

**ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL**  
**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la**  
**Producción**

"Diseño de un molde de Rotomoldeo para un tanque (polietileno)  
de almacenamiento de agua de 1000 litros"

**TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN**

Examen Complexivo

Previo la obtención del Título de:

**INGENIERO MECÁNICO**

Presentado por:

Danny Cooper Naranjo Dávila

GUAYAQUIL - ECUADOR

Año: 2016

## AGRADECIMIENTO

A mis padres el Sr. Cooper Naranjo y la Sra. Mercedes Dávila que me dieron su esfuerzo y apoyo para poder culminar mi carrera y se sacrificaron para que sea una persona de bien.

A mi esposa Angélica y mis 2 hijas Daniela y Suemy Naranjo por ayudarme en cada momento que necesité y poder obtener mi título de Ingeniero.

A mi hermano el Ing. Manuel Naranjo y en especial a mi hermana la Srta. Mildred Naranjo por tener su apoyo incondicional durante todo este tiempo.

# DEDICATORIA

A MIS HIJAS

A MI ESPOSA

A MIS PADRES

A MIS HERMANOS

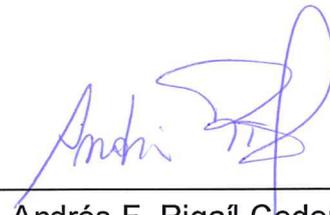
## TRIBUNAL DE SUSTENTACIÓN



---

Jorge L. Amaya Rivas, Ph.D.

VOCAL 1



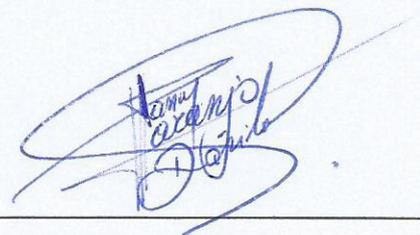
---

Andrés F. Rigaiñ Cedeño, Ph.D.

VOCAL 2

## DECLARACIÓN EXPRESA

“La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de examen complejo me corresponde exclusivamente; y el patrimonio intelectual del mismo a la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL”



---

Danny Naranjo Dávila

## RESUMEN

El estudio se enfoca en el desarrollo de un proceso de diseño para moldes de molde rotacional (Rotomoldeo), con la finalidad de establecer un procedimiento esquemático para el diseño y construcción de moldes para procesamiento de plásticos en las industrias del país. Debido a que estos productos no se elaboran en el país, deben ser importados, provocando incremento en precios de producción y precios elevados de ventas.

Como caso de estudio, se propone diseñar un molde para la producción de un tanque de polietileno con una capacidad de almacenamiento de 1000 litros de agua, y una fundición de aluminio como material para la fabricación del molde base. El volumen de producción dependerá de la capacidad de la máquina rotomoldeadora que se vaya a utilizar para el proceso.

Como resultado se pudo obtener un esquema de diseño para un molde de Rotomoldeo para un tanque para almacenamiento de agua, donde se puede establecer un proceso de selección tanto del material del molde base, como del polímero y geometría del producto y su control de calidad a cumplir, diseño del molde y su respectiva simulación. Además de realizar el análisis de costos para conocer la factibilidad del proceso de construcción del molde.

## ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN	I
ÍNDICE GENERAL	II
ABREVIATURAS	V
SIMBOLOGÍA	VI
ÍNDICE DE FIGURAS	VII
ÍNDICE DE TABLAS	VIII
ÍNDICE DE PLANOS	IX
INTRODUCCIÓN	X
CAPITULO 1	
1. ANTECEDENTES	1
1.1. Descripción del problema.	1
1.2. Objetivos.	1
1.2.1. Objetivo general.	1
1.2.2. Objetivos específicos.	2
1.3. Marco teórico.	2
1.3.1. Proceso de Rotomoldeo de plásticos.	2
1.3.2. Máquina rotomoldeadora.	4
1.3.3. Molde.	5

## CAPITULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO	6
2.1. Procedimiento esquemático de diseño.	6
2.2. Parámetros iniciales.	7
2.2.1 Especificaciones de la pieza.	7
2.2.2 Tipo de material del molde.	8
2.3. Parámetros del horno.	9
2.3.1 Calefacción.	9
2.3.2 Enfriamiento.	10
2.4. Curvados y desfogaderos.	11
2.4.1. Curvados.	11
2.4.2. Desfogaderos.	12

## CAPITULO 3

3. RESULTADOS	14
3.1. Selección del material del molde.	14
3.2. Modelado del molde.	14
3.3. Análisis de costos de manufactura del molde.	14
3.3.1. Análisis de costo del molde base.	15
3.3.2. Análisis de costo de mecanizado.	16
3.3.3. Análisis de costo de texturizado.	16
3.4. Prototipo y ensayo.	17
3.4.1. Norma de calidad para el tanque de HDPE.	18

## CAPITULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES	20
4.1. Conclusiones.	20
4.2. Recomendaciones.	21

## BIBLIOGRAFÍA

## ANEXOS

## ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral.
HDPE	Polietileno de alta densidad.
LDPE	Polietileno de baja densidad.
PVC	Cloruro de polivinilo.
PP	Polipropileno.
AISI	American Iron and Steel Institute (Instituto americano del hierro y el acero).
SAE	Society of Automotive Engineers (Sociedad de Ingenieros Automotores).
ISO	International Organization for Standardization (Organización Internacional de Normalización).
TR	Turquía.
ASTM	American Society for Testing Materials (Asociación Americana de Ensayo de Materiales).
DIN	Deutsches Institut für Normung (Instituto Alemán de Normalización)
ERPPRS	Enterprise resource planning sustainable real projects.

## SIMBOLOGÍA

%	Porcentaje.
h	Coeficiente de transferencia de calor por convección.
T	Temperatura.
t	Espesor.
$\rho$	Densidad.
$\mu$	Micra.
m	Metro.
\$	Dólares.
$C_p$	Calor específico.
mm	Milímetro.
L	Litro.
d	Diferencial.

## ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1	Proceso de Rotomoldeo de un producto.	2
Figura 1.2	Máquina tipo carrusel de tres brazos fijos.	3
Figura 1.3	Máquina para molde rotacional, brazo recto y acodado.	4
Figura 1.4	molde de Rotomoldeo de tanque de almacenamiento de agua.	5
Figura 2.1	Procedimiento esquemático del diseño del molde.	6
Figura 2.2	Diseño del tanque de 1000 L.	7
Figura 3.1	Diseño un prototipo de molde para tanque de 1000 L.	18

## ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Comparación de materiales.	8
Tabla 2.	Matriz de decisión de materiales del molde.	9
Tabla 3.	Valores de contracción de materiales plásticos.	12

## ÍNDICE DE PLANOS

- PLANO 1 Despiece del molde.
- PLANO 2 Parte superior del molde para tanque de 1000 L.
- PLANO 3 Parte inferior del molde para tanque de 1000 L.
- PLANO 4 Base del molde.
- PLANO 5 Tanque de almacenamiento de agua de 1000L. HDPE

## INTRODUCCIÓN

Este trabajo se orienta en el desarrollo de una metodología de diseño para un molde de Rotomoldeo de plástico que pueda ser implementado en la industria plástica local, convirtiéndose en un soporte para el crecimiento de la manufactura moderna en el Ecuador.

En el capítulo I se conocerá todos los conceptos básicos sobre el proceso de Rotomoldeo de plásticos, con la finalidad de recolectar datos que permitan desarrollar el diseño de un molde para este proceso, que busque solucionar el problema planteado en el proyecto.

En el capítulo II se desarrollará los cálculos correspondientes para conocer las condiciones de procesos de producción, tales como tiempos de plastificación del polímero, tiempo de distribución del material alrededor del molde, tiempo de enfriamientos del producto y finalmente tiempo de expulsión o retiro del producto terminado. A su vez, realizar los cálculos para el dimensionamiento y selección del material del molde base.

En el capítulo III se realizará la selección de cada uno de los sistemas que componen el molde, para de esta forma realizar el diseño final del molde con cada uno de sus elementos que van a intervenir en el proceso de producción de elementos plásticos rotomoldeados.

Como conclusión, se establecerá un proceso esquemático de diseño para un molde de Rotomoldeo, que pueda utilizarse para poder desarrollar y construir moldes para este proceso.

# CAPITULO 1

## 1. ANTECEDENTES

### 1.1. Descripción del problema.

Las industrias de producción de productos plásticos se han desarrollado de manera muy rápida como respuesta a la sustitución de materiales tradicionales por el plástico. Como producto de este crecimiento, la necesidad de incrementar las máquinas y equipos para la manufactura de los productos plásticos también se incrementa, por este motivo la necesidad de importar estas máquinas y piezas se eleva de manera considerable.

Para el procesamiento del polímero, existen varios procesos entre ellos el de moldeo rotacional o Rotomoldeo. Es por esto que, este proyecto se enfoca en desarrollar un procedimiento esquemático de diseño para la construcción de un molde para Rotomoldeo de plástico con la finalidad de poder construir estas partes en el país y de esta forma disminuir el margen de importaciones de elementos utilizados en el procesamiento de polímeros por moldeo rotacional.

### 1.2. Objetivos.

#### 1.2.1. Objetivo general.

Realizar el diseño de un molde de rotomoldeo para un tanque de almacenamiento de agua de 1000 L. a través de la aplicación de una metodología (diagrama de flujo) para el diseño y construcción.

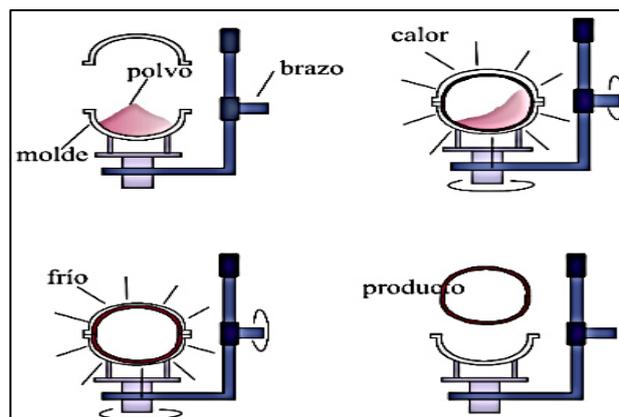
### 1.2.2. Objetivos específicos.

- Entender el proceso de Rotomoldeo de plástico.
- Seleccionar el polímero a trabajar en el proceso de Rotomoldeo “caso de estudio”.
- Determinar la formulación de transferencia de calor para el sistema de calefacción y refrigeración del molde.
- Realizar el modelado y conocer el ensayo de calidad.
- Realizar la estimación de costos de construcción del molde.

### 1.3. Marco teórico.

#### 1.3.1. Proceso de Rotomoldeo de plásticos.

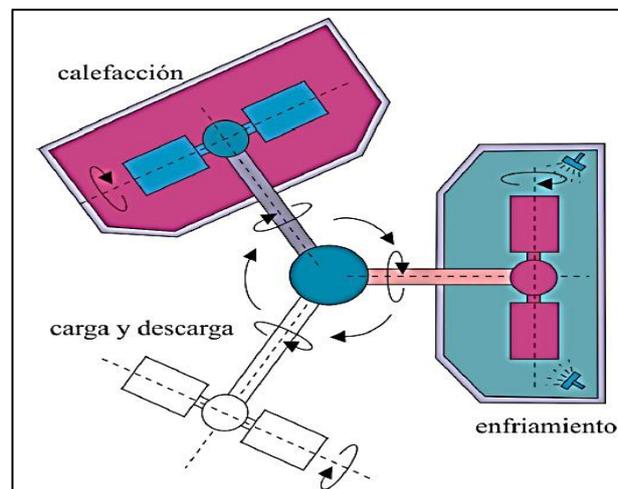
El proceso de moldeo rotacional (Rotomoldeo), es un proceso de manufactura de polímeros que consiste en depositar la materia prima (polvo o pellets) dentro de un molde cilíndrico compuesto por dos cascarones, con la finalidad de obtener un producto de plástico hueco como se muestra en la figura 1.1.



**Figura 1.1 Proceso de Rotomoldeo de un producto.**

Fuente: Beltrán M y Marcilla A, "Tecnología de polímeros". 2012

Para este proceso, primero se debe colocar la cantidad requerida de material (polímero) en uno de los cascarones (molde), que se encuentra en la zona de carga. Inmediatamente se procede a cerrar el molde con el segundo cascarón, para luego ser ingresado al horno, para lo cual el molde cerrado va a rotar en sus dos ejes en su interior. Cuando el material está plastificado, y producto de la rotación biaxial del molde, el material se va adheriendo a las paredes con un espesor uniforme hasta formar el objeto hueco, después de esto, el molde pasa a la cámara de enfriamiento para su respectiva solidificación de la pieza plástica para finalmente ser colocada en la zona de descarga para que el producto terminado sea retirado del molde, un ejemplo muy común de este tipo de procedimiento se muestra en la figura 1.2 a continuación:

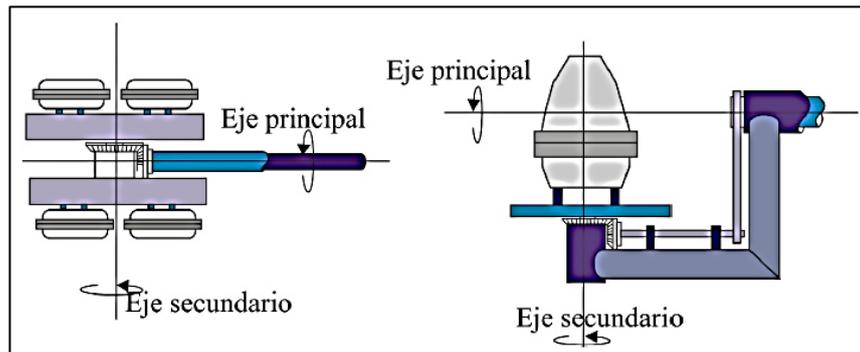


**Figura 1.2 Máquina tipo carrusel de tres brazos fijos.**

Fuente: Beltrán M y Marcilla A, "Tecnología de polímeros". 2012

### 1.3.2. Máquina rotomoldeadora.

Una máquina para el proceso de Rotomoldeo de plástico debe ser capaz de hacer rotar el molde en sus dos ejes (ver figura 1.3), este sistema es el más utilizado en la actualidad para este proceso.



**Figura 1.3 Máquina para molde rotacional, brazo recto y acodado.**

Fuente: Beltrán M y Marcilla A, "Tecnología de polímeros". 2012

Para el primer caso (brazo recto), es posible colocar una mayor cantidad de moldes para un ciclo de manufactura, pero con la restricción del tamaño, debido a las altas fuerzas que se necesitará para hacer rotar los moldes. Para el segundo caso (brazo acodado), en su mayoría son solo para manufacturar un solo producto a la vez, se usan para moldear piezas plásticas de gran tamaño, debido a la restricción de su tamaño, este sistema está diseñado para ejercer las altas fuerzas de rotación que debe proporcionar para un correcto moldeo de la pieza.

Para el caso de la calefacción, se emplea un horno de convección forzada, en la mayoría de los casos la energía para hacer funcionar el molde es el gas en su mayoría, aceite o electricidad.

### 1.3.3. Molde.

El molde es la parte de la máquina que se encarga de darle la forma al producto plástico, para poder realizar su función, debe cumplir con los siguientes requerimientos:

- El material del molde base debe ser de buena conductividad térmica (calentamiento y enfriamiento) y baja densidad (peso).
- Tener buena resistencia mecánica para evitar deformaciones que puedan ser ocasionadas por la fatiga térmica sometida.
- Deben ser correctamente mecanizados para evitar excentricidades y deformaciones, y a su vez deben tener un correcto acople a la máquina.
- Asegurarse de que el molde cuente con los respiraderos suficientes que permita la salida del aire caliente que se encuentre dentro del molde y a su vez disminuir la cantidad de presión en su interior y así evitar turbulencia que dañe el espesor de la pieza.



**Figura 1.4 molde de Rotomoldeo de tanque de almacenamiento de agua.**

**Fuente:** Enterprise resource planning sustainable real projects (ERPERS). 2012

# CAPITULO 2

## 2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

### 2.1. Procedimiento esquemático de diseño.

Se considera establecer un procedimiento esquemático de diseño que nos permita seguir de manera ordenada cada uno de los pasos o procesos que se debe cumplir para obtener el diseño final del molde. En la Fig. 2.1 se muestra a continuación el proceso que se establecerá para el desarrollo del diseño del molde para este proyecto:

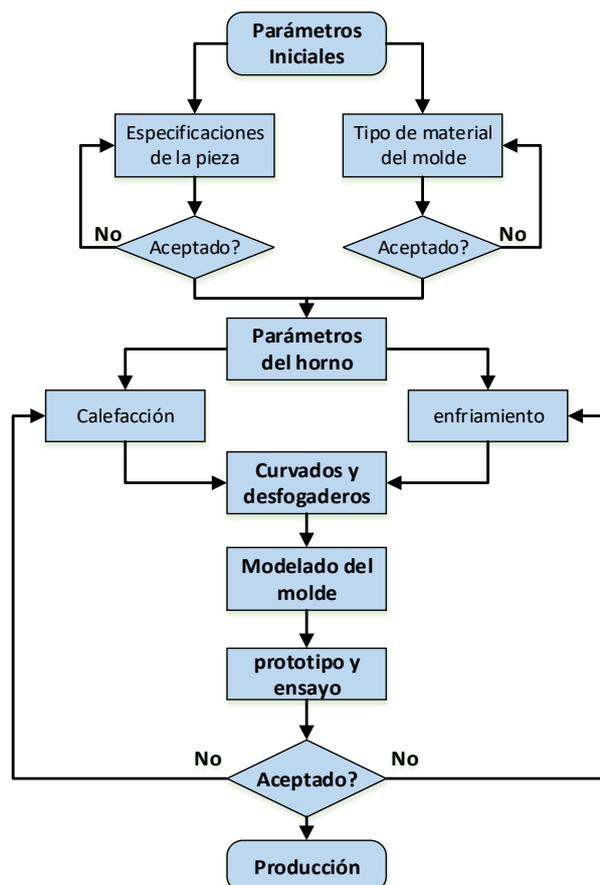


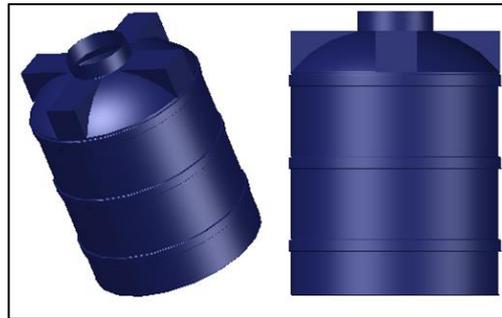
Figura 2.1 Procedimiento esquemático del diseño del molde.

Fuente: Propia, 2016.

## 2.2. Parámetros iniciales.

### 2.2.1 Especificaciones de la pieza.

Como caso de estudio se propone diseñar un molde para un tanque de HDPE con una capacidad de almacenamiento de 1000 litros de agua, como se muestra en la figura 2.2:



**Figura 2.2 Diseño del tanque de 1000 L.**

Fuente: Propia, 2016.

Para poder determinar la cantidad de polímero que se debe utilizar para la elaboración del tanque (ver en planos del tanque), se debe calcular el volumen del tanque (calculado en AUTOCAD), dando como resultado:

$$m_{pol} = \rho_{pol} * V_{pol}$$

Dónde:

$m_{pol}$  = masa del polímero (Kg).

$\rho_{pol}$  = Densidad del polímero (Kg/m<sup>3</sup>) = 970

$V_{pol}$  = Volumen del polímero (m<sup>3</sup>) = 0.01775869

Resolviendo:

$$m_{pol} = 970 * 0.01775869 = \mathbf{17.226 \text{ Kg}}$$

### 2.2.2 Tipo de material del molde.

Se debe tener en consideración cuales son los materiales más adecuados para la elaboración de moldes para procesamiento de plásticos, para lo cual se emplea una matriz de decisión con la finalidad de seleccionar el material más idóneo para la construcción del molde, para lo cual se considera los siguientes tres materiales más utilizados:

- Acero AISI P20.
- Acero SISA H13.
- Aluminio.

Los factores seleccionados para la matriz son los siguientes:

Densidad: Cantidad de masa de material en un volumen determinado.<sup>7</sup>

Dilatación térmica: Capacidad del material de expansión ante altas temperaturas.<sup>7</sup>

Resistencia a la abrasión: Capacidad del material a resistir el rozamiento con otro material químico.<sup>7</sup>

Texturizado: Capacidad del material para realizar acabados superficiales.<sup>8</sup>

**Tabla 1. Comparación de materiales.**

<b>Factores</b>	<b>AISI P20</b>	<b>Acero H13</b>	<b>Aluminio</b>
Baja densidad	media	media	alta
Dilatación ter.	media	media	alta
Resistencia abra.	alta	alta	media
Texturizado	media	media	alta

**Fuente:** Propia, 2016.

Se procede a asignarle una ponderación a cada uno de los factores:

- Baja densidad: 40%
- Dilatación térmica: 20%
- Resistencia a la abrasión: 20%
- Texturizado: 20%

**Tabla 2. Matriz de decisión de materiales del molde.**

<b>Factores</b>	<b>AISI P20</b>	<b>Acero H13</b>	<b>Aluminio</b>
Baja densidad	0,2	0,2	0,4
Dilatación ter.	0,1	0,1	0,2
Resistencia abra.	0,2	0,2	0,1
Texturizado	0,1	0,1	0,2
Total	0,6	0,6	0,9

Fuente: Propia, 2016.

### **2.3. Parámetros del horno.**

Se debe considerar cuales serían los parámetros del proceso para la producción de productos plásticos; para el caso del proceso de Rotomoldeo, los parámetros del proceso los da la cámara de calor y de refrigeración, los cuales se desarrollan a continuación:

#### **2.3.1 Calefacción.**

Para el sistema de calefacción se debe considerar cual es la cantidad de calor que debe emplear la cámara de calor para elevar la temperatura del polímero hasta su plastificación. Si la cámara de calor, trabaja con aire caliente y existe movimiento del molde dentro de la cámara, se debe considerar que la transferencia de calor se dará por convección forzada. Las temperaturas utilizadas servirán para determinar la curvatura y las expansiones del molde y el polímero.

Para el cálculo de la transferencia de calor hacia adentro del molde está determinado por la siguiente ecuación:

$$\rho C_p t \frac{dT}{d\theta} = h(T_{\text{aire}} - T)$$

Dónde:

$\rho$  = densidad del material del molde.

$C_p$  = calor específico del metal.

$t$  = espesor del molde.

$h$  = coeficiente de convección del aire.

$T_{\text{aire}}$  = temperatura del aire.

$T$  = temperatura del molde en ese momento.

### **2.3.2 Enfriamiento.**

Para el sistema de enfriamiento se debe considerar cual es la cantidad de calor que debe remover la cámara de enfriamiento para asegurar que el material plastificado este sólido. Se utiliza el mismo criterio de convección forzada para la cámara de enfriamiento. A parte de considerar que saliendo de la cámara de enfriamiento sigue enfriándose el producto plástico a temperatura ambiente. Las temperaturas utilizadas servirán para determinar las compresiones del producto una vez solidificado dentro y fuera del molde.

## 2.4. Curvados y desfogaderos.

Se debe tener en cuenta que existen varios factores que pueden afectar al proceso de la manufactura del polímero, por lo que, se debe tener en consideración estos efectos en el diseño del molde para que no afecte al producto plástico.

### 2.4.1. Curvados.

Producto del calor empleado en el proceso, produce efectos de contracciones o curvados dependiendo si se calienta o se enfría, para los cual se debe considerar estos factores para un correcto dimensionamiento de las cavidades de los moldes.

El factor de curvado debe ser considerado para el dimensionamiento del molde, para lo cual, debido a la complejidad de la geometría, este factor debe ser utilizado como factor de escala para todas las partes del molde, el cual está dado por la siguiente ecuación:

$$C = \left(1 - \frac{L_{\text{pieza}}}{L_{\text{cavidad}}}\right) * 100\%$$

Dónde:

C= factor de contracción (%) = 3.5

$L_{\text{pieza}}$  = longitud de la pieza (mm) = 1000

$L_{\text{cavidad}}$  = Longitud del molde (mm).

Resolviendo para el caso de estudio:

$$L_{\text{cavidad}} = \frac{L_{\text{pieza}}}{1 - C/100} = \frac{1000}{1 - 3.5/100} = \mathbf{1035\text{mm}}$$

**Tabla 3. Valores de contracción de materiales plásticos.**

Contracciones		
Material	Rango (%)	Recomendado
LDPE	1,6 - 3,0	3,0
HDPE	3,0 - 3,5	3,5
PP	1,5 - 2,2	2,2
PVC	0,8 - 2,5	1,5

**Fuente:** "Analysis of Heating Efficiency in Rotational Moulding". Wright, Spence and Crawford.

#### 2.4.2. Desfogaderos.

Se debe tener en cuenta que al momento de realizar el proceso de Rotomoldeo, existe aire dentro del molde, el cual al momento de agregar calor producirá un incremento en la presión interna del molde. Por lo tanto, se debe construir desfogaderos alrededor del molde con la finalidad de que el aire salga del interior del molde y mantener una presión interna igual a la atmosférica.

Se puede suponer que el flujo de aire que pasará a través de cada orificio será igual al flujo de aire total dividido por el número de orificios de desfogaderos.

Suponiendo un tiempo de calentamiento  $t$ , y cuyo volumen de aire es la capacidad volumétrica de la pieza plástica, se tiene el flujo volumétrico:

$$Q_{\text{aire}} = \frac{V_{\text{aire}}}{t}$$

Resolviendo:

$$Q_{\text{aire}} = \frac{V_{\text{aire}}}{t} = \frac{1 \text{ m}^3}{30 \text{ min}} = \mathbf{0.033 \text{ m}^3/\text{min}}$$

Calculado el flujo volumétrico, se procede a seleccionar el número de desfogaderos a utilizar en el molde y dividir para el flujo total de aire caliente hasta equilibrar las presiones:

$$Q_{\text{aire}/\text{desf}} = \frac{Q_{\text{aire}}}{N_{\text{desf}}} = \frac{0.033}{5} = \mathbf{0.0066 \text{ m}^3/\text{min}}$$

Si se diseña agujeros de un diámetro de 2 mm, la velocidad lineal de salida del aire caliente sería el siguiente:

$$A_{\text{desf}} = \frac{\pi D_{\text{desf}}^2}{4} = \frac{\pi * (2 * 10^{-3})^2}{4} = \mathbf{3.14 * 10^{-6} \text{ m}^2}$$

$$V_{\text{aire}/\text{desf}} = \frac{Q_{\text{aire}/\text{desf}}}{A_{\text{desf}}} = \frac{0.0066}{3.14 * 10^{-6}} = 2100.84 \text{ m}/\text{min} = \mathbf{35 \text{ m}/\text{seg}}$$

Por lo tanto, se debe tener en cuenta que, cada orificio de salida de aire caliente tiene un diámetro de 2 mm que deben ser colocados en lugares que no corran el riesgo de llenarse con polímero en el proceso de Rotomoldeo y así puedan evacuar el aire en su totalidad. Considerando que la velocidad de salida del aire es relativamente bajo y no afectaría al proceso.

Considerar que la temperatura de plastificación con la que se trabaja para el polietileno es de 170 grados centígrados, por lo que el horno debe llegar a esa temperatura y mantenerse por un tiempo aproximado de 30 minutos, mientras se mueve hasta que los espesores sean uniforme en todo el molde.

# CAPITULO 3

## 3. RESULTADOS

### 3.1. Selección del material del molde.

Para la elaboración del molde base se seleccionó el aluminio, con un texturizado de la cavidad tipo arena, es decir con un electroerosionado de la cavidad con una profundidad de 50  $\mu\text{m}$ .

### 3.2. Modelado del molde.

Para la realización del diseño inicial del molde de Rotomoldeo, se debe considerar un molde base fundido, cuyo mecanizado y texturizado interior dependerá de los factores de contracción para incrementar la geometría con la finalidad de no alterar las medidas del producto final (tanque de almacenamiento de agua), el respectivo modelado se encuentra en los planos adjuntos en anexos.

### 3.3. Análisis de costos de manufactura del molde.

Para realizar el análisis de costos de la construcción del molde, se debe considerar todos los costos involucrados en la obtención del molde de Rotomoldeo, desde la fundición del molde base hasta el texturizado de la cavidad, teniendo como resultado la siguiente ecuación:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{base}} + C_{\text{mec}} + C_{\text{text}}$$

Donde:

$C_{\text{total}}$  = costo total del molde.

$C_{\text{base}}$  = costo del molde base (fundición).

$C_{\text{mec}}$  = costo del mecanizado de la cavidad.

$C_{\text{text}}$  = costo del texturizado o rectificado de la cavidad.

Resolviendo:

$$C_{\text{total}} = C_{\text{base}} + C_{\text{mec}} + C_{\text{text}} = 3160 + 785.4 + 1050 = \mathbf{\$4995.4}$$

### 3.3.1. Análisis de costo del molde base.

Se debe considerar que para la obtención del molde, se debe tener un bloque de material fundido para realizar el respectivo proceso de mecanizado, para lo cual, para determinar su costo se debe utilizar la siguiente ecuación:

$$C_{\text{base}} = m_{\text{mold}} * C_{\text{masa}}$$

Donde:

$m_{\text{mold}}$  = masa del molde (Kg).

$C_{\text{masa}}$  = costo de fundición por unidad de masa ( $\$/\text{Kg}$ ) = 4

Resolviendo:

$$m_{\text{mold}} = 2700 \text{ Kg}/\text{m}^3 * \left[ \frac{\pi}{4} * (1.1^2 * 1.3 - 1^2 * 1.2) \right] \text{m}^3 = \mathbf{790 \text{ Kg}}$$

$$C_{\text{base}} = m_{\text{mold}} * C_{\text{masa}} = 790 * 4 = \mathbf{\$3160}$$

### 3.3.2. Análisis de costo de mecanizado.

Se procede a realizar el análisis de costos de mecanizado, identificando el tipo de proceso a utilizarse (torno, fresa, taladro, etc.) y su respectivo costo para cada parte del molde, aplicando la siguiente ecuación:

$$C_{\text{mec}} = t_{\text{mec}} * R_{\text{mec}}$$

Donde:

$t_{\text{mec}}$  = tiempo de mecanizado (h).

$R_{\text{mec}}$  = tasa de remoción de material ( $\$/h$ ) = 25.

Resolviendo:

$$t_{\text{mec}} = \frac{V_{\text{remover}}}{R_{\text{volumétrica}}} = \frac{[(1.1 - 1) * (\pi * 1) * (1.3 - 1.2)]\text{m}^3}{0.001 \text{ m}^3/\text{h}} = \mathbf{31.41 \text{ h}}$$

$$C_{\text{mec}} = t_{\text{mec}} * R_{\text{mec}} = 31.41 * 25 = \mathbf{\$785.4}$$

### 3.3.3. Análisis de costo de texturizado.

Se procede a determinar el tipo de rectificado y texturizado que se debe aplicar al molde, dependiendo de las condiciones establecidas por el diseñador, se realiza un proceso de electroerosión. Se determina los costos aplicando la siguiente ecuación:

$$C_{\text{text}} = t_{\text{tex}} * R_{\text{tex}}$$

Donde:

$t_{\text{tex}}$  = tiempo de texturizado (electroerosionado) (h).

$R_{\text{tex}}$  = tasa de remoción de material por electroerosión ( $\$/h$ ) = 50.

$A_{\text{remover}}$  = área de remoción de material ( $m^2$ ).

$e_{\text{remover}}$  = espesor de remoción (m) =  $50\mu m$ .

Resolviendo:

$$t_{\text{mec}} = \frac{V_{\text{remover}}}{R_{\text{volumétrica}}} = \frac{A_{\text{remover}} * e_{\text{remover}}}{R_{\text{volumétrica}}}$$

$$t_{\text{mec}} = \frac{A_{\text{remover}} * e_{\text{remover}}}{R_{\text{volumétrica}}} = \frac{(\pi * 1 * 1.2) * (50 * 10^{-6})}{0.000009 m^3/h} = \mathbf{21 h}$$

$$C_{\text{text}} = t_{\text{tex}} * R_{\text{tex}} = 21 * 50 = \mathbf{\$1050}$$

### 3.4. Prototipo y ensayo.

Establecido todos los parámetros de diseño y realizado el modelado respectivo del molde, se debe realizar un prototipo del molde con la finalidad de poder realizar las pruebas correspondientes, y conocer si el diseño obtenido cumple con los estándares establecidos y pueda ser producido y utilizado en el proceso de manufactura del producto plástico. La figura 3.1 muestra un molde construido con la finalidad de realizar los ensayos de producción y conocer si existe algún error de diseño que deba ser modificado.



**Figura 3.1** Diseño un prototipo de molde para tanque de 1000 L.

**Fuente:** Yantai Fangda rotational moulding Co. Ltda.

#### **3.4.1. Norma de calidad para el tanque de HDPE.**

Se deben utilizar normas de calidad con la finalidad de tener estándares de control de calidad que el producto plástico debe cumplir, para la elaboración de tanques de HDPE se tiene varias normas nacionales e internaciones entre ellas se puede nombra la norma **ISO/TR 10358:1993, ASTM D638, ISO 527 DIN 53455.**

Tomar en consideración que las normas de calidad y sus ensayos respectivos, deben ser realizados tanto para materia prima como para producto terminado, para de esta forma poder conocer el origen de cualquier falla que pueda ocurrir antes, durante y después del proceso. Para que el tanque pueda cumplir con la normativa correspondiente de calidad, debe cumplir con algunos requisitos, tales como:

**Aspectos Visuales:** se debe inspeccionar el tanque de manera visual para asegurar que la superficie esté lisa, sin rebabas, burbujas, Opacidad, etc. para evitar contaminación del agua y facilitar la limpieza.

**Marcado o Rotulado:** se debe presentar en el tanque el Volumen o Capacidad Nominal, Fecha de Fabricación y Marca o Fabricante.

**Dimensiones:** Se deben verificar las tolerancias para diámetros y espesores.

**Peso y volumen:** Realizar la medición correspondiente, especificando el rango de tolerancia admisible.

**Resistencia a Deformaciones bajo acción del agua:** realizar prueba de presión para medir la cantidad de deformación.

**Resistencia al Impacto:** se realiza la prueba de caída libre para verificar la resistencia al impacto a través de la medición de deformación.

**Toxicidad:** verificar que la materia prima no es toxica en contacto con el agua.

**Evaluación de Aceptación y/o Rechazo:** verificar mediante los ensayos anteriores la durabilidad, del producto.

**Espesor:** Son variables, existen espumado y no espumados. En los no espumados se tienen valores promedio entre 3.3 y 4.1 mm, en el resto entre 5.0 y 6.6 mm.

# CAPITULO 4

## 4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

### 4.1. Conclusiones.

Se pudo establecer una metodología para el diseño de un molde para Rotomoldeo de plásticos, considerando el tipo de polímero que se utilizará en el proceso, con la finalidad de que este proceso se utilice en las industrias del país y se pueda construir en mayor escala en la industria nacional.

Para el caso de estudio, se desarrolló el diseño de un molde para un tanque de HDPE para almacenamiento de 1000 L. de agua, cuyo material del molde base se seleccionó el aluminio a través de la utilización de una matriz de decisión.

Se decidió colocar 5 desfogaderos de gases calientes, con la finalidad de poder evacuar el aire caliente que se encuentra dentro del molde, producto del calor añadido en el proceso.

Conociendo el factor de contracción del HDPE, se pudo determinar cuál es el factor de escala que se debe aplicar al diseño de la cavidad para que no afecte a la geometría del producto (tanque).

Se pudo establecer un análisis de costos para la construcción del molde, lo cual dio como resultado un costo de \$4495.4, considerando costos de fundición del molde base, mecanizado y texturizado.

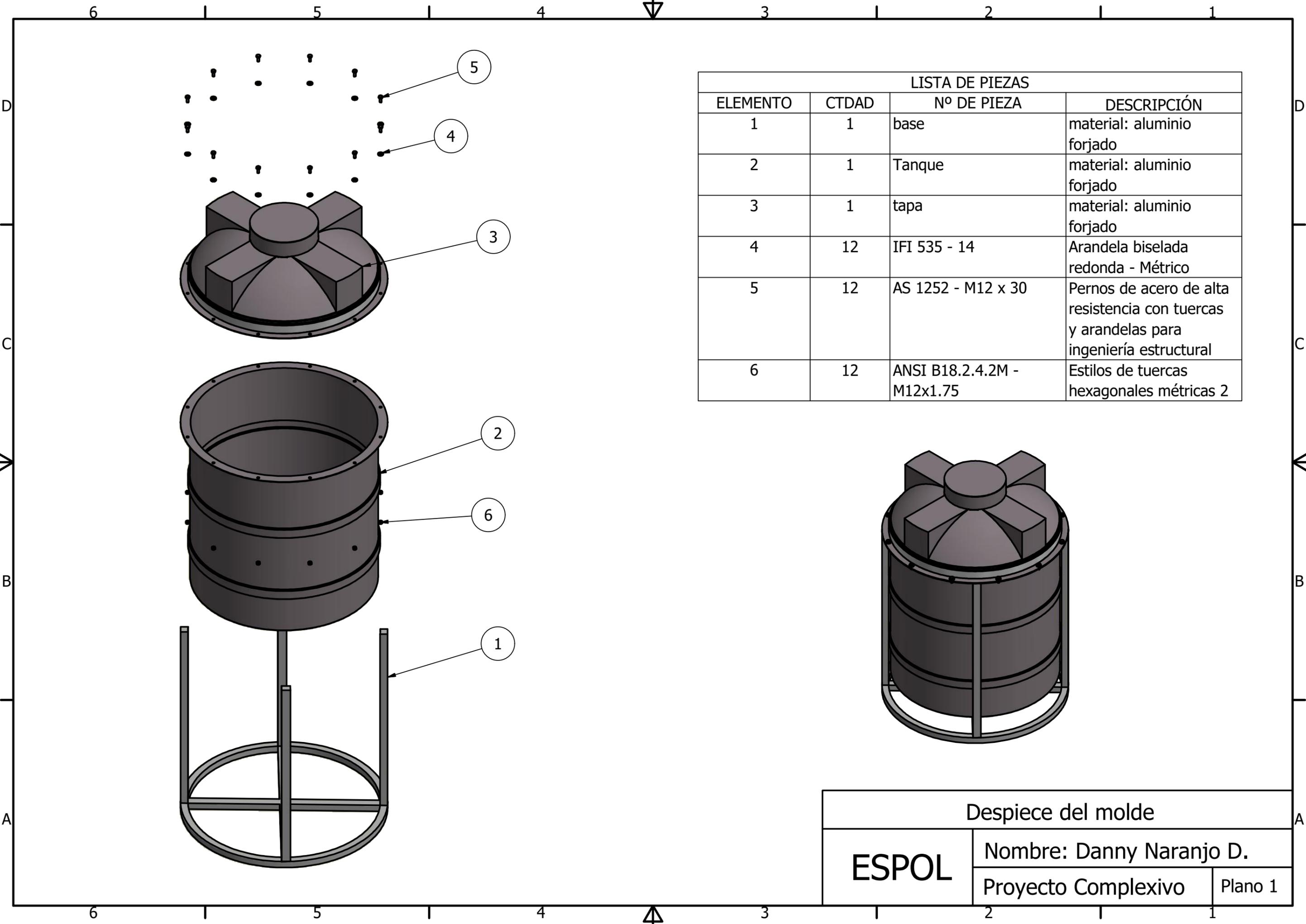
## **4.2. Recomendaciones.**

1. Colocar la cantidad necesaria de desfogaderos y en lugares donde no se vean obstaculizados por el polímero, con la finalidad de que puedan evacuar en su totalidad el aire caliente contenido en el molde.
2. Considerar los factores de contracción para cada polímero, con la finalidad de realizar un diseño idóneo y producir piezas plásticas que cumplan con los estándares de calidad establecidos.
3. Tener en cuenta los tiempos de calentamiento y enfriamiento del proceso, con la finalidad de tener controlado los factores que puedan afectar a la calidad del producto terminado.
4. Verificar los factores de contracción para un correcto diseño del molde, para que el producto pueda tener la geometría deseada.
5. Verificar que la maquina rotomoldeadora y las cámaras de calefacción y enfriamiento tengan los rangos de temperatura adecuados.
6. Verificar la formulación de la materia prima para determinar las temperaturas de plastificación y solidificación, debido a que cada proveedor maneja su propia formulación y los rangos de temperatura no son los mismos en todos los casos.
7. Realizar con precaución la descarga del producto sólido, debido a que puede sufrir alguna deformación.

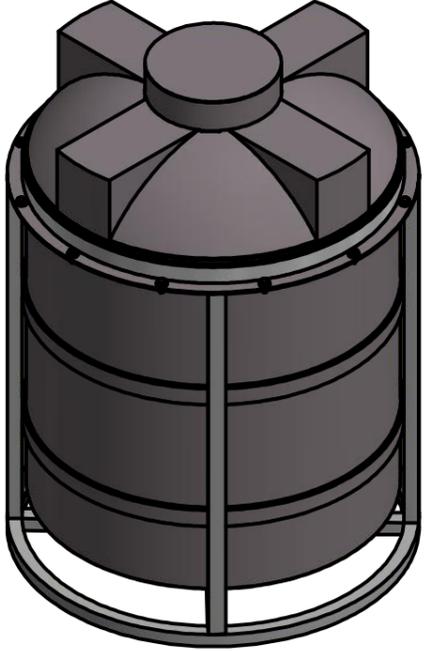
## BIBLIOGRAFÍA

1. BELTRAN M. Y MARCILLA A (2012). "Tecnología de polímeros". Universidad de Alicante – ESPAÑA. Edición 2012.
2. ENTERPRISE RESOURCE PLANNING SUTAINABLE REAL PROJECTS (ERPPRS) 2013. "Moldes para rotomoldeo de tanques". MEXICO. ©2013 ERPPRS. Recuperado de: [http://erpprs.com.mx/jdm/Proyecto\\_TinySlides11.html](http://erpprs.com.mx/jdm/Proyecto_TinySlides11.html)
3. INTERNATIONAL ORGANIZATION FOR STANDARDIZATION. (2013). "ISO/TR 10358:1993 (Plastics pipes and fittings)". Turquía.
4. Tim Osswald, Enrique Giménez. (2008). "Procesado de Polímeros Fundamentos". Editorial Graduales – Cúcuta.
5. Mc. Crum, Buckley and Bucknall (1997). "Principle of Polymer Engineering", Oxford University – EEUU. Oxford University press Inc. New York.
6. Wright, Spence and Crawford. "Analysis of Heating Efficiency in Rotational Moulding". The Queen's University, Belfast.
7. MIKELL GROOVER (2007). "Fundamentos de manufactura moderna". Sección 3. Mc GRAW-HILL. Tercera edición.
8. DAVID KAZMER (2007). "Injection Mold Design Engineering", Hanser Gardner Publications.

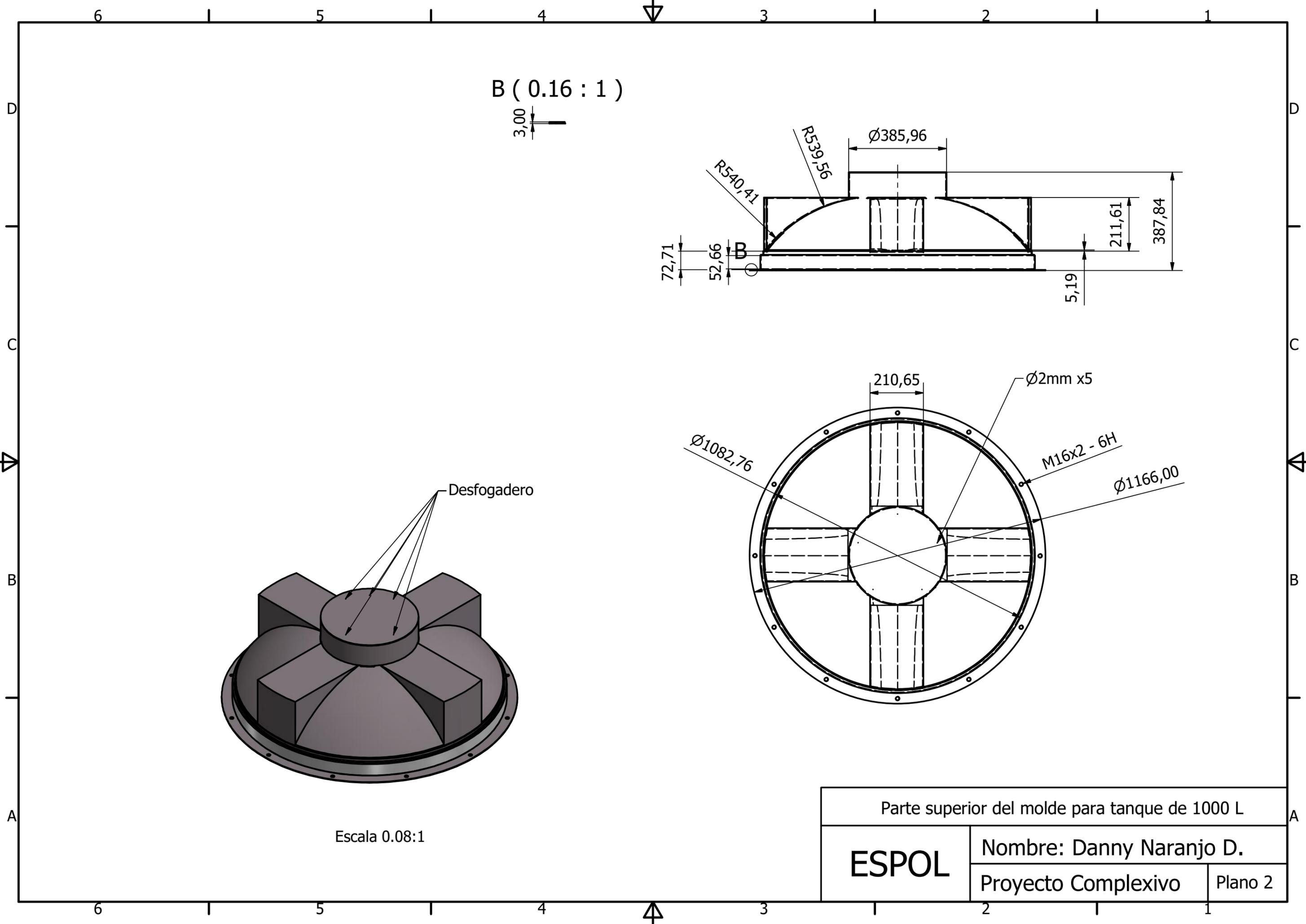
**ANEXOS**



LISTA DE PIEZAS			
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA	DESCRIPCIÓN
1	1	base	material: aluminio forjado
2	1	Tanque	material: aluminio forjado
3	1	tapa	material: aluminio forjado
4	12	IFI 535 - 14	Arandela biselada redonda - Métrico
5	12	AS 1252 - M12 x 30	Pernos de acero de alta resistencia con tuercas y arandelas para ingeniería estructural
6	12	ANSI B18.2.4.2M - M12x1.75	Estilos de tuercas hexagonales métricas 2



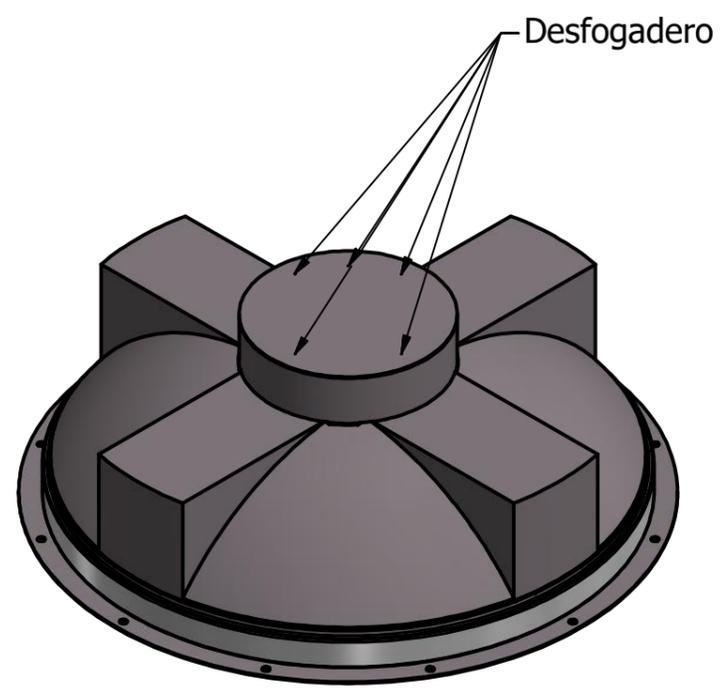
Despiece del molde		
<b>ESPOL</b>	Nombre: Danny Naranjo D.	
	Proyecto Complexivo	Plano 1



B ( 0.16 : 1 )

3,00

72,71  
52,66  
B  
R540,41  
R539,56  
Ø385,96  
211,61  
387,84  
5,19

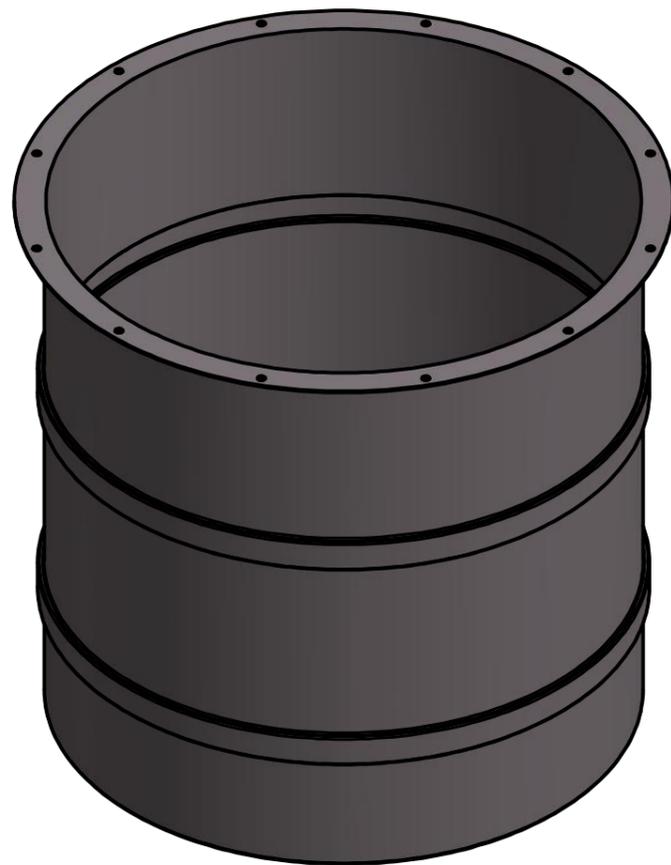


Desfogadero

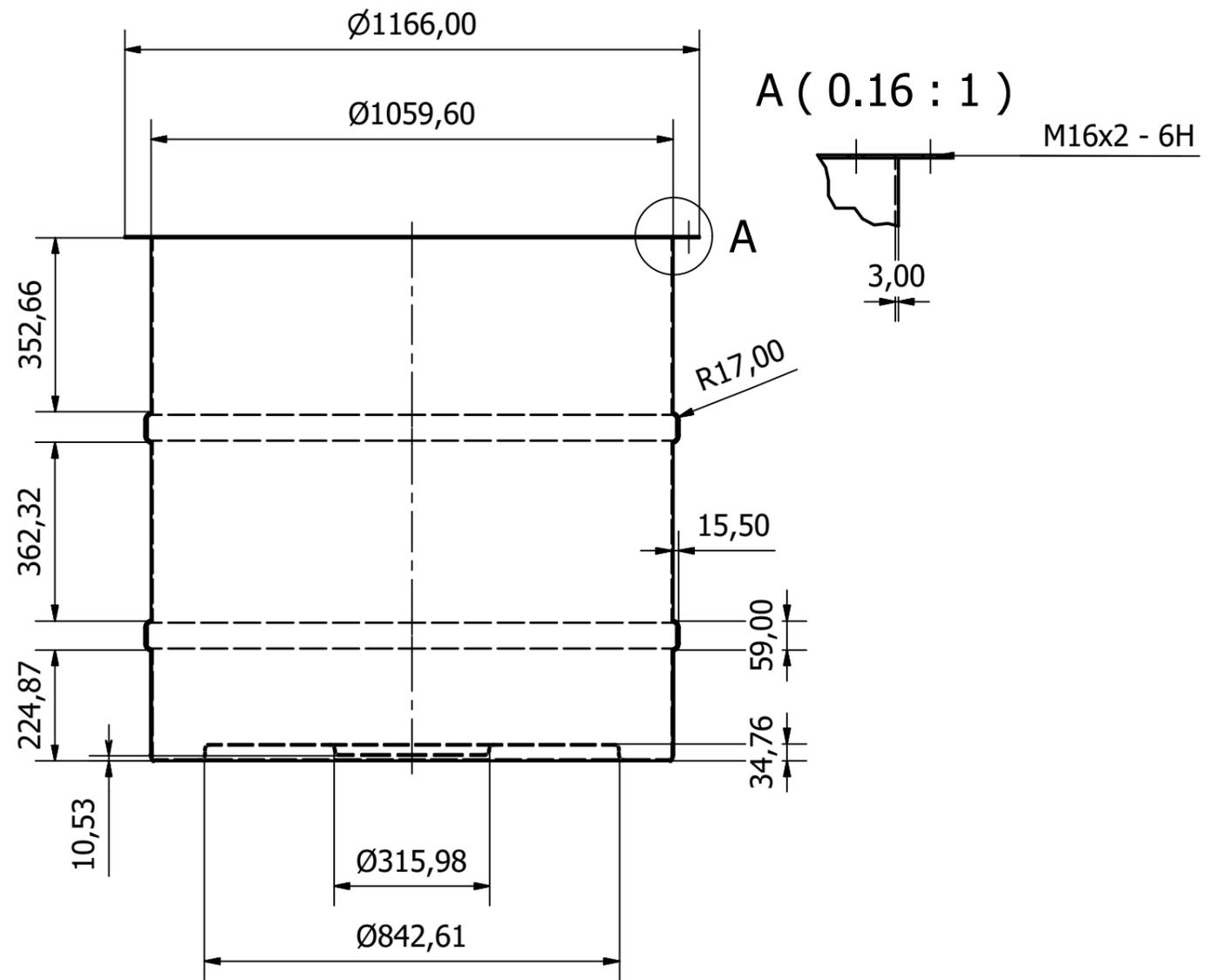
Escala 0.08:1

210,65  
Ø2mm x5  
M16x2 - 6H  
Ø1082,76  
Ø1166,00

Parte superior del molde para tanque de 1000 L		
<b>ESPOL</b>	Nombre: Danny Naranjo D.	
	Proyecto Complexivo	Plano 2



Escala 0.08:1



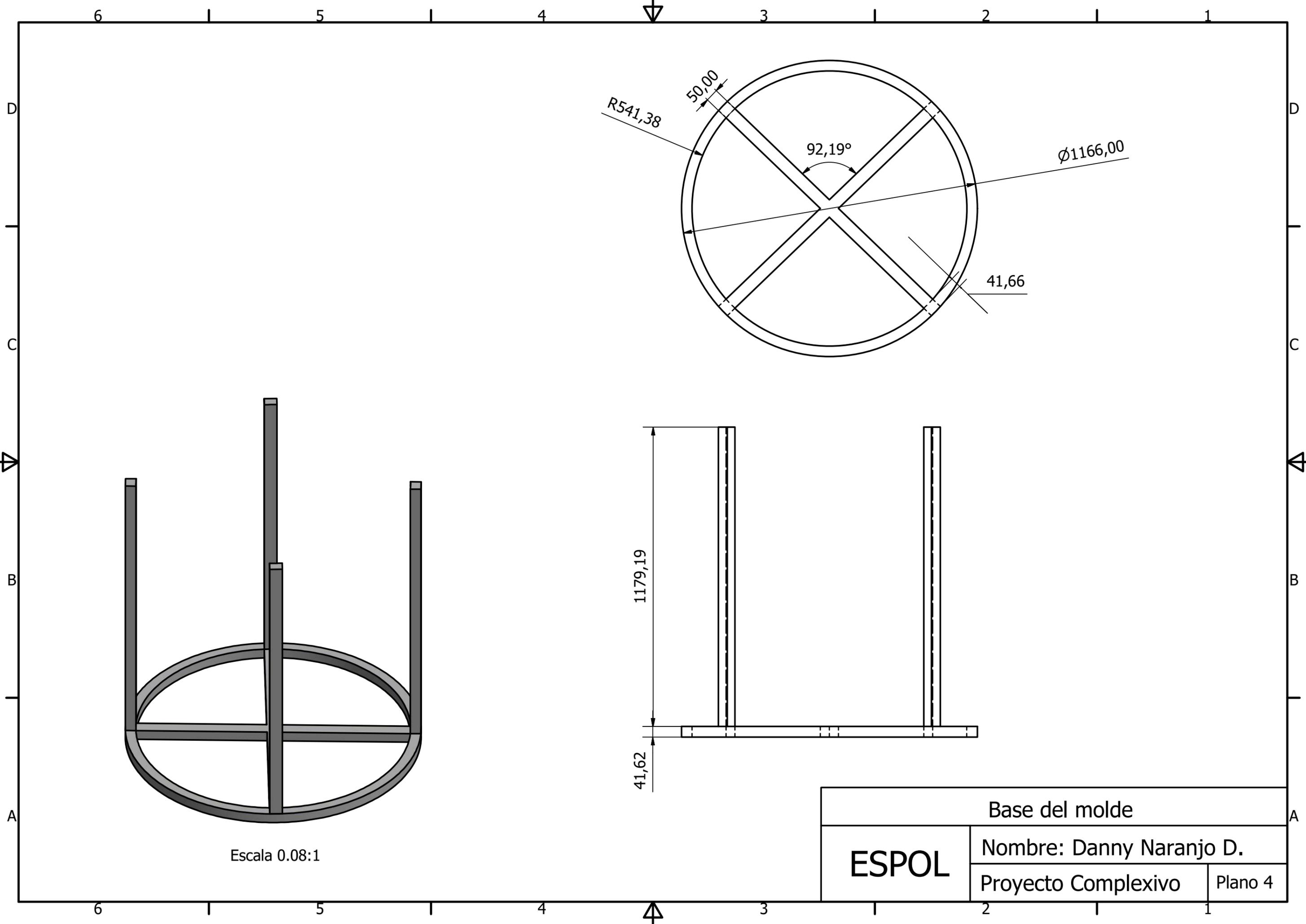
Parte inferior del molde para tanque de 1000 L

**ESPOL**

Nombre: Danny Naranjo D.

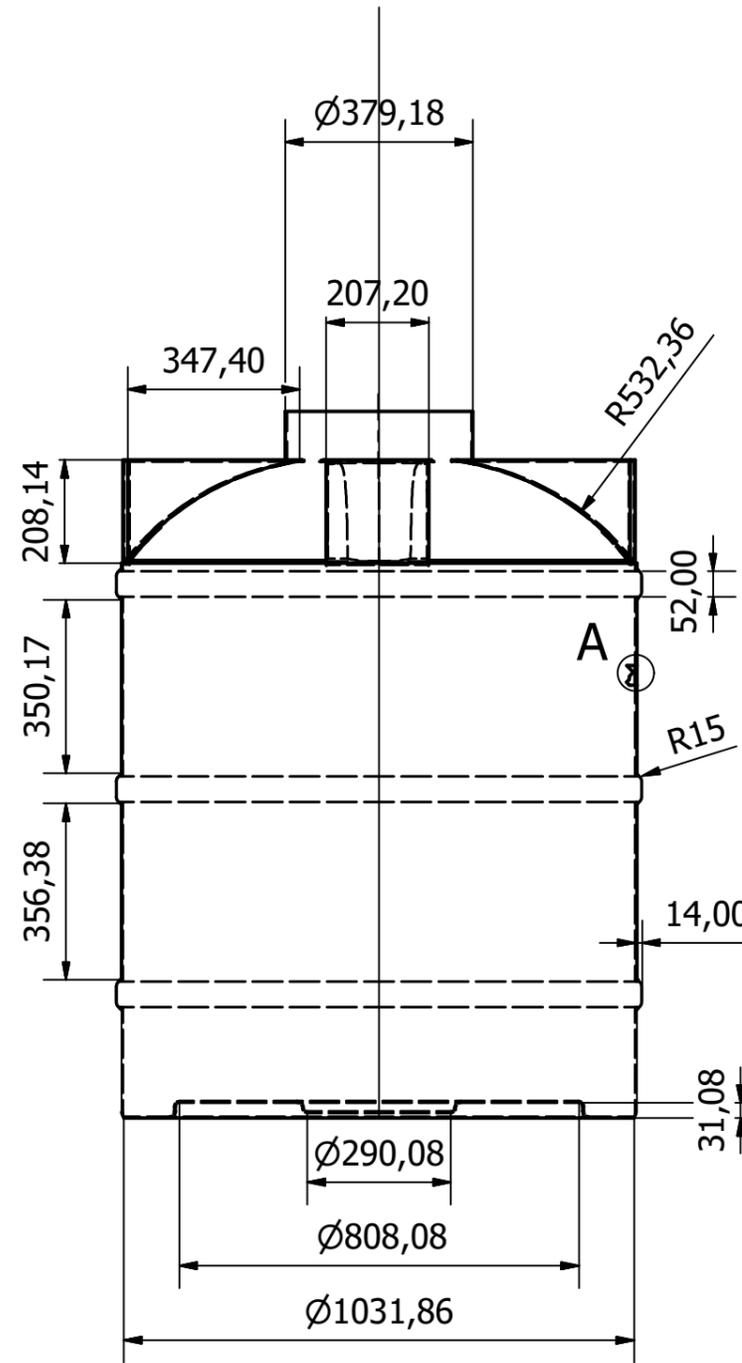
Proyecto Complexivo

Plano 3

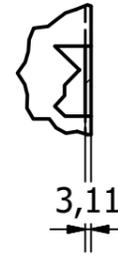


Escala 0.08:1

Base del molde		
<b>ESPOL</b>	Nombre: Danny Naranjo D.	
	Proyecto Complexivo	Plano 4



A ( 0.25 : 1 )



Tanque de almacenamiento de agua de 1000 L. HDPE		
<b>ESPOL</b>	Nombre: Danny Naranjo D.	
	Proyecto Complexivo	Plano 5