. Una situación ideal de moldeo sería aquella en la que cada detalle de la cavidad alcanzara la temperatura de fusión al mismo tiempo. Sin embargo ese objetivo deseable raramente se logra en la práctica.

Es conveniente decir que pueden lograrse grandes reducciones en el tiempo del ciclo, mediante un cuidadoso diseño del molde para un buen manejo térmico y mayor facilidad de manipulación del molde, que simplemente escogiendo un material de alta conductividad térmica para la cavidad.

Los diseñadores de productos plásticos pueden mejorar enormemente su eficiencia del proceso de rotomoldeo manteniendo en mente el control de la temperatura de la cavidad hasta finalizar el diseño de una parte plástica.

3.11 Ventilación del molde

La ventilación del molde, requieren en la gran mayoría de los casos ventilación para mantener presión atmosférica dentro de la cavidad.

Un buen enfoque sobre estas ventilaciones es incorporarlas en el molde desde el inicio de la construcción del mismo.

Un fabricante de moldes versátil generalmente tendrá mejor maquinaria para este tipo de trabajo que un moldeador. En estos tiempos recientes, se ha incrementado en el rotomoldeo de piezas de plástico con una atmósfera inerte, de nitrógeno o de bióxido de carbono, dentro de la cavidad, Las boquillas de inyección de gas, los distribuidores(*manifolds*), las válvulas y en general toda la plomería necesaria, también se puede incorporar desde el inicio de la construcción del molde.

El moldeador y el fabricante de moldes deben llegar a un acuerdo acerca del tamaño y la ubicación de las ventilaciones o boquillas de inyección de gas, antes de iniciar toda la construcción.

3.12 Mantenimiento del molde

Los moldes requeridos para el proceso de rotomoldeo son caros, lentos en su construcción y vitales para la consistente producción de partes moldeadas de buena calidad.

La naturaleza del proceso de rotomoldeo es tal que estos moldes están sujetos a mucho abuso. Los moldes son continuamente calentados y enfriados, rociados con agua y agredidos con todo tipo de herramientas y sustancias corrosivas.

Muchos moldes son grandes y pesados, y se dañan al usarlos de manera normal y al moverlos de un lugar a otro. Mantener estos moldes en buenas condiciones de trabajo es parte importante del proceso completo.

También se debe recordar que el molde puede ser propiedad del cliente, en este caso el moldeador tiene una responsabilidad legal implícita y debe cuidar perfectamente el molde de su cliente.

El secreto de un buen programa de mantenimiento de moldes es tener un programa formal. El mantenimiento del molde es algo que no se debe hacer casualmente cuando se dispone de tiempo. El mantenimiento inadecuado de moldes siempre se atribuye al personal de producción, sin embargo el mantenimiento del molde es responsabilidad de la gerencia para su ejecución, no existen dos moldes iguales, cada tipo diferente requiere un programa diferente de mantenimiento, los moldes de acero se oxidan, los de níquel, no.

Un molde de acero que corra polietileno necesita atención diferente que un molde de acero similar que corra PVC. Algunas compañías cometen serios errores al tener únicamente un programa preventivo de mantenimiento que se aplica a todos los moldes igual. Un buen programa de mantenimiento de moldes incluye registro de corridas y de costos tanto interno como externo que se vayan aplicando a cada molde individualmente.

El tiempo dedicado a mantenimiento del molde también se puede incluir como parte de estos registros. Esto permite al moldeador determinar cuándo el costo de mantenimiento de un molde deja de justificarse. Un buen programa de mantenimiento debe incluir también un inventario de refacciones incluyendo tuercas, tornillos, pinzas, abrazaderas, mordazas, resortes, etc.

En el programa de mantenimiento preventivo se debe recordar y reconocer que las cavidades de aluminio vaciado, níquel electroformado, cobre y acero inoxidable no son tan duras como las espátulas, los desarmadores, las barras de apalancamiento, las navajas de bolsillo y los martillos.

En un programa de mantenimiento bueno se incluye el proporcionar herramientas suaves adecuados hechas de aluminio, bronce, plástico y hasta de madera a los operadores de maquinas.

Las líneas de separación de los moldes siempre se deben considerar en el programa de mantenimiento. Estas superficies de la cavidad están expuestas a posibles daños en cada ciclo de operación del molde. Mantener un adecuado alinamiento y un buen sello en las líneas de separación es muy importante.

La mayoría de los moldeadores tienen procedimientos para mantener las líneas de separación limpias y reparadas. Una vez por turno, día o al final de una corrida es buen momento para revisar la siguiente lista parcial de detalles que se tienen en consideración .

Lo que necesite reparación o reemplazo llevará tiempo y no se dispondrá de este justo antes de empezar la siguiente corrida revisión y corrección:

- a. Tornillos y tuercas desgastados o dañados.
- b. Resortes rotos
- c. Conexiones roscadas sueltas
- d. Pinzas, abrazaderas o mordazas rotas o desajustadas
- e. Tubos de ventilación obstruidos o dañados
- f. Sujetadores de insertos sueltos, sistema de cierre y partes de la cavidad.
- g. Líneas de separación limpias y en condiciones de trabajo
- h. Desmoldeante acumulado en exceso, en algunos lugares clave de la cavidad.
- i. Placa de montaje desgastada o con soldaduras rotas o agrietadas.

Si el molde es susceptible a corrosión puede necesitar limpieza y una capa de preservativo antes de guardarlo en el almacén. Las cavidades de níquel y aluminio no se corroen. Sin embargo, el marco de acero, las tuercas y los tornillos, las abrazaderas y otras partes del molde como los sujetadores de insertos o las áreas altamente pulidas pueden dañarse o destruirse por moho o ataque químico, los moldes deben de guardarse ensamblados con las líneas de separación protegidas con tiras de madera.

Esto permite que el molde respire conforme, la temperatura del área de almacenamiento sube y baja en los feriados. Almacenar las dos mitades del molde desensamblado es un grave riesgo por daños a las delicadas líneas de separación y a la superficie interna de las cavidades. Cada molde, cada material plástico y cada diseño de parte diferente. Como resultado, cada combinación individual de material, diseño y molde requieren su propia lista de procedimientos de mantenimientos preventivo de moldes.

4. COMPONENTES BÁSICOS DE ROTOMOLDEO PARA EL DISEÑO DE MOLDES

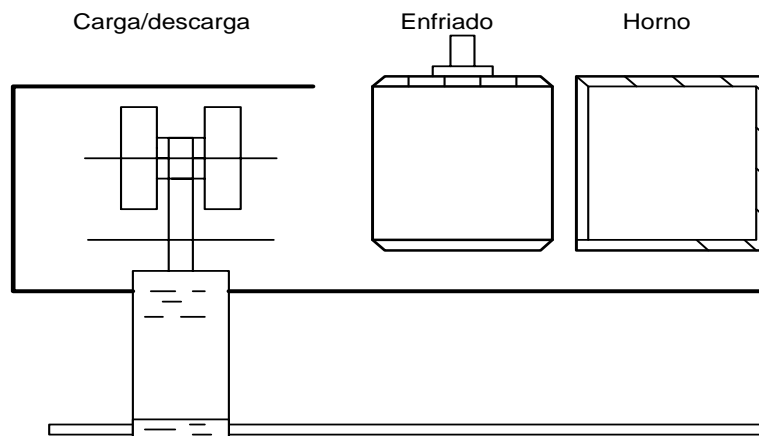
4.1 Tipos de máquina

Hoy en día existen muchos estilos diferentes de máquinas para rotomoldeo. Los moldeadores y fabricantes de máquinas tienen sus opiniones acerca de los méritos de los diferentes tipos. Desde un punto de vista práctico todos los diferentes tipos de máquinas llegan al mismo objetivo. Sin embargo lo hacen de diferentes maneras.

a. Máquinas ida y vuelta

Las máquinas de ida y vuelta han sido usadas desde los primeros días del rotomoldeo. Una maquina de ida y vuelta sencilla (figura 44) tiene una horno, una estación de enfriado y una estación para carga y descarga de moldes.

Figura 44. Máquina de ida y vuelta con brazo sencillo.



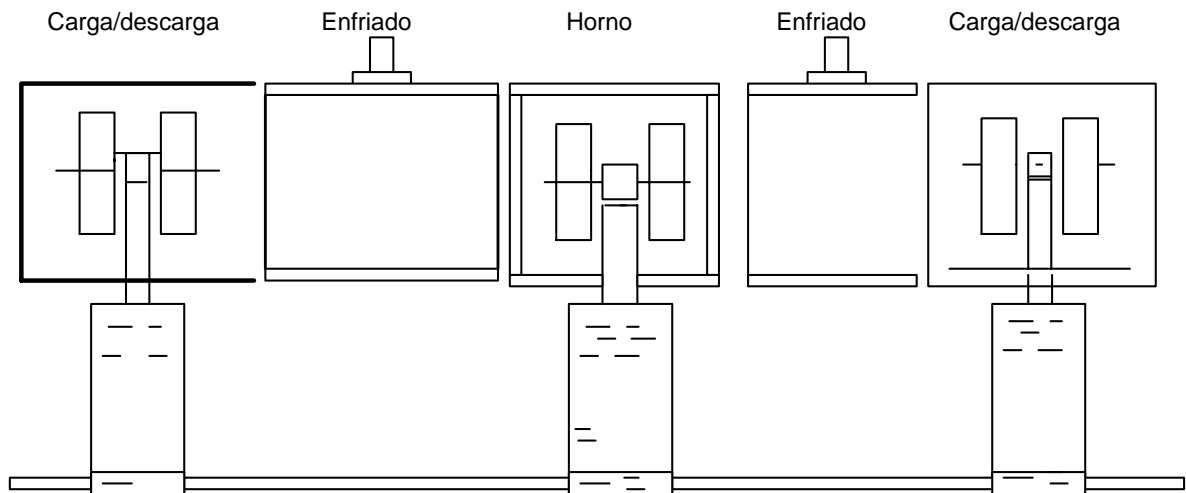
Fuente: Introducción al moldeo rotacional

b. Máquina de ida y vuelta de doble carro

Esta máquina es más eficiente que la anterior. Generalmente tiene un horno, dos estaciones de enfriamiento y dos estaciones para carga y descarga de moldes. Ver figura 45. Los carros, en este caso, proporcionan el eje mayor y el eje menor de rotación. Las cámaras de horno y enfriado tienen puertas a ambos lados. Esto permite que uno o el otro carro pase a través de la cámara de enfriamiento para llegar al horno.

La eficiencia del equipo de ida y vuelta de dos carros se basa en su habilidad para enfriar, descargar y recargar el molde durante el ciclo de calentado del horno. Los ciclos más largos requeridos para el polietileno lineal y de alta densidad con frecuencia dificultan mantener el horno a capacidad total.

Figura 45. Máquina de ida y vuelta con dos brazos



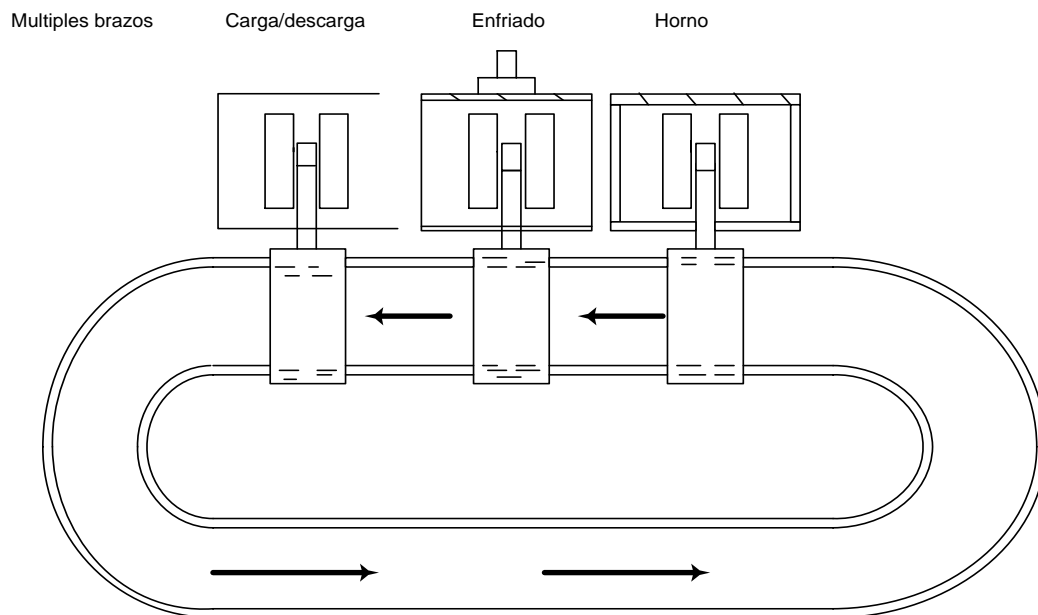
Fuente: Introducción al moldeo rotacional

c. Máquinas tipo pista de carrera.

Un desarrollo posterior que vino a incrementar la tasa de producción de las máquinas de ida y vuelta fue el equipo tipo carros múltiples o máquinas tipo pista de carrera como se ve en la figura 46. Su mayor ventaja es la posibilidad de aumentar la longitud del horno y de la cámara de enfriado, para que dos o más moldes se puedan calentar o enfriar simultáneamente. Por lo que es posible agregar carros y moldes cuando se requiera.

Este tipo de máquina también permite remover un cargador para reparaciones o un cambio grande de moldes, sin apagar la máquina o bajar el nivel de producción.

Figura 46. Máquinas tipo pista de carrera

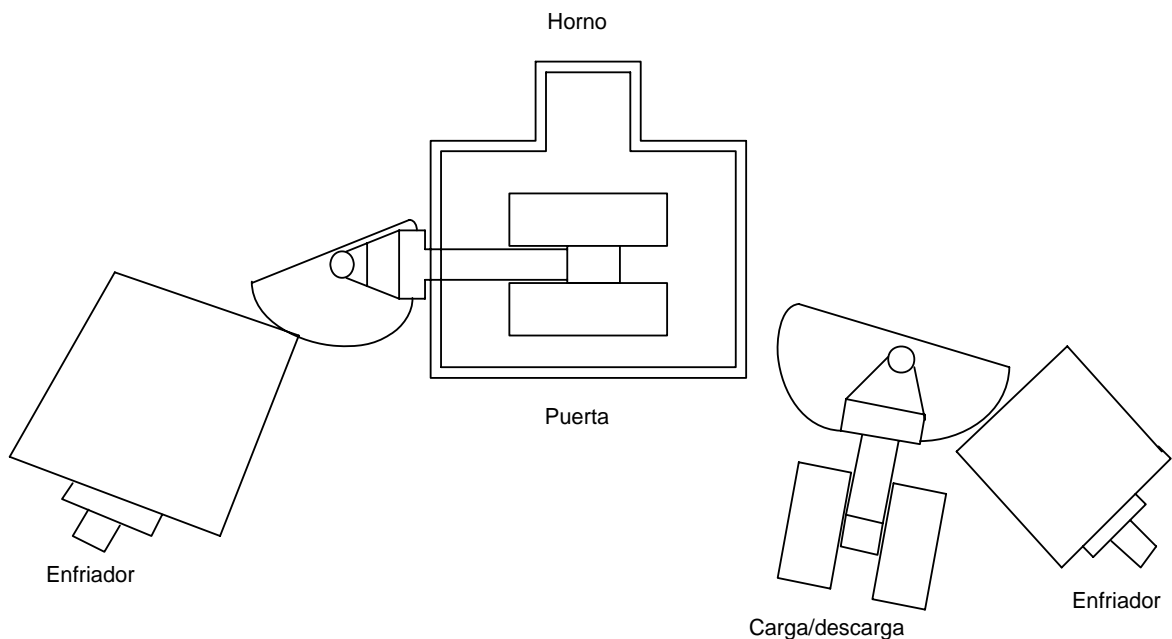


Fuente: Introducción al moldeo rotacional

d. Máquinas tipo Vaivén

Las máquinas tipo vaivén, son máquinas que tienen sus ventajas. Las cuales pueden llegar a tener un incremento en un segundo brazo y una segunda cámara de enfriamiento conforme se vayan necesitando. Pueden agregarse carros y moldes cuando se requiera tal como se observa en la figura 47.

Figura 47. Máquina tipo vaivén

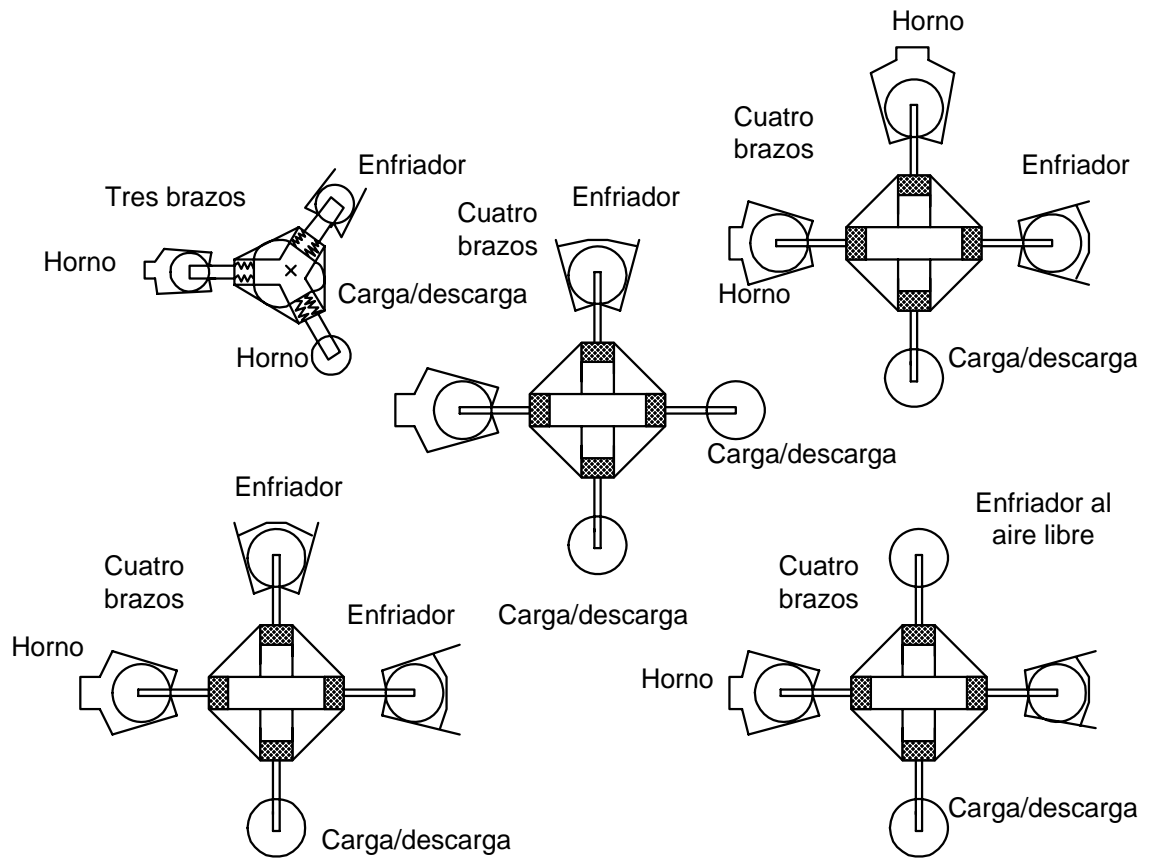


Fuente: Introducción al moldeo rotacional

e. Máquinas tipo torreta

Las máquinas tipo torreta, como las que se ilustran en la figura 48, entre sus ventajas significativas es que todos los brazos se muevan simultáneamente y también se les conoce como máquinas de brazo fijo. Están disponibles en por lo menos cinco presentaciones estándar. A estas máquinas también se les conocen como máquinas tipo de brazo fijo.

Figura 48. Máquinas tipo torreta o carrusel

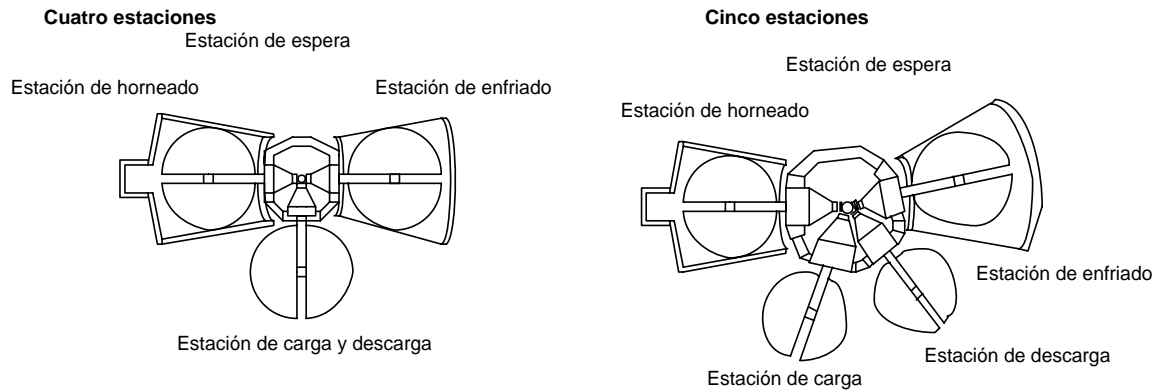


Fuente: Introducción al moldeo rotacional

f. Máquinas de brazo independiente

Las máquinas de brazo independiente difiere mucho a la de torreta, en que los brazos no se tienen que mover al unísono, y pueden moverse como su nombre lo indica, independientemente uno del otro. Lo que le da al moldeador una gran flexibilidad adicional para programar la secuencia de las diferentes partes del ciclo moldeado. Ver figura 49.

Figura 49. Máquinas de brazos independientes

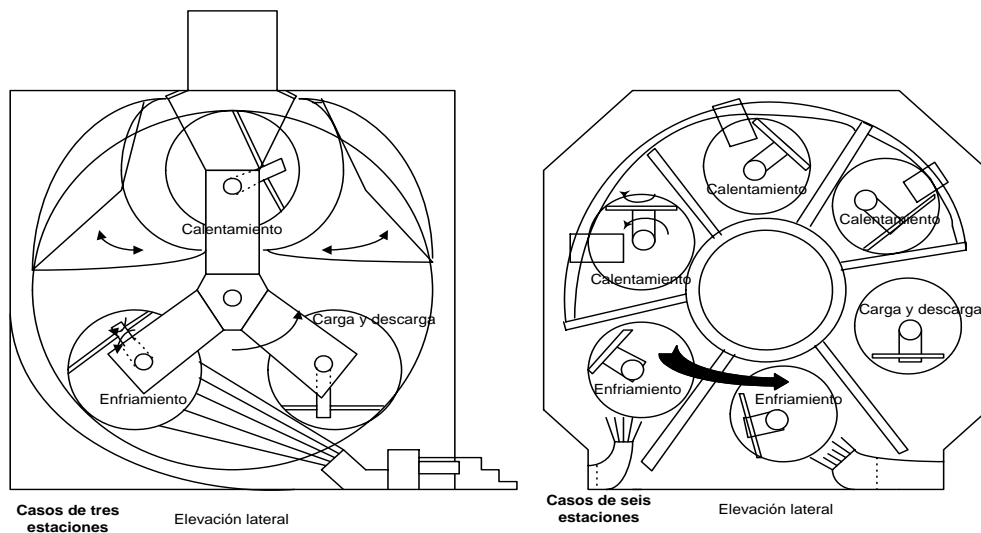


Fuente: Introducción al moldeo rotacional

g. Máquinas verticales

Máquinas verticales o de arriba o alrededor han estado en la industria por muchos años. En realidad son máquinas de brazo fijo, con tres, cuatro y seis estaciones que se mueven en direcciones verticales y circulares. Ejemplo de esta máquina en la figura 50.

Figura 50. Máquinas verticales

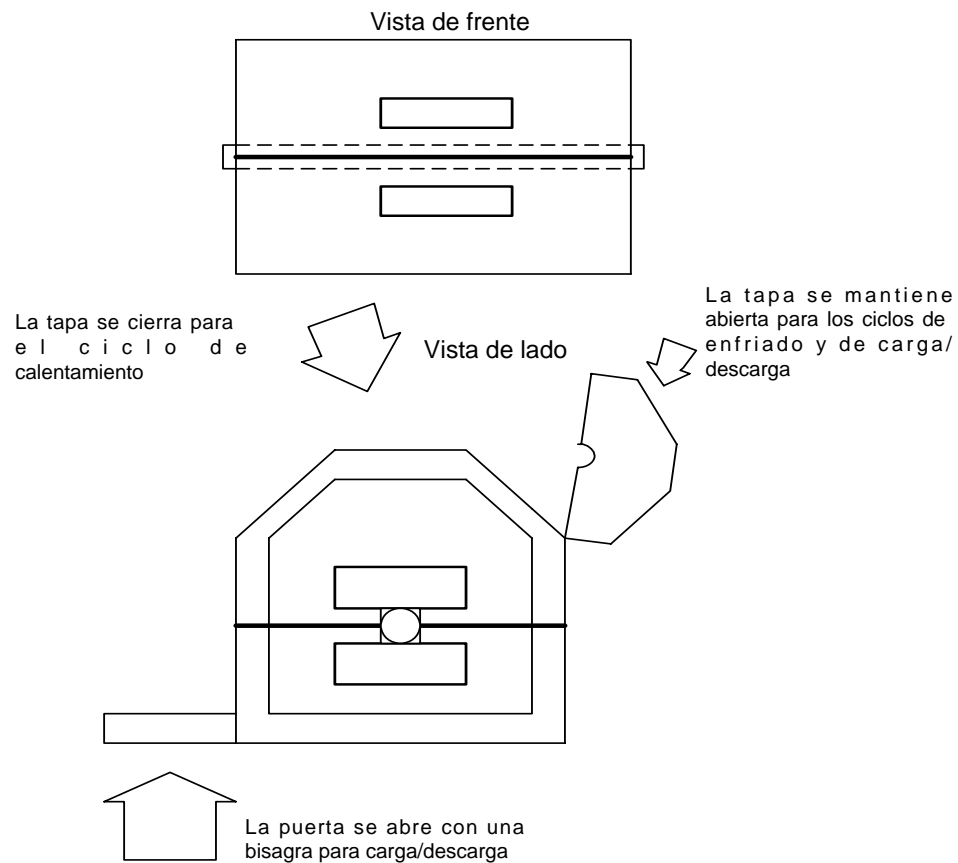


Fuente: Introducción al moldeo rotacional

h. Máquina concha de almeja

Máquinas de concha de almeja, son las máquinas de estación única, como las que se muestran en la figura 51. Se conocen como de concha de almeja por su estilo y son las más nuevas en lo que se refiere a máquinas para el proceso de rotomoldeo. Esta máquina combina el horno y la cámara de enfriamiento en una sola unidad, y la ventaja de esta distribución es su tamaño compacto.

Figura 51. Máquina de concha de almeja (estación única)



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

4.2 Calentamiento del plástico

El rotomoldeo es un proceso de calentamiento y enfriado del material plástico. Una parte crítica del proceso es aumentar la temperatura del material plástico lo suficiente para que las partículas individuales del polvo se fundan en una parte homogénea.

De la misma manera el material plástico no debe calentarse a temperaturas que degraden térmicamente el material. Por esto es importante que todas las superficies internas de la cavidad lleguen y se mantengan a la temperatura apropiada durante la parte de calentamiento del ciclo.

Un cambio de temperatura en el horno de ciclo a ciclo es tan baja que se aproxima a 20° Fahrenheit. Puede tener un efecto significativo en la calidad de la parte moldeada. Durante años, la industria ha usado muchos métodos diferentes de calentamiento de moldes, y entre estos se puede mencionar, flama abierta, electricidad, gas o aceite calentados, con aire caliente, radiación, radiación infrarroja, rocíos de sal líquida, aire caliente y vapor. Esto han sido usados en una y otra ocasión.

La gran mayoría de las máquinas de rotomoldeo en uso hoy en día son operadas con aire forzado, calentando mediante combustión de gas propano, butano o gas natural. Estas fuentes de energía han demostrado ser lo mejor para lograr equilibrio entre costo, conveniencia, eficiencia de calor y facilidad de control.

Mantener los sellos a muy altas temperaturas en la multiplicidad de uniones rotarias es siempre un gran problema.

Como resultado esta técnica de moldeo ha caído en desuso. Establecer la temperatura y tiempo óptimos del horno es obviamente una parte importante del proceso de rotomoldeo.

No hay dos plásticos que tengan la misma temperatura ideal de horno, ni siquiera dos polietilenos. La temperatura del horno requerida y especialmente el tiempo del horno, también se afectan por el tipo de molde que se está usando y el espesor de la pared de la parte que se está moldeando.

Como resultado no hay un tiempo, y una temperatura del ciclo promediado para cada material plástico. Sin embargo se tiene que empezar con algún tiempo y la temperatura del horno antes de ir afinando el ciclo. Los siguientes tiempos y temperaturas son un buen punto de inicio, como se observa en tabla III.

Tabla VII Temperatura y tiempo de horneado

Material	Temperatura en °F	Tiempo en minutos
Polietileno	550 a 700	10 a 25
PVC	500 a 700	5 a 10
Nylon 6	575 a 675	28
Nylon 11	535 a 570	7 a 20
Nylon 12	480 a 575	8 a 20
Policarbonato	600 a 750	10 a 20

Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Todo mundo siempre habla de temperatura de horno, pero debe recordarse que lo que importa es la temperatura de la superficie interna de la cavidad, por ser la que está en contacto con el plástico. Existe una diferencia entre temperatura de horno y temperatura de la cavidad, la temperatura de la cavidad rara vez alcanza la temperatura ambiente del horno.

La rotación biaxial de los moldes y las altas temperaturas del horno siempre han dificultado determinar la temperatura real del material plástico, o al menos la de la cavidad, durante el ciclo de moldeo.

Preparar el perfil de la temperatura del horno también permite al moldeador empezar el ciclo del horno a alta temperatura para disolver el material rápidamente y reducir la temperatura para dar al plástico el tiempo necesario para cubrir la cavidad. La temperatura puede incrementarse para acelerar la fusión final y el curado.

Algunos estudios han indicado que el brazo, el molde, y el marco o estructura absorben tanto como el 36% de la energía que se introduce al horno. El lograr el perfil de la temperatura del horno se puede usar para reducir la energía que se aplica una vez que el brazo, el marco y la cavidad se han estabilizado.

Entonces el calor se aplicara únicamente a la velocidad a la que el material plástico pueda absorberla.

4.3. Ventilación del molde

El rotomoldeo es un proceso de calentamiento y enfriado. Calentar una sustancia provoca que se expanda; y enfriarla provoca que se contraiga. Calentar un molde de rotomoldeo en el horno, provoca que el molde, el material plástico y el aire en la cavidad se expandan.

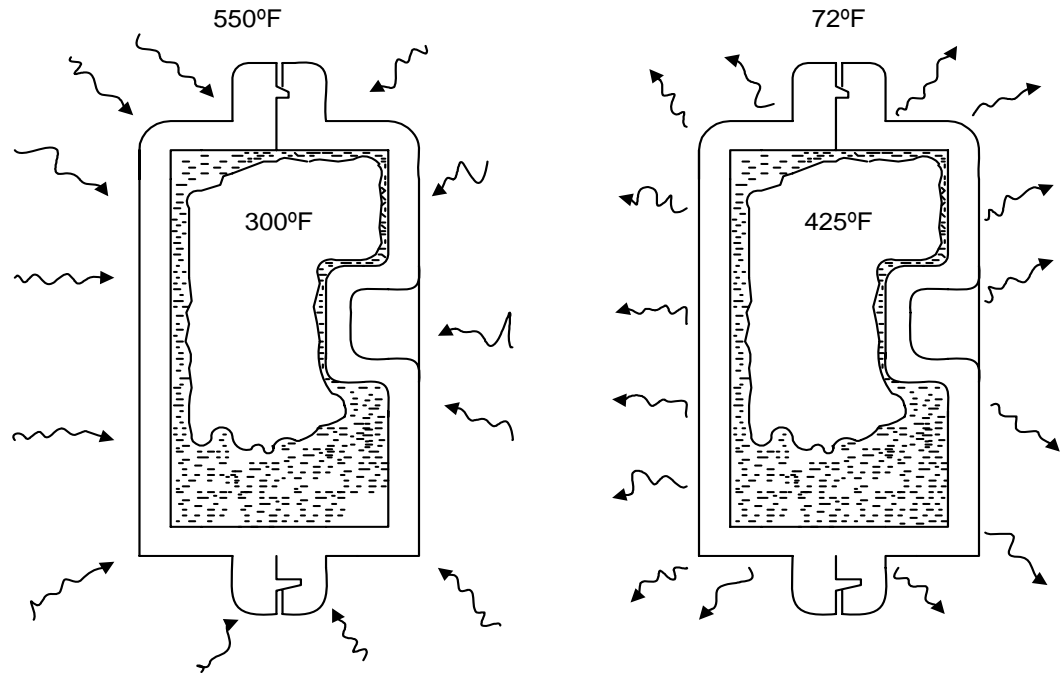
Enfriar el molde provoca que el molde, el plástico y el aire en la cavidad se contraigan. Esto no sería un problema de no ser porque estos elementos se expanden y se contraen a diferentes ritmos. El coeficiente de expansión térmica del molde metálico es pequeño.

El plástico tiene aproximadamente 8 veces más de expansión y el aire se expande más que todos, las diferencias en expansión térmica entre la cavidad y el plástico provoca ciertas dificultades pero generalmente son ignoradas. Sin embargo la gran expansión térmica del aire atrapado en la cavidad provoca problemas que no pueden ser ignorados.

Durante la primera parte del ciclo de calentado del horno, el molde, el polvo el plástico, y el aire en cada cavidad incrementan rápidamente su temperatura y se expanden. El aire se expande más que la cavidad, esto crea una presión positiva dentro de la cavidad.

Esto crea una presión al momento en que la cavidad alcanza la temperatura de alrededor de 300° Fahrenheit, el plástico se ha empezado a adherir a la cavidad. Esta situación se representa en el lado derecho de la figura 52. Conforme el plástico se funde sella la pequeña abertura en la línea de separación de la cavidad.

Figura 52. Presión de aire en el interior del molde causada por la diferencia de temperaturas dentro y fuera del molde.



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

El aire es atrapado dentro de la cavidad y la delgada capa del material plástico, conforme el ciclo continua. La temperatura del aire se eleva mas alla de 550°F del horno. Existe un incremento correspondiente en el volumen y presión del aire atrapado en la cavidad, y ese es un problema que no puede ser ignorado.

La alta presión del aire empuja el plástico fundido hacia la línea de separación, provocando rebaba en la misma. En algunos casos la presión del aire provoca un hoyo en el material. En casos extremos este aire bajo de presión puede distorsionar y dañar permanentemente las grandes secciones planas de la cavidad. Este aumento en la presión de aire, multiplicándolo por el área de sección de un molde grande, puede resultar en fuerzas realmente altas.

Estas fuerzas generalmente son liberadas por los pilares de resortes. Sin embargo los moldes grandes han llegado a explotar y las abrazaderas de sujeción se han roto por causa de estas fuerzas. Conforme el molde del material plástico y el aire se contrae más. Esta presión negativa puede jalar aire a través de pequeñas aberturas de la línea de separación. Este aire puede provocar hoyos a través de la aun caliente y suave pared de la parte plástica.

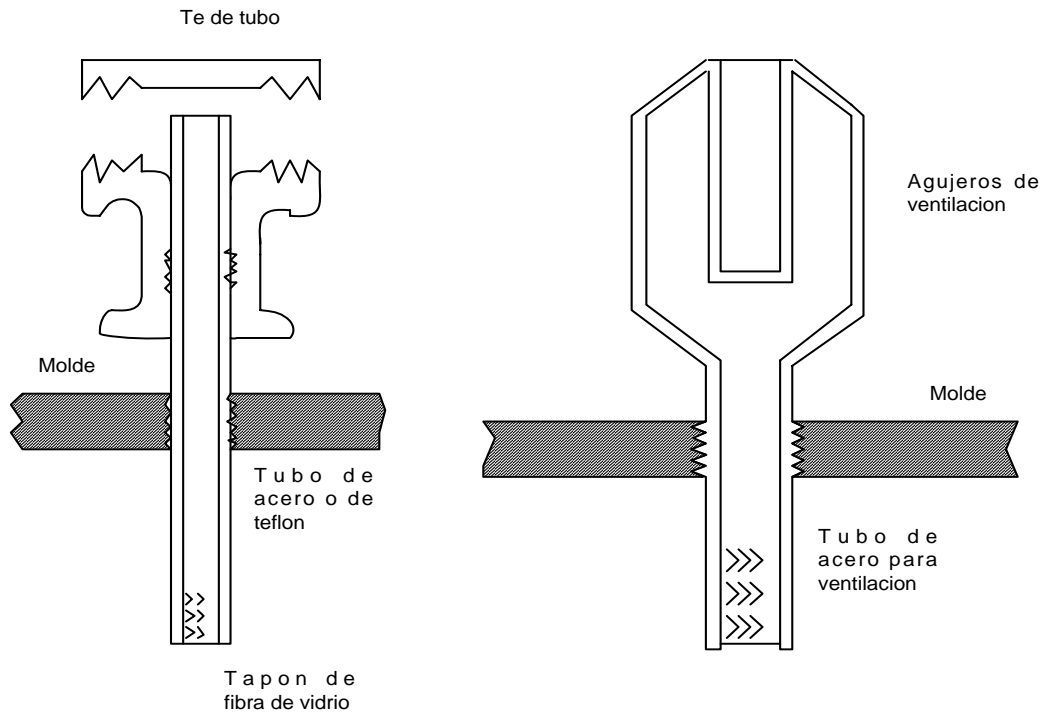
En otros casos, el aire que sale queda atrapado entre la cavidad y la parte moldeada. Esto provoca que la parte plástica sea separada prematuramente de la cavidad. Cuando esto sucede, el material plástico pierde contacto con la superficie de enfriamiento de la cavidad, y por consiguiente el ciclo de enfriado se vuelve anormal y muy largo.

Con piezas de polietileno, la cristalinidad y el encogimiento de molde se incrementan y el abombamiento se convierte en un problema.

Para divagar un momento, es en este punto donde la eficiencia del desmolde se convierte en parte importante. Un desmoldante que libere muy fácilmente provocará que la parte moldeada se separe de la cavidad.

El ejemplo que se observa en la figura 53 muestra el mismo molde, sólo que en este caso se ha colocado un tubo de ventilación a la cavidad. Conforme el aire atrapado en la cavidad se expande, puede salir por el tubo de ventilación.

Figura 53. Efectos en la presión del aire por el tubo de ventilación



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Durante la etapa de enfriamiento en el ciclo de moldeo, el aire puede entrar a través del tubo de ventilación para liberar la presión negativa creada por el aire enfriado y contraído dentro de la cavidad.

La ventilación adecuada de una cavidad permitirá que el enfriado y calentado de un material plástico suceda aproximadamente a presión atmosférica. El ventilado elimina los hoyos de soplado y la pérdida de contacto entre la cavidad y la parte moldeada.

Los tubos de ventilación son generalmente hechos de paredes de teflón delgadas, de acero inoxidable con una capa horneada de teflón o de un desmoldante altamente eficiente. Sería ideal que el tubo de ventilación fuera de material de baja conductividad térmica.

El extremo interno del tubo de ventilación debe colocarse cerca del centro de la cavidad, tan lejos del polvo como sea posible. Esta ubicación impide que el polvo entre en el tubo de ventilación.

El extremo interno del tubo debe tener un embutido de vidrio para evitar que el polvo entre en él.

4.4 Inyección de gas

Esta no es una técnica nueva, pero su uso se está incrementando rápidamente.

La inyección de gas se usa para reemplazar el oxígeno en el aire atrapado en la cavidad con un gas inerte, como el nitrógeno o el dióxido de carbono. Eliminar el oxígeno evita la oxidación del material plástico durante la porción de alta temperatura del ciclo de calentamiento del horno.

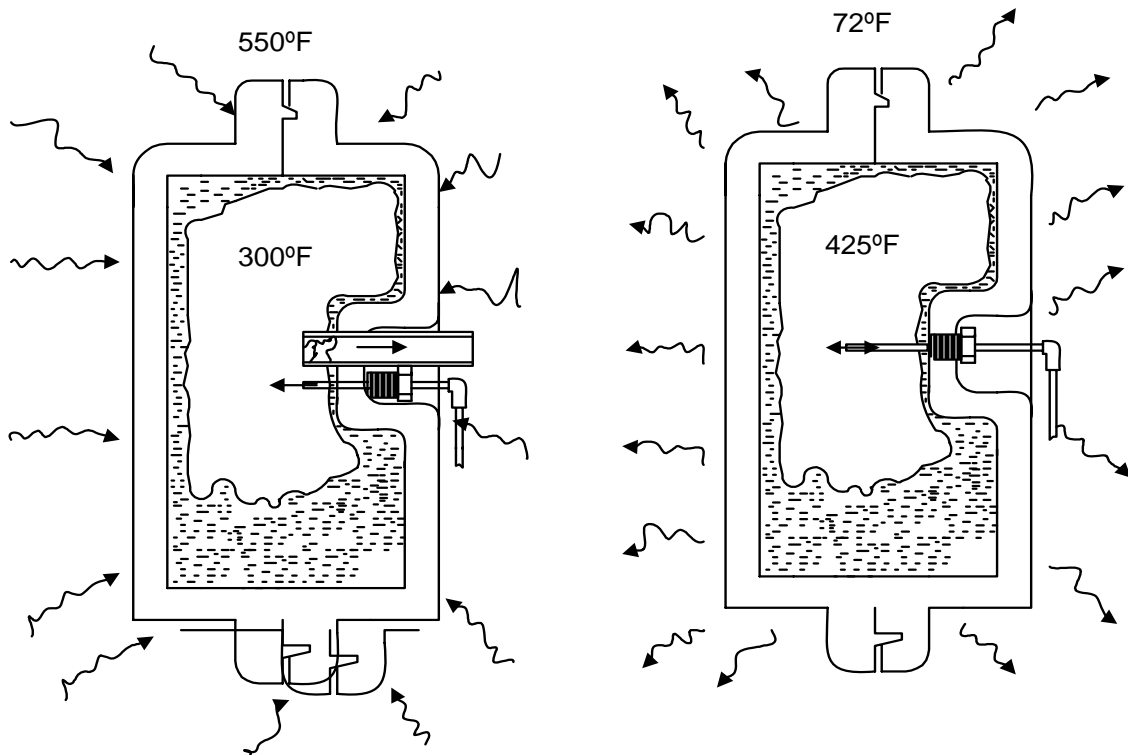
El nylon 6 tendrá un mejor color, fuerza de impacto y apariencia general si se moldea en una atmósfera de nitrógeno libre de oxígeno.

La fuerza de impacto de baja temperatura y decoloración del polietileno se mejorarán al moldear en una atmósfera libre de oxígeno.

La habilidad para usar polietileno previamente moldeado, se incrementa al moldear en una atmósfera de nitrógeno.

La inyección de gas también puede usarse para reducir abombamiento y activar los “drop boxes” usados para producir partes rotomoldeadas con dos o más capas. Los dos tipos de inyección de gas se ilustran en la figura 54.

Figura 54. Tipos de inyección de gas



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

La figura del lado derecho muestra un arreglo de “ventilación cerrada”. En este caso, el gas puede inyectarse en la cavidad y el oxígeno saldrá de la misma por la línea de separación. Sin embargo, una vez que el polvo plástico se funde, la línea de separación se sella y no se pueden agregar nitrógeno adicional a la cavidad.

Existen casos en que el tamaño y la forma de la cavidad no permite que todo el oxígeno sea evacuado a través de la línea de separación. Esta dificultad se puede solucionar colocando un puerto de ventilación y uno de inyección de gas en la cavidad. En este caso, el gas fluye hacia adentro y empuja el aire hacia fuera a través del tubo de ventilación. Esto se conoce como el sistema de “ventilación abierta”.

En algunos casos se evita un segundo hoyo en la parte moldeada al colocar el puerto de inyección de gas dentro de un tubo grande de ventilación.

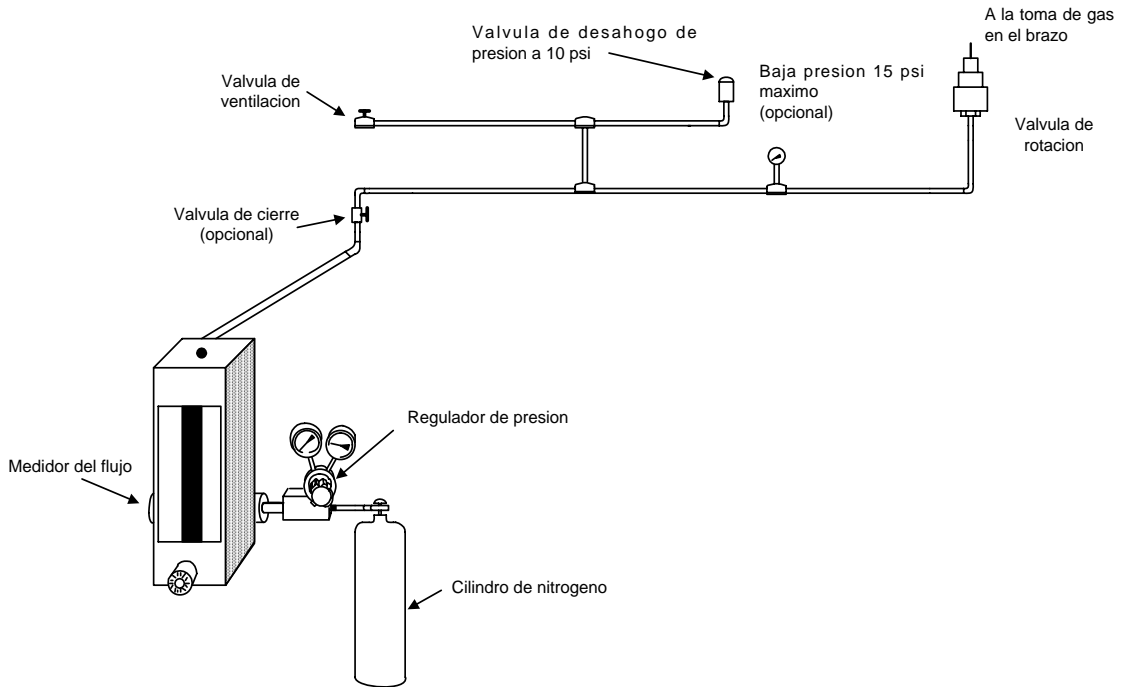
Durante la etapa de enfriado del ciclo de moldeo, el aire atrapado en la parte moldeada se contrae. Los tiempos prolongados del ciclo de enfriado y la crecida tendencia al abombamiento creada por esa condición, pueden minimizarse al inyectar gas o aire en la parte moldeada.

Este es un sistema de ventilación cerrado y el moldeador debe usar únicamente presión suficiente para mantener la parte plástica en contacto con la cavidad. Las altas presiones pueden generar hoyos en la pared de la parte moldeada o dañar el molde. Presiones tan bajas como de 2 o 3 psi (lbs/pulg²) pueden ser efectivas. No se necesitan altas presiones. Se requieren en cambio, controles de presión de gas confiables para asegurar que el molde no esté sobrepresurizado.

Otra modificación de este proceso es usar un sistema abierto de ventilación para permitir que el aire frío circule por dentro de la parte moldeada, para acortar la etapa de enfriado del ciclo. La presión se mantiene en el molde al inyectar aire a la misma, o un poco menor a la tasa que el tubo de ventilación lo puede sacar.

El equipo necesario para la inyección de gas se ilustra en la figura 55. Contiene todos los controles necesarios para manejar el volumen de gas y la presión entre el cilindro de gas y el brazo de la máquina. Las máquinas modernas tienen todos estos controles incluidos en sus programas de controles automáticos.

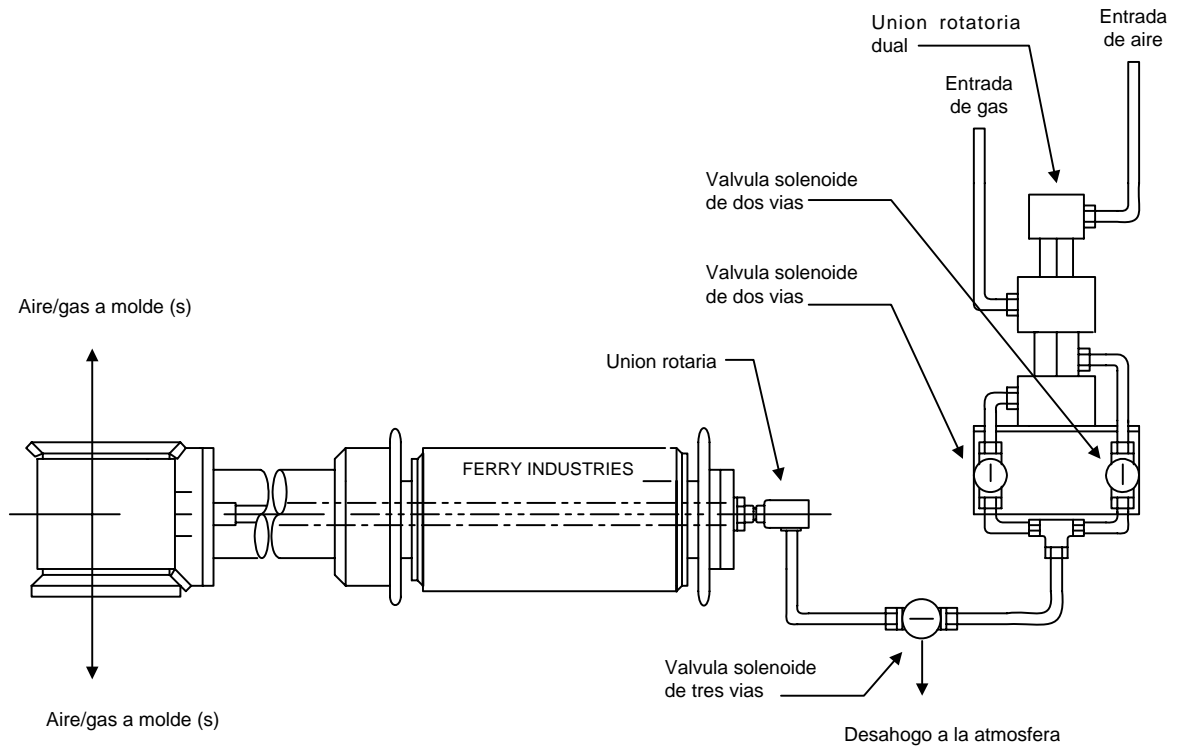
Figura 55. Equipo necesario para inyección de gas



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

El resto de los controles de inyección de gas y el sistema de distribución se muestran en la figura 56. En este caso, el equipo se instala para inyectar nitrógeno o aire. Esta unidad también está equipada con una válvula solenoide de tres salidas que ventilará las presiones internas que resulten durante el uso de un sistema cerrado de ventilación.

Figura 56. Conexión del sistema de inyección de gas a la maquina



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Las ventajas de poder inyectar nitrógeno o aire, son que el costo del nitrógeno es reducido si se usa para purgar el oxígeno que está en el sistema. El aire de bajo costo se puede utilizar para mantener la parte contra la cavidad y para circular aire frío a través de la parte moldeada de rotomoldeo. Ofrecen sistemas de inyección de gas como opción en la compra. Cualquier moldeador que quiera moldear nylon o plásticos reprocessados, o que esté preocupado por abombamiento, debe considerar cuidadosamente la opción de inyección de gas en la compra de cualquier máquina nueva.

4.5 Relación entre rotaciones

Cada combinación individual de forma moldeada y material plástico tiene su propia tasa ideal de rotación de los ejes. Una canoa de polietileno es obviamente diferente de una pelota de plástico. Seleccionar las velocidades óptimas de rotación es crítico para la distribución uniforme del plástico sobre la superficie de la cavidad.

La relación de rotación se refiere a la relación entre la velocidad de rotación del eje mayor (o plano vertical) y la diferencia de velocidad de rotación entre el eje mayor y el eje menor (o plano horizontal). La relación de rotación se determina como sigue:

$$RR = VRY / (VRN - VRY)$$

Donde:

RR = Relación de Rotación

VRY = Vel Rot del eje mayor (en rpm)

VRN = Vel Rot del eje menor en (rpm)

Si la velocidad de rotación del eje mayor es la mitad de la rpm de la rotación del eje menor, la tasa es uno a uno. Por ejemplo, si el eje mayor rota a 5 rpm y el eje menor a 10, la relación de rotación será de $5/(10-5) = 1$ y se reporta 1:1. La flecha de montaje de moldeo en el eje menor (plano horizontal) gira, por consiguiente, una vez por cada rotación de mayor (plano vertical). Esta no es una relación recomendada.

Conforme la velocidad del eje mayor se acerca a la del eje menor, la relación aumenta.

Por ejemplo, el eje mayor gira a 8 rpm, y el eje menor lo variamos de 10 a 8 rpm, la relación de rotación crecerá como lo muestra la tabla VIII.

Tabla VIII. Relación de rotación

Eje mayor	Eje menor	Relación de rotación
8 rpm	10 rpm	4:1
8 rpm	9 rpm	8:1
8 rpm	8 rpm	Infinito

Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Al acercarse los valores de las velocidades de rotación, la relación crece hasta llegar a un valor infinito donde el molde no gira. Para lograr la rotación en reversa, disminuya la r.p.m del eje menor hasta muy cerca del valor del eje mayor. Al llegar a un valor infinito de la relación de rotación, la rotación relativa se detiene.

Si el eje menor se reduce a una velocidad más baja que la del eje mayor, se logra la rotación en reversa, por ejemplo, el eje mayor gira a 8 r.p.m y el menor a 6 r.p.m, se tiene una relación negativa de 4:1. En una relación negativa, el giro sobre el eje menor es en dirección opuesta.

Con relaciones negativas se tiene a dirigir el flujo del material en polvo más hacia el plano horizontal y provocando un llenado más pobre en moldes complicados. La relación de rotación ideal se determinará por:

- a. El tamaño de la parte moldeada
- b. La forma de la parte moldeada
- c. El número de cavidades montados en el marco
- d. Si se usa brazo recto o en escuadra

e. La distancia de cada cavidad desde el centro de rotación real

Generalmente las partes formadas simétricamente con su dimensión más larga montada paralelamente al eje mayor usarán una relación de rotación con el eje mayor girando más rápido y el eje menor más lento: por ejemplo, 4:1 al expresar una relación de rotación, el primer número normalmente se refiere a la rotación del eje mayor.

Si la dimensión larga de una cavidad de forma de caja, delgada y larga grande se monta en un ángulo correcto al eje mayor, se puede necesitar una relación inversa, como 1:4. La relación de rotación se expresa generalmente en números completos, como 4:1 u 8:1. Sin embargo las relaciones donde al dividir un número entre otro nos de un número entero, no son deseables.

Relaciones de este tipo permiten que ciertas partes de la cavidad repitan su contacto con el plástico mucho más frecuentemente que otras. Esto puede resultar en un espesor de pared no uniforme. En el análisis final la relación de rotación normalmente se establece por ensayo y error.

La empresa fabricante de equipo McNell Akron, Inc. preparo la siguiente información que se establece en la tabla IX. Es una buena guía disponible hoy en día para las relaciones de rotación.

Tabla IX Relación de rotación establecida con base a ensayo y error

Relación de rotación para formas típicas				
Flecha interna mayor	Flecha externa menor	Formas	Velocidad típica para P:E: (rpm)	
			Eje mayor	Eje menor
Relación de rotación				
8:1		Formas oblongas (montado horizontal) Tubos rectos montados	8	9
5:1		Ciertos ductos de descongelado	5	6
4.5:1		Pelotas y globos esféricos	8	9.75
3.3:1		Cualquier forma con líneas de rotación traslapadas a 4:1	10	12.25
4:0.1		Cubos, pelotas, formas raras. Cajas rectangulares. Caballos de patas dobladas	8 10	10 12.25
2:1		Anillos, llantas, pelotas. Rectángulos con dos o más lados delgados al 4:1. Marcos de cuadros, maniqués, formas redondas planas. Caballos de patas rectas. Cojines de colisión de autos montados verticalmente	6 8 10 12	9 12 15 18
1:2		Partes que deben correr al 2:1 pero que tienen paredes laterales delgadas.	5 7	15 21
1:3		Rectángulos planos (tanques de gas, maletas, cubiertas de contenedores)	4 6 9.5	15 22.5 36
1:4		Llantas, ductos curvos de aire, ángulos de tubos, rectángulos planos. Pelotas con lados delgados al 4:1, cilindros montados verticalmente.	4 5 6	20 25 30
1:5		Cilindros montados verticalmente	4	24

La velocidad de rotación es otra consideración importante. La velocidad se refiere al número de giros (rpm) que nos dan los ejes mayores y menores, existe el sentimiento general de que es posible acortar el ciclo de moldeo al rotar más rápido los moldes lo cual es una creencia falsa.

La cantidad de polvo plástico que se adhiere a una pared de la cavidad se determina por cierto tiempo. Cuando esta la cavidad en contacto con el material plástico, el tiempo de residencia del polvo plástico en contacto con la superficie caliente de la cavidad, debe ser relativamente más largo para una pequeña caja cuadrada que este rotando a 8 rpm que la de un Kayac girando a las mismas 8 rpm. Este tendría un tiempo de residencia mucho más corto.

Una velocidad de rotación lenta es especialmente recomendable para partes plásticas con una proporción largo/ancho grande. Usando una velocidad de rotación alta, un kayak pueda crear suficiente fuerza centrífuga para arrojar el polvo plástico a los más alejados extremos de la cavidad. Aún un molde pequeño montado en el borde externo de una estructura grande tendrá un desempeño diferente de una cavidad similar montada cerca del centro de la estructura.

Los efectos de fuerza centrífuga empiezan a ser obvios a velocidades de rotación mayores de las 12 r.p.m. Es interesante hacer notar que es posible tener la misma relación de rotación. La relación común de 4:1 se puede lograr con una velocidad del eje menor de 12 r.p.m o con una velocidad del eje mayor de 12 r.p.m y una velocidad del eje menor a 15 r.p.m. Estas dos condiciones de moldeo producen resultados muy diferentes, especialmente con partes grandes.

El número de combinaciones posibles para la relación de rotación, más la rotación inversa, es realmente de locura.

La relación de rotación y la velocidad de rotación son dos variables importantes en rotomoldeo que tienen efecto significativo, tanto en la calidad como en la eficiencia del proceso de rotomoldeo, una muy cuidadosa atención a estos dos detalles ayudara a optimizar el proceso de rotomoldeo.

4.6 Mezclado del material plástico

Muchos proyectos requieren mezclado y dispersión del material plástico antes de moldearlo. El color y otros aditivos se pueden agregar al polvo virgen se pueden mezclar dos tamaños diferentes de partículas para lograr un resultado final específico. El remolido tendrá que ser mezclado con el polvo virgen.

El secreto de un rotomoldeo eficiente y de buena calidad es la consistencia en cada parte del proceso. Esto incluye la uniformidad de mezcla y dispersión. Una vez que se ha logrado un color aceptable se establece un procedimiento óptimo de mezcla y no se cambia.

4.7 Medición de la carga del material plástico

La cantidad del material plástico que se coloca o carga en la cavidad es otra consideración crítica. Una vez que la cavidad está construida, tiene un tamaño y un área específica. También tiene una conductividad térmica específica.

El tamaño de la cavidad no cambiara pero la cantidad del plástico puesto en la cavidad puede cambiar, ya sea por accidente o por intención, esto a su vez cambiara el espesor de la pared de la parte moldeada.

En resumen una de las muchas ventajas del rotomoldeo es la habilidad de cambiar el espesor de la pared de la parte sin cambiar el molde. Un cambio en el espesor de la parte sin el correspondiente cambio de ajustes de la cámara de enfriado y calentado puede tener resultados desastrosos.

Una reducción en el espesor de la parte puede resultar en sobrecalentamiento y degradación térmica del plástico. Un incremento en espesor de la pared puede producir una parte moldeada que no este correctamente fundida. Por ejemplo, como regla general, un incremento de 0.75 mm.

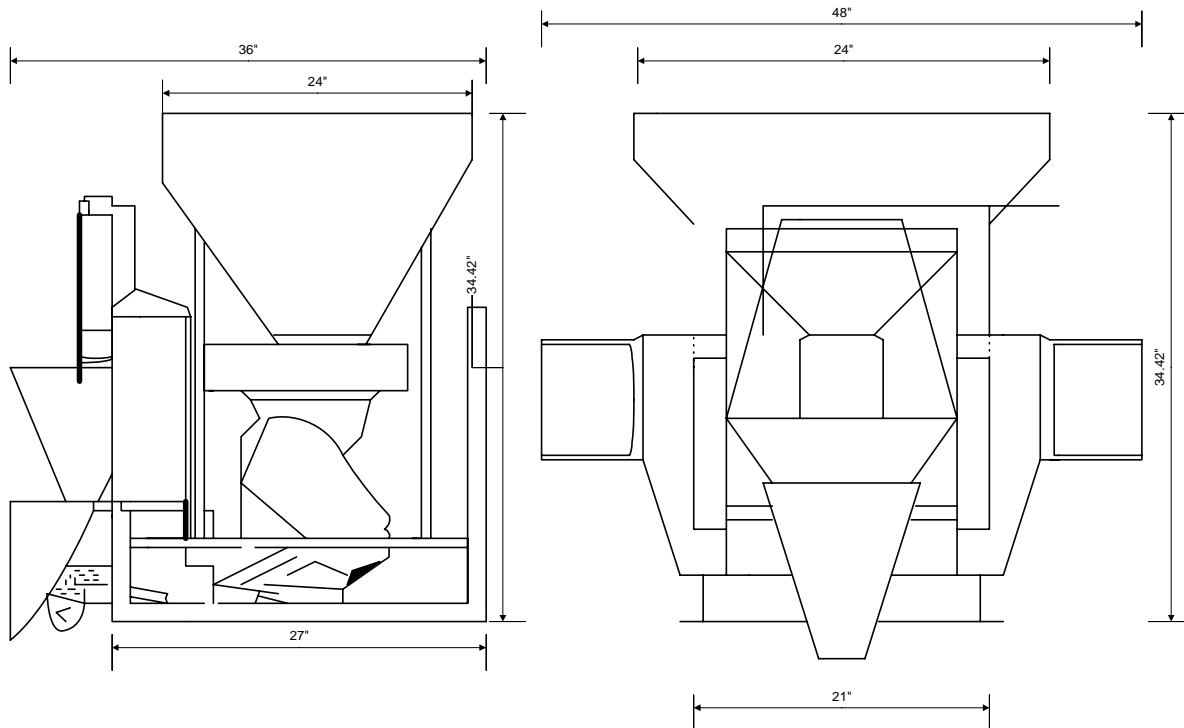
En el espesor de una parte de nylon 6 requerirá aproximadamente dos minutos adicionales en el tiempo del horno. El polietileno requerirá 30 segundos adicionales de tiempo de ciclo para cada aumento de 0.65 mm en el espesor de la pared. Considerando la importancia de un peso de carga preciso, ahora la mayoría de los moldeadores usan un tipo de báscula o mecanismo para el peso del lote a fin de controlar la cantidad de plástico cargado en la cavidad.

Estas básculas van desde electrónicas digitales muy precisas hasta básculas manuales. Su precisión varía tremendamente, a pesar del mejor equipo para pesar, los operadores de las máquinas se dan cuenta rápidamente que el peso correcto del polvo plástico corresponde siempre al mismo nivel del contenedor.

El secreto para un moldeo consistente y de buena calidad es la repetibilidad en cada paso del proceso. Esto también incluye el peso adecuado de la carga del material plástico que se convertirá en la parte moldeada. Hoy en día existen mecanismos automáticos muy precisos para pesar y que están al alcance de la mayoría de los rotomoldeadores.

Las unidades de estación única que pesan una cantidad predeterminada de polvo o pellets y surten la carga en un contenedor(cubeta) se muestran en la figura 57.

Figura 57. Pesador automático para polvo de pellets



Fuente: Introducción al moldeo rotacional

Los moldeadores que estén trabajando con moldes de cavidades múltiples usando el mismo color y tipo de material pueden utilizar una unidad programable, que pesara secuencialmente varios tipos diferentes de cargas. La mayoría de los materiales en polvo se compran en bolsas de 50 libras o cajas de 1000 libras.

Existen también usuarios que utilizan grandes volúmenes y pueden utilizar este polvo a granel y para esto existen transportes automáticos de manejo de materiales que trasladan el material hasta donde se requiera.

4.8 Cierre del molde

Durante el proceso de cierre del molde se deben extremar precauciones para evitar dañar el molde. Una estructura adecuadamente diseñada permitirá un buen alineamiento de las dos mitades de la cavidad y esto protegerá las líneas de separación. Cualquier polvo o líquido derramado en las líneas de separación debe ser eliminado antes de cerrar el molde.

Esta es la última oportunidad que tiene el operador de la máquina para verificar si todos los insertos están presentes o no, ¿esta limpio el tubo de ventilación?. ¿Esta la fibra de vidrio en su lugar?. ¿Esta colocado en la posición correcta el tubo de ventilación?. El verdadero cierre del molde es el asegurar que todas las líneas de separación están empalmadas uniformemente.

Apretar totalmente todos los tornillos en un lado de los moldes puede provocar sujeción incorrecta en el lado opuesto. Es una buena política sujetar el molde al mismo tiempo que las dos mitades del molde se pongan en contacto. No es raro encontrarse con el hecho de que un molde ha sido colocado en el horno sin haber sido cerrado. Esto puede provocar que la mitad superior del molde se caiga, dañando el molde y salpicando el plástico en el horno.

4.9 Fuegos en el horno

Los hornos de rotomoldeo operan a temperaturas de hasta 750° Fahrenheit.

Plástico derramado por las líneas de separación cerradas incorrectamente. Tubos de ventilación sin fibra de vidrio, insertos sueltos ignorados y derrames en la estructura del molde se acumulan en el horno.

Si este plástico no es limpiado periódicamente, puede provocar fuego en el horno. Estos fuegos pueden dañar tanto el horno como al molde. Existe una reacción natural a abrir las puertas del horno a la primera señal de fuego en el horno. Esto es algo que no puede hacerse, pues al abrir las puertas del horno, el fuego recibe una cantidad de oxígeno.

El procedimiento estándar es dejar las puertas del horno cerradas. Apagar la fuente de calor y de ser posible, detener el soplador. Algunos moldeadores recomiendan mitigar el fuego a través de la ranura del brazo en el horno. Los fuegos en el horno no son comunes, pero pueden eliminarse con una limpieza periódica del horno, más un constante cuidado en el cierre y la sujeción del molde.

4.10 Balanceo del molde

Los moldes colocados en un brazo a escuadra requieren balanceo cuidadoso. La mayoría de los brazos a escuadra tienen un dispositivo de contrapeso para este propósito. Una mezcla de diferentes tipos de cavidades montada sobre y debajo de un brazo recto representa un gran reto para balancear.

El balanceo del molde debe hacerse con plástico ya colocado en las cavidades. Para balancear el molde, el mecanismo es desenganchado de tal manera que el molde pueda ser rotado libremente con la mano.

Un molde balanceado adecuadamente se detendrá y permanecerá en cualquier posición de rotación. Un molde no balanceado impondrá fuerza innecesaria al brazo de la maquina, y esto provocara daños en el equipo y un costo adicional en su reparación y mantenimiento, más la pérdida de tiempo.

Los moldes no balanceados también tienen un efecto adverso en la distribución del plástico sobre la superficie de la cavidad. Esta condición puede resultar en espesor de pared no uniforme y abombamiento después del moldeo.

4.11 Desmoldantes

Mucho se ha dicho acerca del misterioso asunto de los desmoldeantes en la industria del rotomoldeo. Su uso y mal uso son frecuentemente motivo de problemas por parte de los operadores y supervisores en el área de moldeo, así como de los gerentes de control de calidad.

El desmoldante es frecuente e injustamente culpado por defectos en las partes, que en realidad son causados por otros factores.

Ya que pueden ocurrir defectos en las partes mas recientes. La aplicación y el cuidado adecuados del desmoldeante son parte integral del proceso de rotomoldeo.

5. SISTEMAS DE ENFRIAMIENTO

5.1 Enfriamiento a temperatura ambiente

Este sistema consiste en dejar rotar el molde a la temperatura del cuarto o salón de trabajo. Es decir que la temperatura ambiente en dicho lugar es que determina, la condición del enfriado, sin tomar ningún sistema externo. (aire acondicionado).

5.2 Enfriamiento por aire forzado

Este sistema se logra soplando aire de la sala de trabajo sobre el molde mediante un ventilador, o soplador, grande. Si se usa un ventilador, este debe estar montado en una posición fija. Los ventiladores portátiles se mueven y causan diferente rapidez de enfriado de una parte a la otra.

Si en el transcurso del año se tiene grandes diferencias de temperatura y humedad del aire en la sala de trabajo, también se tendrán grandes diferencias en la rapidez de enfriado de la pieza. Esto es, el ciclo de enfriado cambiara dependiendo de las condiciones ambientales.

Es importante tomar en consideración que el molde se enfría 20 veces mas rápido con soplado forzado de aire ambiental que con el mismo aire ambiental estático.

5.3 Enfriamiento por agua rociada con atomizador

Este es un sistema simple, ya que el método consiste en rociar el molde con aire y micro-gotas de agua. Dicho método de enfriado se considera muy eficiente, ya que es uniforme y suave en el uso, por lo que forma parte también de los sistemas de enfriado que aplicamos a los moldes cuando están en su proceso productivo.

5.4 Enfriado por chorro de agua

Este último sistema consiste en aplicar un chorro a toda presión de agua de al molde. Este es el tipo más rápido y poderoso de enfriamiento y se usa raramente.

La temperatura del agua que se use para enfriar el molde influye drásticamente en la rapidez y la uniformidad de enfriado del mismo, independientemente del método de enfriamiento con agua que se escoja.

Un moldeador registro el cambio en agua municipal de 7°C en el invierno, a 27°C en el verano. El moldeador redujo el tiempo de su ciclo en enfriado en un 33% durante los meses de invierno.

Otros moldeadores evitan este problema recirculando el agua y controlando su temperatura. Aunque el costo en este sistema se incrementa, pero la eficiencia en la producción es alta.

6. ELECCIÓN DEL MOLDE Y MÁQUINA PARA EL MOLDEO ROTACIONAL

6.1 Análisis técnico

Algunas partes plásticas moldeadas rotacionalmente salen del molde listas para usarse. Sin embargo, en la mayoría de los casos, las partes requieren ciertas operaciones secundarias para prepararlas para su uso final.

Las operaciones secundarias conocidas también como operaciones post-moldeo, terminado y decorado, o simplemente secundarias pueden ser tan simples como eliminar la rebaba de la línea de separación o tan complicadas como maquinar, soldar, pintar, ensamblar, etiquetar, probar y empacar para protegerlos.

Para el desarrollo de un nuevo producto rotomoldeado, es importante recordar que:

- a) El producto final requiere que se complete exitosamente cada paso en el procedimiento de manufactura hasta su terminación para que refleje las capacidades completas del proveedor.
- b) Cada operación en el procedimiento de manufactura puede aumentar o disminuir la utilidad del producto y causar desecho excesivo o trabajo innecesario.
- c) Las operaciones secundarias presentan al moldear la oportunidad de negocios adicionales al abrirle la puerta para otro servicio.

La ejecución efectiva de las operaciones secundarias requiere planeación cuidadosa.

Para planear efectivamente y un moldeador debe tener un acuerdo total del uso final y de los requerimientos funcionales del producto que se esta diseñando, lo ideal seria que el moldeador se involucrase desde la etapa inicial del diseño del producto. Los diseñadores de partes plásticas rotomoldeadas raramente tienen tanto conocimiento acerca de operaciones secundarias como el moldeador experimentado.

En consecuencia, un esfuerzo conjunto aumentara las oportunidades de éxito del producto. El enfoque menos deseable, aunque no el menos común, de terminar una parte plástica, es dejar cualquier consideración de operaciones secundarias hasta después que la parte ha sido moldeada. Este enfoque promueve retrasos y costo adicional innecesario.

Las consideraciones clave en la tasa de planeación son:

- a) Simplicidad.
- b) Confiabilidad
- c) Costo
- d) Tiempo de entrega
- e) Equipo
- f) Apariencia
- g) Inspección
- h) Rechazo
- i) Recuperación de desperdicios
- j) Empaque

La tabla X nos demuestra un análisis técnico de comparación en el diseño de diferentes tipos de moldes.

Tabla X. Comparación de tipos de moldes

	Costo	Tiempo de Entrega	Experiencia Previa	Piezas Grandes	Complejidad en la Forma	Detalles Finos	Precisión	Acabado de la Superficie	Ausencia de Porosidad	Espesor (mm)	Peso (gramos/cm ³)	Se Necesita Modelo	Para varias Cavidades	Conductividad Termica (Btu/hr/pie ² /pulg)	Corrosión	Soldable	Línea de Separación Escondida
Aluminio Vaciado (Yeso)	8	7	10	9	9	9	8	7	6	4.7 12.7	2.69	Si	8	1.080	8	7	1
Aluminio Vaciado (Arena)	9	8	5	9	8	6	6	5	4	6.4 19.1	2.74	Si	9	1.080	8	4	1
Lamina de Aluminio	9	9	8	10	7	6	5	8	5	2.0 6.4	2.83	No	4	1.200	8	8	1
Lamina de Acero	10	9	9	10	6	5	5	9	9	1.3 3.6	7.84	No	4	324	5	10	1
Lamina de Inoxidable	8	9	7	10	5	4	5	9	9	1.3 3.6	7.89	No	4	139	10	8	1
Niquel Electroformado	5	6	6	7	10	10	9	8	7	2.0 3.8	8.81	Si	10	423	9	9	10
Cobre Electroformado	6	6	5	8	10	10	9	8	8	3.2 3.8	8.89	Si	10	2500	8	8	10
Aluminio Maquinado	5	10	4	6	4	4	10	10	9	1.6 6.4	2.83	No	6	1200	8	8	1
Aluminio Maquinado (CNC)	4	9	3	6	7	4	10	10	6	1.6 6.4	2.83	No	8	1200	8	8	1

10= Lo mejor o lo más comun

5= Vale la pena considerarlo

1= Normalmente no se utiliza

Fuente: Introducción al moldeo rotacional

6.2 Análisis económico

Ante todo, el enfoque más simple para planear operaciones secundarias es diseñar la parte para eliminarlas tanto como sea posible. Siempre tenga en mente que eliminación es la palabra clave para reducir costos.

Con plásticos moldeado frecuentemente es posible eliminar operaciones de manufactura y componentes extras; sin embargo, si esto complica el moldeo al aumentar pernos al molde, agregar insertos, producir muescas que dificulten la remoción de la pieza, o cualquier otra actividad que complique la operación, habrá que revisar las consecuencias en el costo final.

Cuando el costo es un factor, el moldeo rotacional tiene la ventaja con otros tipos de procesos, en comparación con moldeo por inyección y soplado en donde el moldeo rotacional puede producir partes grandes o pequeñas con muchas facilidades y un costo efectivo, las herramientas son menos caras porque no hay que manufacturar un núcleo interior, como no hay núcleo interior, se le pueden hacer fácilmente cambios pequeños a un molde existente. Como las partes son formadas con calor y rotación en vez de presión, no hay necesidad de hacer que los moldes tengan que resistir las grandes presiones del moldeo por inyección.

Los costos de producción para conversión de productos son reducidos porque los plásticos livianos reemplazan materiales pesados que frecuentemente son costosos, esto hace que el moldeo rotacional sea eficiente en costo para los prototipos “uno de cada clase” lo mismo que en producciones grandes.

Por ejemplo, considere insertos que se colocan durante el moldeo contra instalación de insertos similares como una operación secundaria; considere el tiempo involucrado. Revise el costo de mantener una maquina costosa de moldeo de tres o cuatro brazos mientras se cargan los insertos en la cavidad.

Generalmente, si la carga de insertos va a aumentar el tiempo del ciclo de la maquina, es conveniente instalar los insertos en una operación secundaria. El costo por hora de la máquina moldeadora suele ser mucho mayor que el costo por hora del trabajador asignado a operaciones secundarias. Casi siempre convendrá usar la máquina lo mas intensivamente posible, pero siempre habrá que revisar que alternativa será más económica.

Un ejemplo típico de diseño de un producto para minimizar operaciones secundarias es el siguiente caso de un cliente que estaba considerando la posibilidad de cambiar a un tanque de combustible rotomoldeado. El tanque que tenia en uso era de acero soldado, pintado, requería tres letreros, cuatro ménsulas soldadas para montaje, una salida de rosca, un accesorio para sostener la manguera, una conexión para un medidor de combustible y un cuello para el llenado.

La solución se dio por un tanque de polietileno negro moldeado rotacionalmente que elimino los requerimientos de pintura y agrego valor por ofrecer peso más ligero y cero problemas de corrosión. Los letreros requeridos y la advertencia de solo-gasolina fueron grabados en la cavidad y moldeados como parte integral del tanque, eliminando las tres impresiones adhesivas.

Un tapón de ventilación de combustible integrado fue enroscado directamente en el cuello moldeado con la rosca en el plástico, resolviendo en una sola aplicación tanto el cuello para llenado como el medidor de combustible. La salida fue reemplazada con una conexión estándar para manguera que se anexo al tanque con un sello de goma. Esto elimino las cuerdas del entubado. Una vez eliminada la pintura, las impresiones, la salida roscada, el mecanismo de medición y el cuello separado, el paso siguiente fue concentrarse en el método para montar el tanque.

Se considerarán varias opciones. Correas, ménsulas atornilladas a los insertos que se colocaron por dentro y orejas de montaje moldeadas con hoyos moldeados por dentro. Las correas no eran visibles y eran costosas. Las ménsulas y los insertos eran caros y los insertos podían causar problemas de moldeo. Al cliente no le gustaba la apariencia de las orejas de montaje.

El moldeador decidió no incorporar hoyos para columnas internas moldeadas, porque requerían pernos en la cavidad lo que aumentaba el tiempo de carga y descarga de la maquina y podrían requerir mantenimiento adicional de molde, además de la posibilidad de aumentar la tasa de rechazo debido a burbujas por soplado.

La solución final fue rebajar el tanque en el área de los tornillos de montaje para permitir un espacio muerto para una llave de cubo y moldear una ranura abierta que permita sostener el tanque en su lugar con cuatro tornillos y roldanas. La parte final fue hecha con un molde de tres piezas, donde la tercera pieza produce el cuello roscado. El moldeo no requiere insertos que se colocan en el moldeo, ni pernos sueltos en el molde, ni coloreado posterior.

Las únicas operaciones secundarias que quedaban por realizar para este tanque eran, por orden de ejecución, las siguientes:

- a. Prueba de presión para fugas
- b. Barrenar dos hoyos
- c. Limpieza por aspiración (de vacío)
- d. Instalar conexión de salida
- e. Instalar un tapón de transporte
- f. Verificación final de presión
- f. Rebabeear y limpiar

h. Empaque

El tanque moldeado de combustible fue lanzado al mercado con mucho éxito. Por lo menos una parte del éxito de este producto puede atribuirse a la iniciativa y creatividad del moldeador en la fase de diseño de proyecto.

Un rotomoldeador experimentado estará familiarizado con todas las capacidades del proceso de rotomoldeo. Sabrá que detalles de diseño deben ser moldeados y que detalles deben agregarse posteriormente con operaciones secundarias.

Finalmente en todo proceso ni el cliente promedio ni su diseñador están familiarizados con las sutilezas del procedimiento de rotomoldeo.

Las operaciones secundarias requieren de mucha mano de obra y están muy propensas a errores. En muchos casos, el valor agregado no se equipara al costo agregado de las operaciones secundarias. La mejor defensa contra esta situación es eliminar esas operaciones de post-moldeo. Sin embargo, existen muchos casos en los que todos estos pasos adicionales no pueden ser eliminados, es entonces cuando el moldeador puede únicamente minimizarlas tanto como le sea prácticamente posible.

Habiendo minimizado la necesidad de las operaciones secundarias, tanto como sea posible, el siguiente paso será el considerar los métodos disponibles para manejar las operaciones que no pueden ser evitadas. A continuación se presenta un repaso breve de las operaciones secundarias más frecuentes y usadas.

- a. Maquinado y corte: Eliminación de rebabas, barrenado, contorneadores(*Router*), caladoras manuales, aserrado con sierras circulares.
- b. Uniones con adhesivo y soldadura giratoria por fricción en caliente.
- c. Decorado: Pintura, encerado, estampado en caliente, impresión, calcomanías pegadas con adhesivo.

Habiendo revisado las operaciones secundarias más comunes que se usan para terminar un producto, es tiempo de considerar la organización de estas operaciones en un procedimiento más eficiente que satisfaga los requerimientos del producto. La primera consideración es siempre la búsqueda de la eliminación de cada operación secundaria. Esas operaciones que permanecen son con frecuencia materia de elección, o más precisamente, un balance continuo de costo contra funcionamiento. Por ejemplo, debe moldearse dentro del proceso un inserto roscado de metal; o instalarse después del moldeo como operación secundaria. Algunos de los factores que deben considerarse para contestar esta aparente simple pregunta sobre un inserto son:

- a. Se requiere hoyo ciego.
- b. Se requiere un material especial para el sujetador.
- c. Existe limitante de torque.
- d. Se requiere resistencia al jalar e inserto.
- e. Que tolerancia dimensional de ubicación se tiene.
- f. Se requieren grandes cantidades de la pieza.
- g. Posicionar los insertos hará más lento el ciclo de moldeo.
- h. Cual es el tiempo de instalación requerido para aplicar los insertos como operación secundaria.

- i. Cual es el número de insertos que se requiere por ciclo(cantidad o orden)

Cada aplicación tiene sus requerimientos específicos y debe ser evaluada en base a la función y el costo. Una vez que los requerimientos funcionales han sido satisfechos la selección del método y los materiales de construcción serán bastante influenciados por el volumen de producción anual. El volumen tiene efecto directo en el balance entre costo de herramental y costo por unidad.

Por ejemplo, cortar una ranura con dado en la prensa de punzado es más rápido y más confiable que cortar la misma ranura con un *router*. El costo de cortar con dado puede ser únicamente el 10% del costo requerido para cortar la ranura con *router*. Sin embargo, el dado de punzado puede fácilmente cortar diez veces lo que una broca de *router*. El costo de un *router* manual también debe ser evaluado y comparado con el costo de una prensa de punzado, desafortunadamente, no existe respuesta simple a estas preguntas pues se deben considerar la función, el costo del herramental, la mano de obra y los costos unitarios se deben también analizar a la luz de factores tales como requerimiento anual de producción , flujo de efectivo y retorno de la inversión en activos capitalizados.

En un esfuerzo por simplificar la planeación y el desempeño de operaciones secundarias, se puede considerar esta secuencia típica de operaciones que se repiten en una gran variedad de productos plásticos rotomoldeados. Empezando con la parte moldeada, un tanque de combustible en este caso, una primera operación lógica pudiera ser la eliminación de rebaba.

Cuando esto se ha realizado parcialmente en la parte, puede ser probada o verificada por si hay fugas, ya que en el caso de un tanque o contenedor es conveniente no agregar el costo de operaciones secundarias adicionales a menos que la parte moldeada pueda proveer los requerimientos deseables del producto final (cero fugas en este caso), si la parte presenta fugas, esta muy abombada o tiene a ser rechazada es el momento de reparar el defecto o desechar la parte antes de incurrir en gastos adicionales.

Suponiendo que se ha producido una parte buena, las operaciones de maquinado son el siguiente paso. El barrenado generalmente se realiza antes que el cortado con *router* o aserrado, pues la pieza que salió del molde ya se debe estar en su estado más rígido. Las operaciones de barrenado pueden tender a doblar o deformar la parte y conforme las áreas se maquinan la parte se torna más flexible.

Después del barrenado, el cortado con *router* es normalmente el siguiente paso, y el aserrado es normalmente el paso final en la operación de maquinado.

Si la parte pasa todas estas operaciones secundarias sin error, es tiempo de realizar el recorte final de la rebaba en la línea de separación. El producto completamente maquinado está listo para las operaciones de ensamble, decoración y empaque. En el caso de tanques y contenedores, generalmente existe una prueba final de presión antes del empaque para asegurarse que todas las operaciones precedentes han sido completadas adecuadamente y que ninguno de los ajustes gotea.

Conforme el moldeador sigue la planeación organización e implementación de las operaciones secundarias requeridas, debe tomar en cuenta que cada operación agrega costo al producto. Para producir el mejor producto posible al costo mas bajo posible, es conveniente:

- a. Eliminar tantas operaciones secundarias como sea posible a través de diseño creativo y buenas practicas de moldeo.
- b. Usar métodos simples, efectivos y probados, siempre que sea posible.
- c. Asegurarse que el personal tenga las habilidades adecuadas, capacitación, entrenamiento, herramientas y aditamentos para realizar las operaciones secundarias requeridas.
- d. Si lo considera conveniente, prepare un formato de instrucciones con una lista detallada de procedimientos para operaciones secundarias.
- e. Darse cuenta que el producto final que es embarcado será un reflejo de las capacidades de la compañía. Sin importar la función final del articulo, el cliente siempre quiere sentir que esta recibiendo un producto atractivo y de costo apropiado a la calidad esperada.

La correcta planeación y ejecución de las operaciones secundarias puede aumentar bastante el valor agregado de un producto plástico rotomoldeado.

Estos toques finales son tan importantes que con frecuencia hacen la diferencia para el éxito con el producto al compararse con lo que entrega el moldeador de piezas baratas.

CONCLUSIONES

1. Existen varias formas de transformación de materiales plásticos que pueden ser utilizados en sistemas técnicos de diseño, pero el proceso de rotomoldeo tiene varias ventajas sobre otras técnicas de procesamiento de plásticos, por su habilidad de producir partes huecas de gran tamaño, de una sola pieza, formas poco comunes y es un proceso de baja presión, por lo que el equipo y los moldes requeridos son relativamente bajos en costo y las partes rotomoldeadas pueden tener espesores de pared delgadas lo que resulta un ahorro de materia prima.
2. Todos los productos plásticos exitosos tienen en común cuatro elementos básicos que se deben seleccionar: Material, diseño, molde y proceso , para poder producir el producto óptimo, los cuales están interrelacionados uno del otro.
3. La singular combinación de atributos del proceso de rotomoldeo ha permitido a este segmento de la industria plástica encontrar su lugar en muy diversos mercados. Los tanques de todos tamaños y formas son probablemente el mercado más amplio del rotomoldeo, al igual que muchos otros productos se pueden producir con la misma técnica usada para fabricar tanques. Por mencionar algunos, carcazas para juegos de video, equipos de ejercicios, cabinas telefónicas, muebles residenciales y comerciales, etc.

4. Referente al mercado y consumo masivo de estos productos fabricados en plástico, es de fácil distribución en cualquier parte y es aceptado por todo tipo de compradores de diferentes clases sociales. Ya que este producto puede sustituir todo tipo de objetos caseros empleados en hogares, comercios e industrias. Por lo que en lo económico puede paliar el desempleo y crear fuentes de trabajo para el obrero, el ingeniero, el auditor, y todo tipo de profesionales.

5. La posición del rotomoldeo en el mercado tiene una singular combinación de atributos en el proceso de producción. Esta técnica ha permitido a la industria plástica encontrar su lugar en muy diversos mercados. Los tanques utilizados para líquidos de todos tamaños y formas son probablemente el mercado mas amplio del rotomoldeo en Guatemala. Muchos otros productos se pueden producir con la misma técnica usada para fabricar tanques.

6. El futuro para la industria del moldeo rotacional se ve muy promisorio, tanto por un mercado viable y en crecimiento como por una oportunidad segura de desarrollo personal. Las proyecciones de crecimiento para la industria del rotomoldeo son del 10 al 15 % por año para el futuro previsible y unicamente puede venir de dos lugares: primero, de una penetración mas profunda en los mercados existentes a través de mejor calidad, y de mayor eficiencia en costos tanto de material como de procesos; y segundo: de la apertura de mercados totalmente nuevos a basados en innovación y la creatividad en diseños y desarrollo de productos nuevos.

7. La vida útil del molde depende en alto porcentaje de un mantenimiento adecuado, cada molde necesita una atención especial, recordemos la naturaleza del proceso de rotomoldeo en donde estos moldes están sujetos a mucho abuso de calentamiento y enfriamiento por lo que es necesario hacer un análisis mecánico para comprender su estructura y funcionamiento y actuar de acuerdo con las características de este.

8. Cuando el costo es un factor muy importante para el diseño de un producto plástico, el moldeo rotacional también tiene la ventaja sobre otros tipos de procesos, en comparación con el moldeo de inyección y soplado, debido a que el moldeo rotacional puede producir partes grandes o pequeñas con facilidad y costo efectivo.

RECOMENDACIONES

1. Para diseñar una parte plástica que se va a producir por moldeo rotacional se sigue el mismo protocolo de diseño de cualquier otra parte que vaya a producirse con cualquier técnica de manufactura y con cualquier otro material, para poder satisfacer las necesidades funcionales del producto y los requerimientos de manufactura del proceso.
2. El moldeo rotacional es una técnica de procesamiento de plástico relativamente nueva, un diseñador que contemple el uso de moldeo rotacional por primera vez debe proceder con precaución ya que uno de los problemas recurrentes con el moldeo rotacional es que muchas partes son diseñadas con recurso humano sin experiencia previa en el proceso y aquellos que lo utilizan por primera vez incrementan sus oportunidades de éxito si consultan durante la fase preliminar de un producto nuevo a un ingeniero de diseño o aún moldeador experimentado.
3. Antes de proceder con el diseño al detalle, es bueno recordar que todos los productos plásticos exitosos pueden visualizarse por los cuatro elementos básicos que tienen en común. Diseño de la parte, selección del material, herramientas de diseño y proceso de moldeo.

4. El diseño de una parte de buena calidad es el resultado del entendimiento que tenga el diseñador sobre las capacidades, limitaciones y requerimientos únicos del material, herramientas y de las técnicas de proceso, lo que rendirá en grandes dividendos cuando el producto sea lanzado al mercado.

5. Para elevar el nivel de la industria que se dedica a este proceso de rotomoldeo y el constante crecimiento en el futuro, hay que darle un mayor impulso a la capacitación para este importante segmento de la industria del plástico y obtener la mayor disponibilidad de personal que posea un entendimiento total y completo del moldeo rotacional.

BIBLIOGRAFÍA

1. Association of Rotational Molders. **Introducción al Moldeo Rotacional.** Seminario en español, México Septiembre 1997.
2. La Asociación de Rotomoldeadores. (**Proceso de rotomoldeo** <http://www.rotomolding.org>, (04/12/2002))
3. Avallone Eugene A. y Baumeister III Theodore. **Manual del ingeniero mecánico.** 9ª ed. (Volumen 1) México: Editorial McGraw-Hill, 1999.
4. Normas ASTM. (**Manual de normalización** <http://www.astm.com>, (31/07/2003))