

ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL

**Facultad de Ingeniería en Mecánica y Ciencias de la
Producción**

“Diseño de un molde para extrusión de piezas plásticas, el cual consiste en un dado y sistema de enfriamiento (calibrador y tina), para caso de estudio de una canaleta”

TRABAJO FINAL DE GRADUACIÓN

Materia Integradora

Previo la obtención del Título de:

INGENIERO MECÁNICO

Presentado por:

José Luis Vargas Jurado

GUAYAQUIL – ECUADOR

Año: 2016

AGRADECIMIENTO

Agradezco primero a Dios por nunca abandonarme y darme personas muy importantes como mi madre Sra. Grace Jurado, mi hermana Ing. Karen Vargas Jurado. Ing. Jaime Vera, Ing. Alberto Barreiro por enseñarme los conocimientos básicos para poder ser politécnico y cada segundo de enseñanza de parte de esta Institución en la que pasé la gran parte de mi tiempo, por cada error corregido, por cada impulso para ser cada día mejor, responsable, atento, forjando en mí lo mejor de un ser humano: su calidad intelectual y como persona.

De manera especial a mis tutores Jorge Amaya Ph.D., Andrés Rigail Ph.D.; quienes con su guía, paciencia y dedicación a la enseñanza, me inculcaron los conocimientos necesarios, logrando una materia integradora de calidad;

Al Ing. Francisco Sarango por compartir sus conocimientos y darme ánimos para realizar el mejor trabajo;

Al laboratorio CAMPRO (Campo Avanzado de Mecanización y Prototipo) en especial al Ing. Manuel Helguero, por su estímulo y esfuerzo para crear líderes en el área técnica, a través del laboratorio que dirigió, por sus consejos oportunos y ambientes amenos y familiar que se vivió bajo su dirección;

A los Ing. Fausto Maldonado, Emilio Ramírez y Kevin Mirallas, compañeros y amigos de laboratorio, por todo el apoyo como un solo equipo.

DECLARACIÓN EXPRESA

"La responsabilidad del contenido desarrollado en la presente propuesta de la materia integradora corresponde exclusivamente al equipo conformado por:
José Luis Vargas Jurado.

Jorge Amaya R., Ph.D.

Andrés Rigal C., Ph.D.

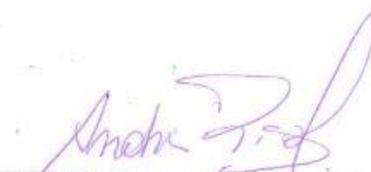
Y el patrimonio intelectual del mismo a la Facultad de Ingeniería Mecánica y Ciencias de la Producción (FIMCP) de la ESCUELA SUPERIOR POLITÉCNICA DEL LITORAL".



Jorge Amaya R., Ph.D.



José Vargas J.



Andrés Rigal C., Ph.D.

RESUMEN

La industria plástica crece de manera considerable debido a la innovación de sus productos ya sea por cualquiera de sus procesos más conocidos, este crecimiento crea que, las maquinas necesiten un mantenimiento o sus piezas sufran desgaste debido a las horas de trabajo que se empleen.

La industria plástica no posee empresas dedicadas a la elaboración de piezas y elementos en el país, este proyecto se basa en el diseño de un molde de extrusión (dado, calibrador y tina de enfriamiento) para promover la fabricación de piezas y así se reduzca la importación, teniendo costos razonables y entregas en lapsos de tiempos cortos.

Para el diseño de moldes la función principal es saber qué tipo de pieza se desea extruir con las dimensiones transversales se procede a encontrar el GAP y de ahí se procede al diseño posterior de los distintos elementos que formaran el dado de extrusión, estos elementos se hacen con el acero AISI P20, del mismo material se fabrica el calibrador el cual da la forma exacta y sirve como sistema de enfriamiento en su interior que posee ductos donde pasa el refrigerante (agua) de ahí se implementa una tina de enfriamiento donde se reduce la temperatura al máximo.

Con ecuaciones básicas de ingeniería se pudo diseñar y saber que en el país se puede llegar a cabo a la fabricación de estos elementos ya que conlleva a la disminución de importaciones y hacen que las empresas produzcan piezas y así generen plazas de trabajo y reduciendo los costos de estos productos que se lancen al mercado.

Palabras Clave: Molde, extrusión, innovación, importación, gap,

ABSTRACT

The plastic industry grows considerably due to the innovation of its products either by any of its known processes, this growth creates that machines need maintenance or parts suffer wear due to working hours employed.

The plastics industry has no companies engaged in the manufacture of parts and elements in the country, this project is based on the design of an extrusion die (die, calibrator and tub cooling) to promote the manufacture of parts and thus reduce the import deliveries with reasonable costs and in short time spans.

For mold design the main function is to know what type of part you want to extrude with the transverse dimensions proceed to find the GAP and then proceeds to the subsequent design of the various elements to form the extrusion die, these elements are made with steel AISI P20, the same material gauge which gives the exact shape and serves as cooling system inside that has ducts which passes the coolant (water) there a tub of cooling where it is reduced is implemented is made the maximum temperature.

With basic equations of engineering it was able to design and know that the country can reach out to the manufacture of these elements and leading to decreasing imports and cause companies to produce parts and so generate work places and reducing costs of these products come to market.

Keywords: *mold, extrusion, innovation, import, gap,*

ÍNDICE GENERAL

	Pág.
RESUMEN.....	ii
ÍNDICE GENERAL.....	iv
ABREVIATURAS.....	vii
SIMBOLOGÍA.....	viii
ÍNDICE DE FIGURAS.....	ix
ÍNDICE DE TABLAS.....	x
ÍNDICE DE PLANOS.....	xi

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema.....	1
1.2. Objetivos.....	2
1.2.1 Objetivo general.....	2
1.2.2 Objetivos específicos.....	2
1.3 Marco teórico.....	2
1.3.1 Extrusora de plastificación.....	2
1.3.2 Descripción del moldeo por extrusión.....	3
1.3.3 Funcionamiento del molde de extrusión.....	7
1.3.4 Sistema de alimentación del flujo de material en el molde.....	7
1.4 Conclusión.....	8

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGIA DEL DISEÑO

2.1 Procedimiento esquemático del proceso de diseño.....	9
2.2. Selección de la pieza.....	9
2.2.1 Caso de estudio.....	10
2.2.2 Cálculos de validación del perfil (canaleta).....	10
2.3. Selección de polímeros.....	12
2.4. Selección del material del dado.....	13

2.5	Diseño de los elementos del dado.....	14
2.5.1	Boquilla.....	14
2.5.2	Plato rompedor.....	16
2.5.3	Hembra de entrada.....	17
2.5.4	Cono.....	18
2.5.5	Araña.....	19
2.5.6	Macho.....	21
2.5.7	Hembra intermedia.....	22
2.5.8	Hembra de salida.....	23
2.5.9	Brida.....	23
2.5.10	Perno allen.....	24
2.6	Diseño de calentadores.....	29
2.7	Diseño de elementos del calibrador (sistema de enfriamiento).....	32
2.8	Diseño de elementos de tina (sistema de enfriamiento).....	38

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1	Selección de la pieza a extruir.....	41
3.1.1	Norma de canaleta.....	41
3.2	Selección del polímero.....	41
3.3	Selección del material del dado.....	41
3.4	Selección del sistema de enfriamiento.....	42
3.4.1	Calibrador.....	42
3.4.2	Tina de enfriamiento.....	42
3.5	Costos de los elementos del dado.....	43
3.5.1	Costos de boquilla.....	43
3.5.2	Costos de plato rompedor.....	44
3.5.3	Costos de hembra de entrada.....	45
3.5.4	Costos de cono.....	47
3.5.5	Costos de araña.....	48
3.5.6	costos de macho.....	50
3.5.7	Costos de hembra intermedia.....	51

3.5.8 Costos de hembra de salida.....	52
3.5.9 Costos de brida.....	54
3.5.10 Costos de pernos allen en el dado.....	54
3.5.11 Costo total del dado.....	55
3.6 Costos de calentadores.....	56
3.7 Costos de elementos del calibrador.....	56
3.7.1 Costos de placa central.....	56
3.7.2 Costos de placa exterior.....	57
3.7.3 Costo de elementos pequeños.....	58
3.7.4 Costo total del calibrador.....	60
3.8 Costos de elementos de tina de enfriamiento.....	60
3.8.1 Costo total de la tina de enfriamiento.....	61

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIONES Y CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones.....	62
4.2 Recomendaciones.....	63

BIBLIOGRAFÍA

APÉNDICES

PLANOS ESQUEMÁTICOS

ABREVIATURAS

ESPOL	Escuela Superior Politécnica del Litoral
AISI	American Iron and Steel Institute (Instituto Americano de hierro y acero)
PS	Poliestireno
HDPE	High Density Polyethylene (Polietileno de alta densidad)
NTE	Normas Técnica Ecuatoriana
INEN	Instituto Ecuatoriano de Normalización
ISO	International Organization for Standardization
HRC	Dureza Rockwell C
PSI	Pounds per Square Inch (Libra por pulgada cuadrada)

SIMBOLOGÍA

ρ	Densidad
m	metro
Kg	Kilogramo
v	Volumen
m^3	Metro cubico
D	Diámetro
L	Longitud
F	Fuerza
N	Newton
A	Área
m^2	Metro cuadrado
PS	Poliestireno
HDPE	Polietileno de alta densidad
%	Porcentaje
X	Inclinación de conicidad
τ	Esfuerzo cortante
η	Viscosidad
$\dot{\gamma}$	Velocidad de cizallamiento
KPa	Kilo pascal
P	Presión
n	Factor de seguridad
mm	milímetro
cm^2	Centímetro cuadrado
q_r	Calor radial por conducción
q_c	Calor por convección
k	Coeficiente de conductividad térmica
T	Temperatura
$^{\circ}C$	Grados centígrados
h	Coeficiente de transferencia de calor por convección
C_p	Calor específico
α	Coeficiente de difusividad térmica
t	tiempo
s	segundo
μ	Viscosidad
\bar{v}	Velocidad del polímero
Re	Número de Reynolds
W	Vatios
ΔP	Caída de presión
N	Número de pernos
\dot{m}	Flujo másico

ÍNDICE DE FIGURAS

		Pág.
Figura 1.1	Extrusora monohusillo de plastificación.....	2
Figura 1.2	Corte longitudinal de monohusillo en zona de transición.....	4
Figura 1.3	Sección transversal de cabezal con distribuidor tipo de pez.....	5
Figura 1.4	Sección transversal de cabezal helicoidal.....	6
Figura 1.5	Esquema del proyecto.....	7
Figura 2.1	Procedimiento esquemático del proceso de diseño.....	9
Figura 2.2	Canaleta eléctrica.....	10
Figura 2.3	Áreas transversales y aplicación del perfil en 3D.....	10
Figura 2.4	Áreas transversales y aplicación del perfil en 3D.....	12
Figura 2.5	Boquilla que da forma a pieza final.....	15
Figura 2.6	Dimensiones del GAP.....	15
Figura 2.7	Plato rompedor.....	16
Figura 2.8	Ejemplo de ecuación de conicidad.....	17
Figura 2.9	Hembra de entrada.....	17
Figura 2.10	Cono.....	18
Figura 2.11	Araña.....	19
Figura 2.12	Diseño de patas de araña.....	20
Figura 2.13	Macho.....	21
Figura 2.14	Conjunto macho, araña y cono.....	22
Figura 2.15	Hembra intermedia.....	22
Figura 2.16	Hembra de salida.....	23
Figura 2.17	Hembra de salida.....	23
Figura 2.18	Pernos Allen.....	24
Figura 2.19	Junta empernada sometida a tensión.....	27
Figura 2.20	Calentador de resistencia circular.....	29
Figura 2.21	Esquema de transferencia de calor por conducción.....	30
Figura 2.22	Calibrador de perfiles de extrusión.....	32
Figura 2.23	Diagrama Viscosidad vs Temperatura.....	34
Figura 2.24	Junta empernada sometida a tensión.....	36
Figura 2.25	Tina de enfriamiento.....	38
Figura 3.1	Tina de enfriamiento diseño y costo.....	61

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.	Comparación de Polímeros.....	12
Tabla 2.	Matriz de decisión de Polímeros.....	13
Tabla 3.	Comparación de Materiales.....	14
Tabla 4.	Matriz de decisión de Materiales.....	14
Tabla 5.	Peso de cada Elemento.....	24
Tabla 6.	Dimensiones para Diseño de Calentadores Circulares.....	31
Tabla 7.	Especificaciones de Tubería.....	33
Tabla 8.	Estimación del alto de la tina de enfriamiento.....	60
Tabla 9	Costo total de la tina de enfriamiento.....	61

ÍNDICE DE PLANOS

- Plano 1 Ensamble - Dado de extrusión
- Plano 2 Despiece - Dado
- Plano 3 Plato rompedor
- Plano 4 Hembra de entrada
- Plano 5 Cono
- Plano 6 Araña
- Plano 7 Hembra intermedia
- Plano 8 Macho
- Plano 9 Hembra de salida
- Plano 10 Boquilla
- Plano 11 Brida
- Plano 12 Calentador #1
- Plano 13 Calentador #2
- Plano 14 Calentador #3
- Plano 15 Ensamble - calibrador
- Plano 16 Despiece - calibrador
- Plano 17 Calibrador - Exterior inferior
- Plano 18 Calibrador - Exterior superior
- Plano 19 Calibrador central
- Plano 20 Ensamble - tina de enfriamiento
- Plano 21 Despiece - tina
- Plano 22 Despiece tuberías - tina
- Plano 23 Tina
- Plano 24 Placa interior - tina
- Plano 25 Tapa tina
- Plano 26 Canaleta – sección transversal

CAPÍTULO 1

1. INTRODUCCIÓN

1.1. Descripción del problema

En el país existen diferentes empresas dedicadas a la elaboración de productos plásticos realizados mediante diferentes procesos; tales como: inyección, extrusión, moldeo rotacional, soplado y termoconformado.

La industria plástica ha crecido considerablemente debido a la sustitución de materiales como: madera, vidrio, metales, etc.; incrementando la demanda de sus productos.

Este crecimiento puede traer grandes necesidades de partes y piezas de máquinas para realizar la fabricación de productos plásticos en procesos de extrusión.

Al no existir estos componentes de máquinas en el país, se incrementa la necesidad de importar estas partes, debido al desgaste que se produce y no poseer empresas dedicadas a la elaboración de estas piezas, y en algunos casos demoras en los tiempos de entrega de importación y costos elevados.

Es por esto que, el presente proyecto tiene como finalidad el diseño de un molde de extrusión de piezas plásticas que se pueda implementar en el país, para lo cual se deben cumplir consideraciones de diseño como: composición química del polímero, normas de calidad del material del molde y la pieza plástica, sistema de calentamiento del dado, y sistemas de enfriamiento.

1.2. Objetivos

1.2.1 Objetivo general

Desarrollar el diseño para un molde de extrusión de piezas plásticas (dado calibrador y tina de enfriamiento), teniendo en consideración el tipo de polímero a utilizar y la geometría de la pieza a fabricarse.

1.2.2 Objetivos específicos.

Se ha considerado como objetivos específicos los siguientes puntos:

- Entender el proceso de extrusión de plástico.
- Seleccionar el polímero que estará involucrado en el proceso.
- Realizar cálculos de transferencia de calor en el dado.
- Realizar una estimación de costos de producción de un molde.
- Diseñar el sistema de enfriamiento del proceso.

1.3. Marco teórico

El moldeo de extrusión es un proceso continuo para formar piezas complejas y muy resistentes, de longitudes muy grandes en comparación con sus dimensiones transversales. (Osswald & Giménez, 2008)

1.3.1. Máquina extrusora de plastificación.

La extrusora monohusillo de plastificación puede formar parte de una unidad de moldeo por inyección y encontrarse en otros procesos como: extrusión, moldeo por soplado, soplado de películas y recubrimiento de cables, la figura 1.1 muestra una extrusora monohusillo o de tres zonas. (Osswald & Giménez, 2008)

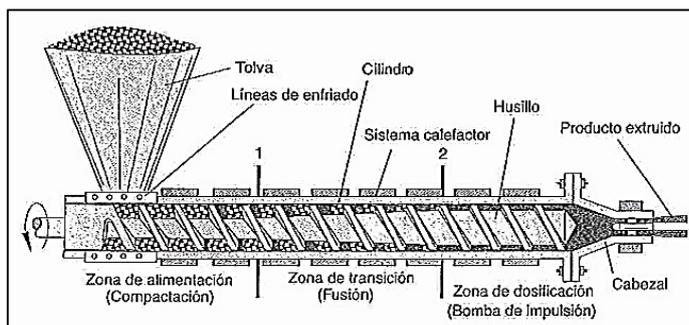


Figura 1.1. Extrusora monohusillo de plastificación.

Fuente: Tim Osswald, Enrique Giménez. Procesado de Polímeros Fundamentos, 2008

Se describirá las partes más importantes que posee la extrusora de plastificación, estas zonas se las conoce como: uno o inicial, dos o intermedia, tres o final, respectivamente. (Osswald & Giménez, 2008)

- **Zona de alimentación o de transporte de sólidos.**

Es la aproximada a la tolva, donde posee mayor volumen de alimentación entre el cilindro y el tornillo, el objetivo es compactar y enviarlo a la siguiente zona a velocidad constante. (Osswald & Giménez, 2008)

- **Zona de fusión o plastificación.**

En este lugar el volumen de alimentación entre el cilindro y el tornillo disminuyen notablemente, aquí el material sólido va compactándose.

- **Zona de dosificación.**

En este lugar el volumen entre el cilindro y el tornillo disminuye, el material fundido es presurizado y homogenizado para forzarlo a travesar a presión la boquilla de conformado.

1.3.2. Descripción del moldeo por extrusión.

El proceso de moldeo está dividido por diferentes zonas, considerando desde la entrada de la materia prima hasta la salida del producto terminado:

Zona de alimentación de la máquina

La máquina es alimentada por la materia prima la cual está constituida por pellets o polvo, ésta es depositada en una tolva de alimentación, la cual al ingresar se mueve automáticamente hacia abajo por la acción de la gravedad; existen ciertos estados de flujo del polímero al introducirlo en la tolva, estos son:

- **Flujo en masa:** flujo constante de materia prima de la tolva al tornillo.
- **Flujo tipo embudo:** Al caer el material a la tolva éste pasa en un porcentaje y la otra se queda en las paredes de la tolva.
- **Formación de puente o arco:** Al caer el material a la tolva, se aglomera en la garganta, llenándose en un determinado tiempo.

Fusión

Zona de transición o parte media en el proceso, el principio es el expuesto por Darnell y Mol (Beltrán & Marcilla, 2009), donde propusieron que existen dos fuerzas principales de fricción que actúan sobre la materia prima en estado sólido.

Una en la superficie del cilindro, donde al disminuir la fricción en el cilindro y aumentar la del husillo, solo hacia mover en un solo conjunto masa-tornillo produciendo un movimiento nulo en la materia prima y la otra en cambio en la superficie del husillo que al subir la fricción en el cilindro y disminuir la del husillo esta hacía que el movimiento de la masa continúe su camino y no se detenga. Esta fricción formará una fina capa de material junto al cilindro el cual, ayudado por las resistencias para mantener una temperatura constante, la fig. 1.2 se muestra una sección de canal del husillo en la zona de fundido.

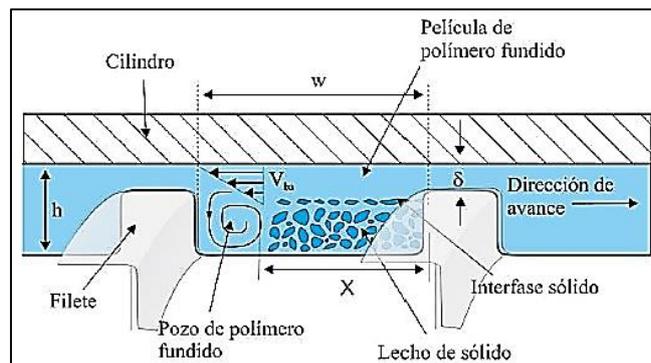


Figura 1.2. Corte longitudinal de monohusillo en zona de transición.

Fuente: Maribel Beltrán, Antonio Marcilla, Tecnología de Polímeros, 2009

Transporte del polímero plastificado

Se encuentra en la parte final del proceso de fusión, en la llamada zona de dosificación, donde la materia prima se encuentra fundida totalmente y no debe existir nada de aire en su interior, debe haber la correcta presión, donde existe la llamada zona de mezclado que hace que el material llega homogenizado a la salida. (Beltrán & Marcilla, 2009)

- **Mezcladores de agujas:** Poseen una serie de agujas de orientación transversal o longitudinal que se encuentran en el husillo.
- **Mezclador de anillos:** Consiste en un anillo situado en el husillo que hace limitar el flujo porque posee una sección muy pequeña de paso para un tiempo corto y cizallamiento.

- **Mezclador con filetes desiguales:** Posee filetes desiguales que hace que el flujo se reoriente, obteniendo un buen mezclado.
- **Mezcladores con filetes secundarios:** Tiene filetes secundarios que actúan como barrera en los filetes principales del husillo.

Cabezales de extrusión

El cabezal de extrusión transforma la masa de polímero fundido en su perfil final, está situado al final de la extrusora y se emplea para extruir: (Osswald & Giménez, 2008)

- Película y lamina plana.
- Tubos y película plana para fundas.
- Filamentos y fibras.
- Perfiles huecos para marcos de ventana.
- Perfiles abiertos.

Cabezales planos.

Un cabezal plano tipo cola de pez que se muestra en la Fig. 1.3 es el más común y está compuesto por:

Canal de distribución: Distribuye el polímero fundido hacia la boquilla.

Boquilla: Transporta la masa fundida desde el distribuidor hasta los labios del cabezal.

Labios del cabezal: Realizan el conformado final del polímero fundido.

Labios ajustables: Realizan el conformado de polímeros fundidos para un ajuste fino cuando se desea obtener un perfil uniforme. (Osswald & Giménez, 2008)

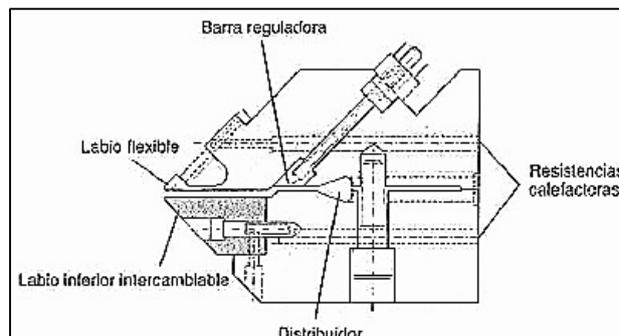


Figura 1.3. Sección transversal de cabezal con distribuidor tipo cola de pez.

Fuente: Tim Osswald, Enrique Giménez. Procesado de Polímeros Fundamentos, 2008

Cabezales circulares:

Un cabezal circular tipo helicoidal que se muestra en la Fig. 1.4 es el más común y está compuesto por:

- **Carter:** Es la bancada donde se une el dado con el tornillo.
- **Orificio de ventilación:** Ayuda la salida del aire atrapado.
- **Tornillo de centrado de boquilla:** Da estabilidad a la boquilla.
- **Torpedo:** Divide el flujo del material para que luego tome forma.
- **Plato rompedor:** Es el acople donde se sitúan los filtros.
- **Anillo de retención:** Sirve para ajustar la bancada con la boquilla.
- **Boquilla:** Es la forma del producto.

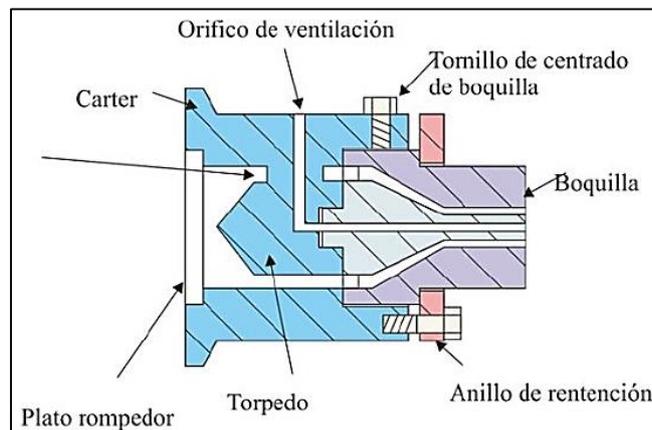


Figura 1.4. Sección transversal de cabezal helicoidal.

Fuente: Maribel Beltrán, Antonio Marcilla, Tecnología de Polímeros, 2009

Conformado

Proceso de darle la forma al material que sale por un dado, se producen cambios de dimensiones y propiedades mecánicas de la materia prima en todo su trayecto (Beltrán & Marcilla, 2009), los siguientes procesos son:

- **Tensionado:** Al salir el material del dado es estirado y se traslada por rodillos, esto hace que se reduzca el tamaño y aumente su dureza.
- **Relajación:** El material posee naturaleza viscoelástica, al pasar por todo el proceso está sometido a grandes deformación y tensiones, al salir del dado este se relaja, hace que el material se hinche.

- **Enfriamiento:** Este proceso produce una contracción al ser enfriado el material, aumentando su densidad y reduciendo su tamaño.

1.3.3. Funcionamiento del molde de extrusión.

En la Fig. 1.5 Se muestra la función de un molde, que consiste en la entrada de la materia prima ya fundida a la entrada a la boquilla, siguiendo una trayectoria y cumpliendo parámetros de temperaturas que se encuentran a los alrededores del dado, al salir el perfil continua su trayectoria al sistema de enfriamiento donde se baja la temperatura. (Sánchez, 2016)

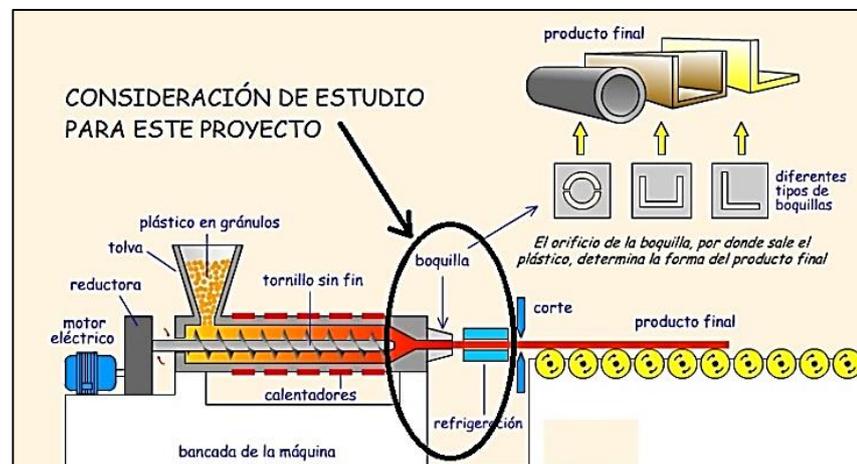


Figura 1.5. Esquema del proyecto.

Fuente: Cristóbal Sánchez, "POLIMEROS". 2016.

1.3.4. Sistema de alimentación del flujo de material en el molde.

El proyecto enfoca una serie de pasos los cuales se explican a continuación:

- Al final del cilindro el material pasa por un filtro (placa rompedora).
- Se encuentra con el separador o torpedo, el cual le va dando forma.
- Al final del dado esta la boquilla la cual le da el producto final deseado.
- Al salir del dado entra al calibrador donde se da la forma final y se baja la temperatura
- Pasa por una tina de enfriamiento para bajar la temperatura en su totalidad.
- Pasa por una serie de rodillos para su traslado y que no se deflexione.

1.4. Conclusión.

La máquina monohusillo es la que hace que el polímero se plastifique al pasar por medio de su rodillo, se debe definir sus elementos importantes y se debe dar una explicación ya que esta se encuentra al principio de un proceso de extrusión, de ahí el polímero al pasa molde de extrusión (dado, calibrador y tina) donde se profundiza más a fondo en los siguientes capítulos ya que es el diseño para este estudio.

CAPÍTULO 2

2. METODOLOGÍA DEL DISEÑO

2.1 Procedimiento esquemático del proceso de diseño.

Se debe considerar un proceso esquemático de diseño, que permita establecer un orden y cumplir con los requerimientos considerados por el diseñador para la elaboración del molde. En la Fig. 2.1 se muestra a continuación el proceso que se establecerá para este proyecto.

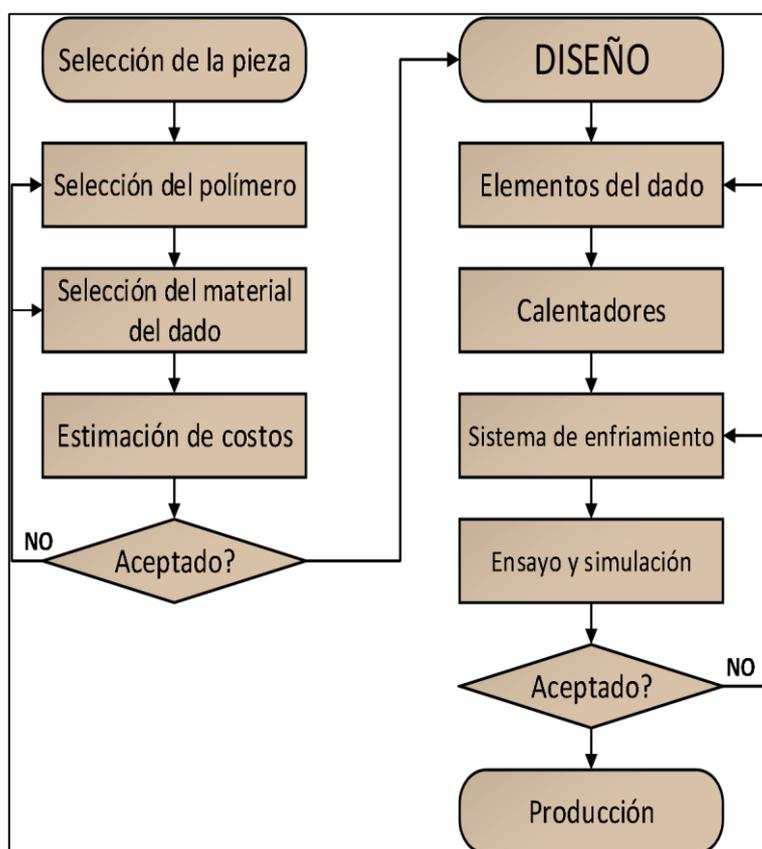


Figura 2.1. Procedimiento esquemático del proceso de diseño.

2.2 Selección de la pieza.

Se debe conocer la complejidad de la geometría de la pieza a extruir con la finalidad de poder determinar el tipo de dado y tina que se utilizará en el proceso.

2.2.1 Caso de estudio:

Para este caso se diseñará un dado para extruir perfiles usados como canaletas eléctricas. Las figuras 2.2 y 2.3 muestran el tipo de pieza a extruir.

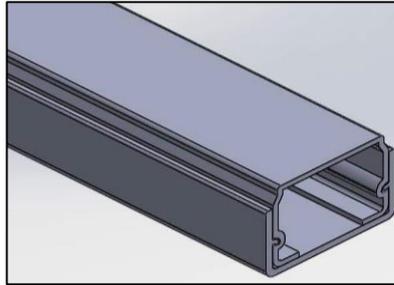


Figura 2.2. Canaleta eléctrica.

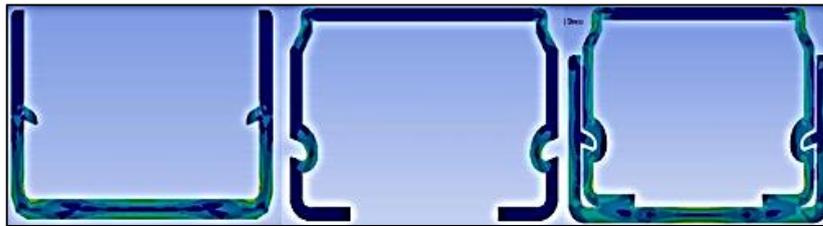


Figura 2.3. Áreas transversales del perfil 2D.

2.2.2 Cálculos de validación del perfil (canaleta).

Para el caso de una canaleta se debe tener en cuenta la parte crítica que representará su diseño y uso. Para este caso, se va a extruir una parte del conjunto de las canaletas, la cual es mostrada en la primera imagen de la Fig. 2.3

Para efecto de cálculo, se considera analizar en la parte superior de la canaleta el cual estará adherido a un tumbado, conociendo que tendrá una cantidad máxima de 8 cables en su interior. Los cálculos se muestran a continuación:

$$\rho = \frac{m}{v}$$
$$\rho_{Cu} = 8960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}$$
$$v = A \cdot L = \pi \frac{D^2}{4} L$$

Para cableado de casas se utiliza cable número 14, **D = 1.63mm**

Longitud de trabajo a considerarse **L = 3m**

Cálculo de la masa de un cable:

$$m_{Cu} = \rho \cdot v = 8960 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} \pi \frac{(1.63 * 10^{-3})^2 \text{m}^2}{4} 3\text{m} = \mathbf{0.0561 \text{ kg}}$$

Se selecciona un factor de 40% del peso del cobre para el peso del cable de revestimiento para efecto de cálculo:

$$m_p = 0.4m_{Cu} = 0.4 * 0.0561 \text{ kg} = \mathbf{0.0224 \text{ kg}}$$

Cálculo de la masa total de un cable número 14:

$$m_{14} = m_{Cu} + m_p = \mathbf{0.0785 \text{ kg}}$$

Se analiza la masa total de ocho cables que estarán en la canaleta:

$$m_8 = 8 * m_{14} = \mathbf{0.628 \text{ kg}}$$

Cálculo de la masa de la canaleta:

$$\rho = \frac{m}{v}; \quad \rho_{pol} = 1040 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3}; \quad v = A \cdot L$$

$$m_{Can} = \rho \cdot v = 1040 \frac{\text{kg}}{\text{m}^3} * 42 * 10^{-6} \text{m}^2 * 3\text{m} = \mathbf{0.1311 \text{ kg}}$$

Donde la masa total:

$$m_{total} = m_8 + m_{Can} = \mathbf{0.76 \text{ kg}}$$

El peso que total del conjunto canaleta más los cables será:

$$P = m * g = 0.76\text{kg} * 9.81 \frac{\text{m}}{\text{s}^2} = \mathbf{7.45\text{N}}$$

Debido a que la canaleta se encuentra asentada en sus bordes, el peso para el análisis será distribuido sobre sus dos bordes, utilizando la siguiente ecuación:

$$P_m = \frac{P}{2} = \mathbf{3.72\text{N}}$$

Los cables producen una carga que se distribuye a lo largo de la canaleta, teniendo una carga distribuida **w**.

$$w = \frac{P_m}{3\text{m}} = \mathbf{1.24 \frac{\text{N}}{\text{m}}}$$

Con los resultados obtenidos previamente, se realiza una simulación para poder determinar la deflexión a la que estará sometida la canaleta; con la finalidad de validar el diseño, como se muestra en una forma representativa en la fig. 2.4:

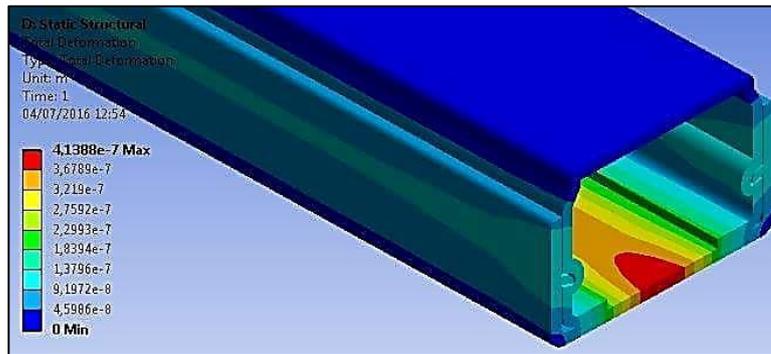


Figura 2.4. Áreas transversales del perfil 3D.

2.3 Selección del polímero.

La materia prima para la elaboración de la pieza está compuesta por dos polímeros: Poliestireno (PS) y Polietileno de alta densidad (HDPE), los cuales tienen características de reciclados y estos son:

- 35%PS/65%HDPE
- 55%PS/45%HDPE
- 70%PS/30%HDPE

Los factores considerados en la matriz de decisión son:

DUCTILIDAD: Propiedades de los materiales que por la acción de una fuerza pueden deformarse sin llegar a romperse.

CAMBIOS DE TEMPERATURA: Propiedad que posee un material al dilatarse.

RESISTENCIA A LA FATIGA: Se opone a la rotura de una pieza mecánica a causa de repeticiones cíclicas.

BRILLO: Cantidad de flujo de luz que emite un cuerpo debido a su propiedad física de partículas en su superficie.

COSTO: Gasto económico que presenta la fabricación de un producto.

Tabla 1. Tabla de comparación de polímeros.

Factores	35%PS/65%HDPE	55%PS/45%HDPE	70%PS/30%HDPE
Ductilidad	alto	medio	medio
Rest. Camb. Temp.	alto	medio	medio
Resistencia a la fatiga	alto	medio	medio
Transparencia o brillo	medio	alto	alto
Costos de materia prima	medio	alto	alto

Teniendo en cuenta estos factores se procede a darles una calificación a los más relevantes en la elaboración de un molde de extrusión.

- Ductilidad: 15%
- Camb. Temp.: 25%
- Fatiga: 25%
- Brillo: 20%
- Costos: 15%

Tabla 2. Matriz de decisión de polímeros.

Factores	35%PS/65%HDPE	55%PS/45%HDPE	70%PS/30%HDPE
Ductilidad	0,15	0,075	0,075
Rest. Camb. Temp.	0,25	0,125	0,125
Resistencia a la fatiga	0,25	0,125	0,125
Transparencia o brillo	0,1	0,2	0,2
Costos de materia prima	0,075	0,15	0,15
Total	0,825	0,675	0,675

2.4 Selección del material del dado.

Se tendrá presente las propiedades más importantes con lo cual se realizará una matriz de decisión para la elaboración del dado, considerando los siguientes materiales:

- Acero AISI P20.
- Acero SISA H13.
- Acero 1045.

Los factores considerados para la realización de la matriz son:

RESISTENCIA A LA ABRASIÓN: Acción mecánica de rozamiento y desgaste que provoca un material.

CONDUCTIVIDAD TÉRMICA: Propiedad física de los materiales que mide la capacidad de conducir calor.

DILATACIÓN TÉRMICA: Capacidad del material en expandirse y contraerse con respecto a un cambio de temperatura.

MAQUINABILIDAD: Propiedad de los materiales que permite comparar con facilidad al ser mecanizados por arranque de viruta.

CORROSIÓN: Deterioro de un material a consecuencia de un ataque electroquímico por su entorno.

Tabla 3. Tabla de comparación de materiales.

Factores	Acero AISI P20	Acero SISA H13	Acero 1045
Resistencia a la abrasión	alto	medio	medio
Conductividad térmica	alto	alto	medio
Dilatación térmica	alto	alto	alto
Maquinabilidad	alto	medio	medio
Resistencia a la corrosión	alto	alto	medio

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

- Resistencia a la abrasión: 25%
- Conductividad térmica: 15%
- Resistencia al impacto: 25%
- Maquinabilidad: 20%
- Resistencia a la corrosión: 15%

Tabla 4. Matriz de decisión de materiales.

Factores	Acero AISI P20	Acero SISA H13	Acero 1045
Resistencia a la abrasión	0,25	0,125	0,125
Conductividad térmica	0,15	0,15	0,075
Dilatación térmica	0,25	0,25	0,25
Maquinabilidad	0,2	0,1	0,1
Resistencia a la corrosión	0,15	0,15	0,075
Total	1	0,775	0,625

2.5 Diseño de los elementos del dado.

El dado se compone por varios elementos (ver en anexos de planos), donde en su interior pasará el material plastificado (excepto Hembra intermedia) debe tener una fina capa de recubrimiento de cromo cuyo espesor debe ser entre 100 y 200 μm , con el propósito de que el material plastificado no se adhiera a las paredes de los elementos. Los elementos son:

2.5.1 Boquilla.

Elemento que da la forma al producto que se desea extruir, situado al final del dado de extrusión, cuyas dimensiones se determinan por la geometría del área transversal de la pieza como se muestra en la Fig. 2.5.



Figura 2.5 Boquilla que da forma a pieza final.

Fuente: KAMCO ALUMINIUM SDN BHD (24)

El ensamble de los elementos que conforman el dado permite la formación de un espacio donde podrá fluir el material dentro del mismo, esa separación se la conoce como GAP (una Brecha, una Apertura o un espacio vacío comprendido entre dos puntos de referencia), se debe tener en cuenta que el GAP debe ser constante en todo su trayecto y cuya dimensión está dada por el espesor del perfil (1.5mm) como se puede ver en la fig. 2.6.

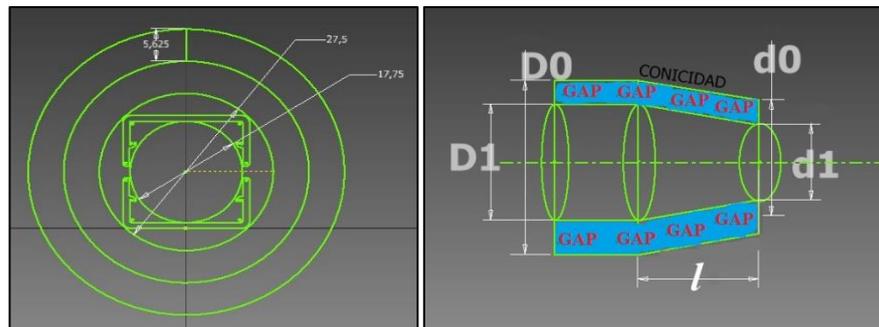


Figura 2.6. Dimensiones del GAP.

Y está dada por la siguiente fórmula:

$$GAP = \frac{D_{B0} - D_{B1}}{2}$$

Donde:

D_{B0} = Diámetro externo del perfil.

D_{B1} = Diámetro interno del perfil.

$$GAP = \frac{27.5 - 17.75}{2} = 4.875\text{mm}$$

Se debe tener en consideración que la superficie que estará en contacto con el fluido debe tener una protección superficial (cromado)

por lo que, al momento de realizar el mecanizado se debe tener en cuenta el espesor de cromado:

Datos:

$D_{NB0}=27.75\text{mm}$ es el diámetro exterior del perfil en la boquilla.

$D_{NB1}=17.75\text{mm}$ es el diámetro interior del perfil en la boquilla.

$D_b= 50 \text{ mm}$ es el diámetro exterior de la boquilla.

$E_b= 10 \text{ mm}$ es el espesor de la boquilla.

2.5.2 Plato rompedor.

Se encuentra ubicado al principio del dado. En la Fig. 2.7 muestra al plato rompedor, cuyas funciones más comunes son:

- Posee un conjunto de agujeros que hacen de malla metálica, el cual sirve para impedir el paso de material no deseado, como el material no plastificado que harán que el producto final tenga defectos, material metálico o algún material que caiga dentro de la tolva.
- La reducción de área hace que la presión se incremente y el material pueda ingresar con mayor velocidad al dado.
- El material al pasar por el tornillo va con movimiento helicoidal, esto hace que al pasar por el dado rápidamente se obtenga un producto que tendrá una mayor facilidad para deformarse fácilmente por torsión.



Figura 2.7. Plato rompedor.

Fuente: Bhavesh Viramagama. India Mart. (25)

2.5.3 Hembra de entrada.

Conicidad: se define como la variación del diámetro constante de un cuerpo de revolución por unidad de longitud, la Fig. 2.8 muestra un ejemplo de conicidad de dos elementos diferentes.

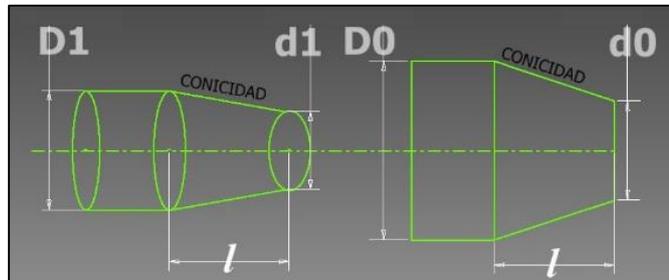


Figura 2.8. Ejemplo de ecuación de conicidad.

$$\text{Conicidad} = \frac{D_{\#} - d_{\#}}{l} = \frac{1}{x}$$

Dónde:

$D_{\#}$ = Diámetro mayor de cuerpo de revolución.

$d_{\#}$ = Diámetro menor de cuerpo de revolución.

l = Longitud.

x = inclinación.

La hembra de entrada posee una cavidad cónica que ayuda a comprimir al polímero proveniente del plato rompedor, este elemento ayuda a cambiar las propiedades mecánicas al polímero, debido a su geometría cónica, el polímero plastificado fluye sobre la superficie produciendo un cambio en la microestructura del polímero incrementando su elasticidad. La Fig. 2.9 muestra al elemento:

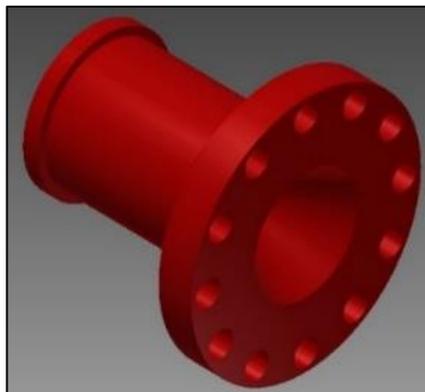


Figura 2.9 Hembra de entrada.

Este elemento consta de dos secciones en su interior, una cilíndrica con un diámetro nominal d_0 donde fluye el material y otra sección cónica con un diámetro nominal D_0 , y de acuerdo a la ecuación de conicidad se calcula el valor de diámetro menor.

Datos:

$l=51\text{mm}$

$D_0=76.75\text{mm}$

$d_0=?$

$x=0.9$

$$d_0 = D_0 - \frac{l}{x} = 77 - \frac{51}{0.9} = \mathbf{20.25\text{ mm}}$$

2.5.4 Cono.

Elemento que ayuda a cambiar las propiedades mecánicas por su geometría, rompiendo el flujo laminar con su punta para redireccionar el polímero a fluir sobre su superficie, la fig. 2.10 muestra el elemento:



Figura. 2.10 Cono.

Fuente: E.B.E.-TECH. (26)

Para poder determinar las dimensiones del cono, es importante considerar las ecuaciones previamente establecidas para GAP y conicidad, dando como resultado:

Datos:

l = Longitud horizontal de la parte cónica del elemento.

D_1 =Diámetro mayor nominal del cono.

d_1 =Diámetro menor nominal del cono = 0mm

$x= 0.9$

$$D_1 = D_0 - 2GAP = 76.75 - 2(4.875) = \mathbf{67mm}$$

$$l = x(D_1 - d_1) = 0.9(67 - 0) = \mathbf{60.25mm}$$

Se debe considerar que la superficie estará expuesta al paso del material plastificado, por lo tanto debe considerarse la protección del material (cromado) de espesor 250 μm ; espesor que debe restarse al diámetro y adicionarse a la longitud horizontal del cono al realizarse el proceso de mecanizado.

2.5.5 Araña.

Elemento situado en la mitad del dado, se acopla al cono y al macho; más arriba de esta sujeción posee una cavidad por donde pasa el polímero plastificado, en la cual se sitúan las llamadas patas de arañas que están formadas por filos elípticos que cortan y que ayudan a seguir mejorando las propiedades mecánicas del polímero plastificado en su trayecto, La Fig. 2.11 muestra la imagen del elemento:

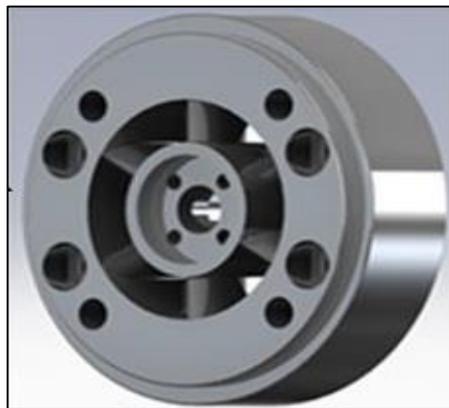


Figura. 2.11 Araña.

Fuente: Giorgos Kouzilos, Dimitrios Manilakos, Angelos P. Markopoulos, 2015. (27)

Para el diseño de la araña se debe considerar los siguientes parámetros:

Datos:

Patas de arañas

Longitud = 20mm.

Ancho = 5mm.

Alto = 4.875mm (GAP).

Forma = 6 nervio radial recto (ver fig. 2.12).

Forma

D_1 = Diámetro mayor de la araña = 100 mm.

D_2 = Diámetro nominal de la hembra de entrada.

D_3 = Diámetro nominal del cono.

D_4 = Diámetro de acople macho, araña, cono.

Recomendaciones para diseño de arañas

La longitud de los nervios debe ser de 30 a 80mm, mientras que su anchura debe ser de 9 a 12mm. Se requiere considerablemente un gran área de la sección transversal del canal dividido, debido a la necesidad de obtener una velocidad de flujo de polímero inferior en el canal y por lo tanto una orientación de polímero más pequeña. Debido a esta razón, se supone que la altura de la pata de araña radial recta no debe ser menor que 10 mm y no debe exceder de 25 mm. Cada pata de araña debe ser diseñada de tal manera que se garantice la más pequeña posible. La Fig. 2.12 muestra los distintos diseños de patas de araña que se pueden elegir:

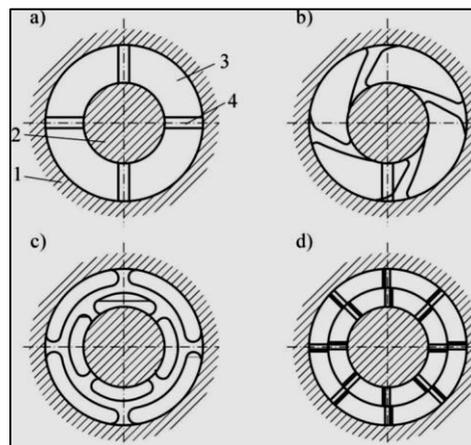


Figura 2.12. Diseño de patas de araña.

Fuente: Sikora, Janusz. Pollub. (28)

Descripción de los elementos de la gráfica:

- a) nervios radiales rectos.
- b) patas de araña helicoidal radial.
- c) forma de patas de araña.

- d) patas de araña arco radial.
- 1 cuerpo principal del cabezal de extrusión.
- 2 torpedos del mandril cabezal de extrusión.
- 3 canal divisor.
- 4 patas de araña.

2.5.6 Macho.

Este elemento sirve para redireccionar al polímero permitiéndole llegar a la boquilla sin perder los cambios de sus propiedades mecánicas, la Fig. 2.13 muestra al elemento macho:



Figura. 2.13 Macho.

Fuente: Uddeholm, Die Steel and Components for Extrusion. (29)

Datos:

D_1 = Diámetro del cono = 67mm.

D_2 = Diámetro interior del perfil en la boquilla = 17.75mm.

l_1 = Longitud horizontal de la parte cónica del macho = 80mm.

X = Inclinación = 1.62

$$X = \frac{l}{(D_1 - D_2)} = \frac{80}{67 - 17.75} = \mathbf{1.62}$$

Además, se debe considerar una parte cilíndrica que permita al fluido retomar su orientación hacia su salida a la boquilla:

l_2 = Longitud de la parte cilíndrica del macho = 60mm.

La Fig. 2.14 muestra el ensamble macho, araña, cono conocido también como torpedo.

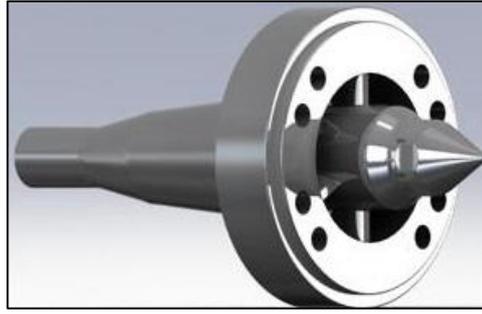


Figura. 2.14 conjunto Macho, araña y cono.

Fuente: Giorgos Kouzilos, Dimitrios Manilakos, Angelos P. Markopoulos, 2015. (30)

2.5.7 Hembra intermedia.

Su función principal acoplar el conjunto entero del dado a través de pernos y bridas. Además, sujeta por medio de pernos de centrado (radiales) los cuales hacen centrar y fijar a la araña. La Fig. 2.15 muestra la hembra intermedia.

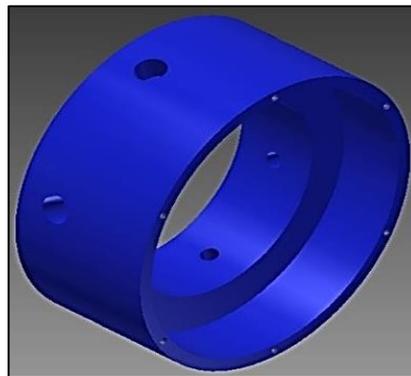


Figura 2.15 Hembra intermedia.

Datos:

D_1 = Diámetro exterior = 154mm.

D_2 = Diámetro interior = 141.75mm.

D_3 = Diámetro de la araña más holgura = 104mm.

l_1 = Longitud externa de la hembra = 71mm.

l_2 = Longitud intermedia de la hembra = 31mm.

l_3 = Longitud interna de la hembra = 41mm.

2.5.8 Hembra de salida.

Elemento que se sitúa por encima del macho y se ajusta con la hembra intermedia, cuya función es cerrar el ducto (GAP) con el macho para el paso del material plastificado. La Fig. 2.16 muestra la hembra final.

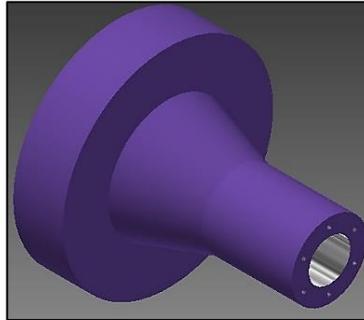


Figura 2.16 Hembra de salida.

Datos:

D_1 = Diámetro mayor de la hembra de salida = 139.25mm.

D_2 = Diámetro mayor nominal de la hembra de entrada = 77mm.

D_3 = Diámetro exterior de la boquilla = 50mm.

D_4 = Diámetro exterior del perfil en la boquilla = 27.75mm.

X = Inclinación del macho = 1.62

2.5.9 Brida.

Elemento metálico circular que sirve para sujetar tubos o vigas fijando un elemento del otro por medio de pernos. Sujeta a la hembra intermedia por pernos y su vez fija a la hembra de salida (ver en anexos de planos), en la Fig. 2.17 se muestra a continuación una brida.



Figura 2.17 Hembra de salida.

Fuente: Bripetrol, Tipos de Bridas. (31)

2.5.10 Perno Allen

Elemento roscado cuya función es unir dos o más elementos, tiene una cabeza cilíndrica la cual posee un orificio hexagonal, la Fig. 2.18 muestra pernos allen a continuación.



Figura 2.18 Pernos allen.

Fuente: IMDICO (Importadora y Distribuidora Corona), Pernos. (32)

Debido a que la sujeción de los pernos está sometida a dos tipos de fuerzas como el peso del dado y la presión ejercida por el fluido plastificado en su interior. Por lo tanto, se debe realizar ambos cálculos para seleccionar la mayor fuerza a la que los pernos estarán sometidos.

Cálculos del peso del dado:

En la tabla 5 se muestra sus valores y los nombres de los elementos que al multiplicarse por el peso específico del acero da como resultado el peso de cada elemento.

Tabla 5. Peso de cada elemento.

	Volumen (m3)	Peso Especifico (N/m3)	Peso (N)
CONO	0,000122	76930	9,38546
ARAÑA	0,000157	76930	12,07801
MACHO	0,000193	76930	14,84749
HEMBRAINT	0,000457	76930	35,15701
HEMBRASAL	0,000549	76930	42,23457
BRIDA	0,00008	76930	6,1544
BOQUILLA	0,0000168	76930	1,292424
TOTAL	0,0015748	76930	121,149364

Cálculo de la fuerza que ejerce la presión interna del dado:

Primero se debe calcular el esfuerzo cortante que ejerce el fluido dentro del dado:

$$\tau = \eta \dot{\gamma}$$

Dónde:

τ = Esfuerzo cortante.

η = Viscosidad = 100 PaS.

$\dot{\gamma}$ = Velocidad de cizallamiento = $10^3 s^{-1}$.

$$\tau = \eta \dot{\gamma} = 100 \text{ Pa} * s * 10^3 s^{-1} = \mathbf{100 \text{ KPa.}}$$

Luego, se debe calcular el área de contacto del flujo dentro del dado:

$$A_{\text{TOTAL}} = A_1 + A_2 + A_3$$

$$A_{\text{TOTAL}} = (\pi * 20 * 64 + \pi(20 + 76.75) * 58.45) + (\pi * 100 * 42) \\ + (\pi * 27.5 * 60 + \pi(27.5 + 76.75) * 83.8)$$

$$A_{\text{TOTAL}} = 67586.31 \text{ mm}^2 = \mathbf{0.067 \text{ m}^2}$$

Para el cálculo de las fuerzas que se ejercen en el interior del dado se debe utilizar la siguiente fórmula:

$$P = \frac{F}{A} \quad ; \quad F = P * A$$

Datos:

P = Presión ejercida por el polímero plastificado.

A = Área de contacto del fluido con el dado.

F = Fuerza radial ejercida por el fluido.

$$F = 100 \text{ KPa} * 0.067 \text{ m}^2 = \mathbf{6.7 \text{ KN}}$$

Análisis en cortante puro.

$$S_{SY} = \frac{S_Y}{2}$$

$$F_{C/\text{Perno}} = \frac{F_{\text{total}}}{\#\text{Pernos}}$$

$$A = \frac{\pi D^2}{4}$$

$$\tau = \frac{F_{C/\text{Perno}}}{A}$$

$$\eta = \frac{S_{SY}}{\tau}$$

$$D = \sqrt{\frac{8\eta F_{\text{total}}}{\pi S_Y \#\text{Pernos}}}$$

Donde:

S_Y = Resistencia de fluencia mínima a la tracción = 240 N/mm^2

S_{SY} = Resistencia mínima de fluencia por cortante.

F_{total} = Fuerza total que ejercerá el conjunto.

#Pernos = Número total de pernos.

$F_{C/Perno}$ = Fuerza de cada perno.

A = Área del perno.

D = Diámetro de perno.

τ = Esfuerzo cortante del perno.

η = Factor de seguridad = 2.

Grado del perno = 4.6

Para la hembra de entrada:

$$D_1 = \sqrt{\frac{8 * 2 * 121.15N}{\pi * 240 N/mm^2 * 12}} = \mathbf{0.46mm}$$

Para la hembra intermedia:

$$D_2 = \sqrt{\frac{8 * 2 * 22.3N}{\pi * 240 N/mm^2 * 6}} = \mathbf{0.28mm}$$

Para la boquilla:

$$D_3 = \sqrt{\frac{8 * 2 * 1.3N}{\pi * 240 N/mm^2 * 6}} = \mathbf{0.06mm}$$

Análisis en tensión.

Datos:

F_{total} = Fuerza total = 6.7kN

N = Numero de pernos =12

F_{unidad} = Fuerza de cada perno.

S_p = Resistencia de prueba mínima.

K_b = Rigidez efectiva estimada del perno.

K_m = Relación del resorte.

t_1 = Parte lisa.

t_2 = Parte roscada.

η_c = Factor de seguridad de carga = 3

A_t = Área de tensión.

F_i = Precarga inicial.

C = Constante de rigidez de la junta.

F_p = Fuerza de prueba.

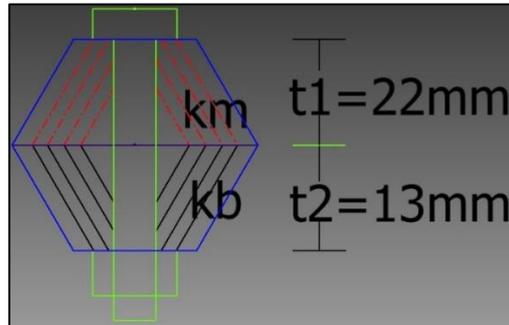


Figura 2.19 Junta emperrada sometida a tensión.

$$F_{\text{unidad}} = \frac{F_{\text{total}}}{N} = \frac{6.7\text{kN}}{12} = 558\text{N}$$

$$K_m = (6 - 8)K_b$$

$$C = \frac{K_b}{K_b - K_m} = \frac{K_b}{K_b - 6K_b} = \frac{1}{7} = 0.1428$$

$$F_p = S_p * A_t$$

$$F_i = 0.75F_p$$

$$\eta_c = \frac{S_p * A_t - F_i}{C * F_{\text{unidad}}} = \frac{F_p - 0.75F_p}{C * F_{\text{unidad}}} = \frac{0.25F_p}{C * F_{\text{unidad}}}$$

$$F_p = \frac{\eta_c * F_{\text{unidad}} * C}{0.25} = \frac{3 * 558\text{N} * 0.1428}{0.25} = 956\text{N}$$

$$A_t = \frac{F_p}{S_p} = \frac{956\text{N}}{225 \text{ N/mm}^2} = 4.25\text{mm}^2$$

(Tabla 11-2) Selección Perno M6, $A_t = 20.12\text{mm}^2$

Determinación K_b

$$K_b = \frac{A_t * A_b * E_b}{A_b * t_2 + A_t * t_1}$$

Dónde:

A_b = Área de sección transversal del perno.

E_b = Modulo de Young del perno.

d = Diámetro supuesto M6

$$A_b = A_d = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi * 6^2}{4} = \mathbf{28.27\text{mm}^2}$$

(Tabla E1) $E_b = 207\text{GPa}$

$$K_b = \frac{20.12\text{mm}^2 * 28.27\text{mm}^2 * 207 * 10^3 \text{ N/mm}^2}{28.27\text{mm}^2 * 13\text{mm} + 20.12\text{mm}^2 * 22\text{mm}} = \mathbf{0.145 * 10^9 \text{ N/m}}$$

Determinación K_m

$$K_n = \frac{0.577 * \pi * E_n * d}{\ln \left[\frac{(1.15t_n + D_n - d)(D_n + d)}{(1.15t_n + D_n + d)(D_n - d)} \right]}$$

$$t_1 = 22\text{mm}$$

$$E_1 = E_2 = \mathbf{207\text{GPa}}$$

$$t_2 = 13\text{mm}$$

$$D_1 = D_2 = 1.5d = 1.5 * 6 = \mathbf{9\text{mm}}$$

$$K_1 = \frac{0.577 * \pi * 207 * 10^3 \text{ N/mm}^2 * 6\text{mm}}{\ln \left[\frac{(1.15 * 22\text{mm} + 9\text{mm} - 6\text{mm})(9\text{mm} + 6\text{mm})}{(1.15 * 22\text{mm} + 9\text{mm} + 6\text{mm})(9\text{mm} - 6\text{mm})} \right]} = \mathbf{1.79 * 10^9 \text{ N/m}}$$

$$K_2 = \frac{0.577 * \pi * 207 * 10^3 \text{ N/mm}^2 * 6\text{mm}}{\ln \left[\frac{(1.15 * 13\text{mm} + 9\text{mm} - 6\text{mm})(9\text{mm} + 6\text{mm})}{(1.15 * 13\text{mm} + 9\text{mm} + 6\text{mm})(9\text{mm} - 6\text{mm})} \right]} = \mathbf{2.05 * 10^9 \text{ N/m}}$$

$$\frac{1}{K_m} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$$

$$K_m = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1.79 * 10^9 \text{ N/m}} + \frac{1}{2.05 * 10^9 \text{ N/m}}} = \mathbf{0.955 * 10^9 \text{ N/m}}$$

CONFIRMACIÓN C

$$C = \frac{K_b}{K_b - K_m} = \frac{0.145 * 10^9 \text{ N/m}}{0.145 * 10^9 \text{ N/m} - 0.955 * 10^9 \text{ N/m}} = \mathbf{0.1790}$$

$$\eta_c = \frac{0.25F_p}{C * F_{\text{unidad}}} = \frac{0.25 * S_p * A_t}{C * F_{\text{unidad}}} = \frac{0.25 * 225 \text{ N/mm}^2 * 20.12\text{mm}^2}{0.1790 * 558\text{N}} = \mathbf{11}$$

Factor de separación.

$$\eta_s = \frac{F_i}{(1 - C)P} = \frac{0.75(S_p * A_t)}{(1 - C)P} = \frac{0.75 * 225 * 20.12}{(1 - 0.1790) * 558} = 7.4$$

Cálculo de diseño:

12 pernos

M6 – L=35mm

Grado 4.6

Se selecciona pernos M10 por diseño de forma.

2.6 Diseño de calentadores.

Los calentadores circulares convierten la energía eléctrica en calor, por medio de resistencia, están formados por una aleación de níquel (80%) cromo (20%) la cual soporta temperaturas hasta 1000°C.

La función de diseño es mantener una temperatura constante por medio de conducción radial a un ducto donde se encuentra el paso del polímero plastificado. La Fig. 2.19 muestra un calentador de resistencia circular a continuación.



Figura 2.20 Calentador de resistencia circular.

Fuente: Direct Industry, Acim Jouanin. (33)

El calor se transfiere por medio de alguno de los siguientes procesos:

Conducción: transmisión de calor por contacto sin transferencia de materia.

Convección: transmisión de calor por la transferencia de la propia materia portadora del calor.

Radiación: transmisión de energía por medio de la emisión de ondas electromagnéticas o fotones.

Para el cálculo de los calentadores se considera la ecuación de Fourier la cual hace una aproximación de la velocidad de transferencia de calor por conducción que se necesita para el diseño. La Fig. 2.20 muestra un ejemplo a continuación:

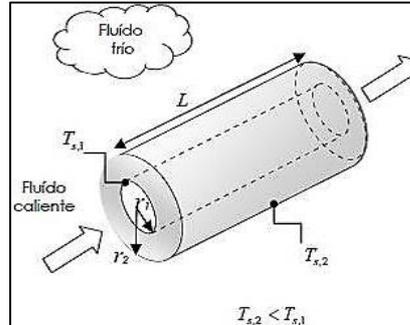


Figura 2.21 Esquema de transferencia de calor por conducción.

Fuente: Ortega, Ana. TranfCalor: Transferencia de Calor I UPTAG. España. (34)

$$q_r = \frac{2\pi Lk(T_{in} - T_{out})}{\ln\left(\frac{R_{out}}{R_{in}}\right)}$$

Se considera también que en el borde del cilindro van a haber pérdidas por radiación las cuales se desprecian por no ser muy elevadas las temperaturas y convección la cual es:

$$q_c = 2\pi * R_{out} * L * h * (T_{in} - T_{out})$$

Dónde:

q_r = Calor radial por conducción.

q_c = Calor por convección.

L = Longitud del calentador.

k = Coeficiente de conductividad térmica del acero.

T_{in} = Temperatura de plastificación.

T_{out} = Temperatura ambiente.

R_{out} = Radio exterior del cilindro

R_{in} = Radio interior de plastificación.

h = Coeficiente de transferencia de calor por convección del aire.

Las dimensiones de los valores de los radios, temperaturas, longitud, etc. se presenten a continuación en la Tabla 6. Para cada uno de los 3 calentadores que se diseñan, se pueden visualizar los planos se encuentran en la parte de anexo.

Tabla 6. Dimensiones para diseño de calentadores circulares.

	Calentador 1	Calentador 2	Calentador 3
Longitud (mm)	L1	L2	L3
	41,6	35	35
Radio interior (mm)	Rin1	Rin2	Rin3
	10	38,375	13,75
Radio exterior (mm)	Rout1	Rout2	Rout3
	40	77	25
Temperatura interior (°C)	Ts,1	Ts,2	Ts,3
	190	180	170
	Temperatura Ambiente (°C)	Conductividad térmica (w/mK)	Coefficiente de transferencia de calor por convección del aire (w/m² K)
	Ts,2 = 25	k = 42	h=5

Se procede a continuación encontrar cada valor que necesita cada calentador.

Calentador 1

$$q_{r1} = \frac{2\pi * (0.0416m) * (42 \text{ W/mK}) * (190 - 25)^{\circ}\text{C}}{\ln\left(\frac{40\text{mm}}{10\text{mm}}\right)} = \mathbf{1307w}$$

$$q_{c1} = 2\pi * (0.04m) * (0.0416m) * (5 \text{ W/m}^2\text{K}) * (190 - 25)^{\circ}\text{C} = \mathbf{8.6w}$$

Donde el calor requerido total es:

$$q_{1\text{Total}} = q_{r1} + q_{c1} = 1307 + 8.6 = \mathbf{1315.6w}$$

Calentador 2

$$q_{r2} = \frac{2\pi * (0.035m) * (42 \text{ W/mK}) * (180 - 25)^{\circ}\text{C}}{\ln\left(\frac{77\text{mm}}{38.375\text{mm}}\right)} = \mathbf{2056w}$$

$$q_{c2} = 2\pi * (0.077\text{m}) * (0.035\text{m}) * \left(5 \text{ W/m}^2\text{K}\right) * (180 - 25)^\circ\text{C} = \mathbf{12.8\text{w}}$$

Donde el calor requerido total es:

$$q_{2\text{Total}} = q_{r2} + q_{c2} = 2056 + 12.8 = \mathbf{2068.8\text{w}}$$

Calentador 3

$$q_{r3} = \frac{2\pi * (0.035\text{m}) * (42 \text{ W/mK}) * (170 - 25)^\circ\text{C}}{\ln\left(\frac{25\text{mm}}{13.75\text{mm}}\right)} = \mathbf{2240\text{w}}$$

$$q_{c3} = 2\pi * (0.025\text{m}) * (0.035\text{m}) * \left(5 \text{ W/m}^2\text{K}\right) * (170 - 25)^\circ\text{C} = \mathbf{4\text{w}}$$

Donde el calor requerido total es:

$$q_{3\text{Total}} = q_{r3} + q_{c3} = 2240 + 4 = \mathbf{2244\text{w}}$$

2.7 Diseño de elementos del calibrador (Sistema de enfriamiento).

La función principal del calibrador es enfriar el perfil además de controlar el tamaño y la forma del elemento. La herramienta de calibración se puede hacer de aluminio para una mejor transferencia de calor, pero comúnmente está hecha de acero inoxidable para una mejor vida debido a la naturaleza abrasiva de plástico. La superficie interna se reduce a la forma del perfil deseado y muy pulido para la fluidez de movimiento.

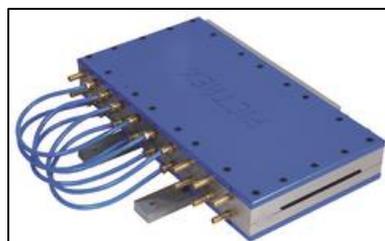


Figura 2.22 Calibrador de perfiles de extrusión.

Fuente: Patel, Pravin, India Mart. (35)

Tiempo y velocidad en pasar el polímero por el calibrador.

$$\frac{\partial T}{\partial t} = \alpha \frac{\partial^2 T}{\partial z^2} \quad \alpha = \frac{k}{\rho * C_p}$$

$$t_c = \frac{D^2}{23.1 * \alpha} \ln \left(1.6 \frac{T_{plast} - T_{ref}}{T_{exp} - T_{ref}} \right)$$

Donde:

α = Coeficiente de difusividad térmica del polímero.

k = Coeficiente de conductividad térmica del polímero.

ρ = Densidad del polímero.

C_p = Calor específico del polímero.

T_{plast} = Temperatura de plastificación.

T_{ref} = Temperatura del refrigerante (Agua).

T_{exp} = Temperatura de expulsión del extruido.

D = Diámetro de la tubería = 6.35mm (ver tabla 7)

t_c = Tiempo de enfriamiento.

$$\alpha = \frac{k}{\rho * C_p} = \frac{0.5 \text{ W/mK}}{950 \text{ Kg/m}^3 * 1900 \text{ J/KgK}} = 2.77 * 10^{-7} \text{ m}^2/\text{s}$$

$$t_c = \frac{D^2}{23.1 * \alpha} \ln \left(1.6 \frac{T_{plast} - T_{ref}}{T_{exp} - T_{ref}} \right) = \frac{(0.00635)^2}{23.1 * (2.77 * 10^{-7})} \ln \left(1.6 \frac{170 - 10}{150 - 10} \right) = 3.8 \text{ seg}$$

Tabla 7. Especificaciones de tubería.

Rosca de tubo nominal (in)	Diámetro de tubo (mm)
1/8	6,35
1/4	8,9
3/8	12,6
1/2	16,1
3/4	21,7

Fuente: Ingenieros Consultores S.L., "Tablas Característica de Tuberías"(38)

Para el cálculo de la velocidad:

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{5k(T_{plast} - T_{pared})}{3\mu}}$$

Dónde:

μ = Viscosidad (ver Fig. 2.22).

\bar{v} = Velocidad del polímero.

$$\bar{v} = \sqrt{\frac{5k(T_{\text{plast}} - T_{\text{pared}})}{3\mu}} = \sqrt{\frac{5 * 0.5 \text{ W/mK} * (170 - 150)\text{K}}{3 * 90\text{Nsm}^{-2}}} = 0.40 \frac{\text{m}}{\text{s}}$$

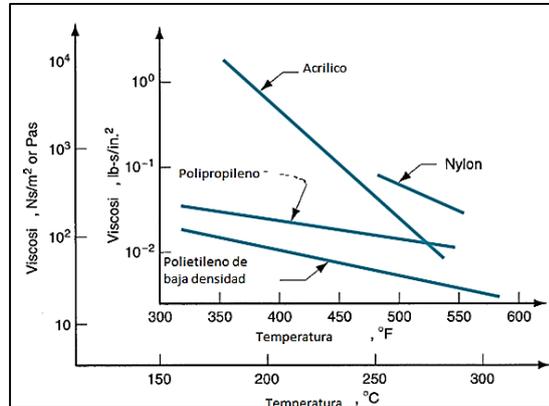


Figura 2.23 Diagrama viscosidad vs. Temperatura.

Fuente: Gavilánez, Nix. Procesos de Manufactura, 2013. (36)

Longitud de enfriamiento con el diámetro requerido.

$$L = \bar{v} * t_c = 0.4 \text{ m/seg} * 3.8\text{seg} = 1.52\text{m}$$

Calor que enviara la canaleta al calibrador.

$$\dot{Q}_{\text{pol}} = \bar{v} * A_{\text{pol}} * C_{p\text{pol}} * \rho_{\text{pol}} * (T_{\text{plast}} - T_{\text{exp}})$$

$$\dot{Q}_{\text{pol}} = 0.40 \text{ m/s} * 0.000076\text{m}^2 * 1900 \text{ J/Kg} * \text{K} * 950 \text{ Kg/m}^3 * (170 - 150)\text{K} = 1120\text{W}$$

El flujo másico que se necesita para bajar la temperatura está dado por la siguiente ecuación:

$$\dot{V}_{\text{ref}} = \frac{\dot{Q}_{\text{pol}}}{\rho_{\text{ref}} * C_{p\text{ref}} * \Delta T_{\text{ref}}} = \frac{1120\text{W}}{1000 \text{ Kg/m}^3 * 4192 \text{ J/Kg} * \text{K} * (12 - 10)\text{K}} = 1.34 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\dot{V}_{\text{línea}} = \frac{\dot{V}_{\text{ref}}}{5} = \frac{1.34 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s}}{5} = 2.67 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}$$

$$\text{Re} = \frac{4 * \rho_{\text{ref}} * \dot{V}_{\text{total-ref}}}{\pi * \mu_{\text{ref}} * D} > 4000$$

Despejando D nos queda:

$$D_{\text{max}} = \frac{4 * \rho_{\text{ref}} * \dot{V}_{\text{total-ref}}}{\pi * \mu_{\text{ref}} * \text{Re}}$$

Dónde:

D_{\max} = Diámetro máximo de la tubería.

Re = Numero de Reynolds = 4000

μ_{ref} = Coeficiente de viscosidad del agua = 0.001 Pa.s

$$D_{\max} = \frac{4 * 1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 2.67 * 10^{-5} \text{ m}^3/\text{s}}{\pi * 0.001 \text{ Pa.s} * 4000} = \mathbf{8.5 \text{ mm}}$$

$$\Delta P_{\text{linea}} = \frac{\rho_{\text{ref}} * L_{\text{linea}} * \dot{V}_{\text{ref}}^2}{10\pi * D^5} = D_{\min} = \sqrt[5]{\frac{\rho_{\text{ref}} * L_{\text{linea}} * \dot{V}_{\text{ref}}^2}{10\pi * \Delta P_{\text{linea}}}}$$

Dónde:

D_{\min} = Diametro minimo de la tubería.

L_{linea} = Longitud de la línea = 0.155 m

ΔP_{linea} = Caída de presión en la tubería.

$$D_{\min} = \sqrt[5]{\frac{\rho_{\text{ref}} * L_{\text{linea}} * \dot{V}_{\text{ref}}^2}{10\pi * \Delta P_{\text{linea}}}} = \sqrt[5]{\frac{1000 \frac{\text{Kg}}{\text{m}^3} * 0.155 \text{ m} * (1.34 * 10^{-4} \text{ m}^3/\text{s})^2}{10\pi * 100 * 10^3 \text{ Pa}}} = \mathbf{3.88 \text{ mm}}$$

$$\mathbf{8.5 \text{ mm} > D > 3.88 \text{ mm}}$$

Diseño de pernos en tensión para el calibrador.

Donde:

V_{inf} = Volumen del elemento inferior del calibrador

V_{cent} = Volumen del elemento central del calibrador

γ_{esp} = Volumen Peso específico del acero

F_1 = Fuerza del elemento inferior.

F_2 = Fuerza del elemento central.

F_{total} = Fuerza total

N = Numero de pernos = 12

F_{unidad} = Fuerza de cada perno.

S_p = Resistencia de prueba mínima = 225 MPa (tabla 11-7)

K_b = Rigidez efectiva estimada del perno = perno grado 4.6

K_m = Relación del resorte.

t_1 = Parte lisa.

t_2 = Parte roscada.

η_c = Factor de seguridad de carga = 3

A_t = Área de tensión.

F_i = Precarga inicial.

C = Constante de rigidez de la junta.

F_p = Fuerza de prueba.

$$F_1 = V_{inf} * \gamma_{esp} = 3.46 * 10^{-3} m^3 * 76930 N/m^3 = 266.2N$$

$$F_2 = 9.86 * 10^{-4} m^3 * 76930 N/m^3 = 75.85N$$

$$F_{total} = F_1 + F_2 = 266.2N + 75.85N = 342N$$

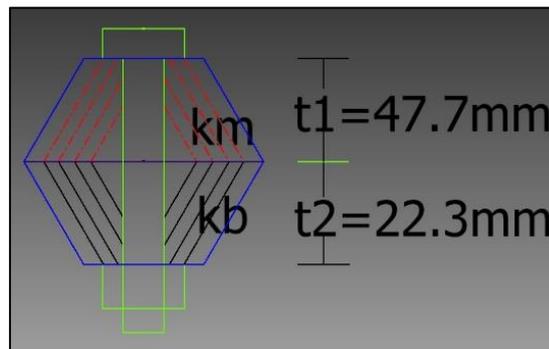


Figura 2.24 Junta empernada sometida a tensión.

$$F_{unidades} = \frac{F_{total}}{N} = \frac{342N}{12} = 28.5N$$

$$C = \frac{K_b}{K_b - K_m} \quad K_m = (6 - 8)K_b$$

$$C = \frac{K_b}{K_b - 6K_b} = \frac{1}{7} = 0.1428$$

$$F_p = S_p * A_t \quad F_i = 0.75F_p$$

$$\eta_c = \frac{S_p * A_t - F_i}{C * F_{unidades}} = \frac{F_p - 0.75F_p}{C * F_{unidades}} = \frac{0.25F_p}{C * F_{unidades}}$$

$$F_p = \frac{\eta_c * F_{unidades} * C}{0.25} = \frac{3 * 28.5N * 0.1428}{0.25} = 48.84N$$

$$A_t = \frac{F_p}{S_p} = \frac{48.84N}{225 N/mm^2} = 0.2170mm^2$$

(Tabla 11-2) Selección Perno M6, $A_t = 20.12mm^2$

Determinación K_b

$$K_b = \frac{A_t * A_b * E_b}{A_b * t_2 + A_t * t_1}$$

Dónde:

A_b = Área de sección transversal del perno.

E_b = Modulo de Young del perno.

d = Diámetro supuesto M6

$$A_b = A_d = \frac{\pi d^2}{4} = \frac{\pi * 6^2}{4} = 28.27 \text{ mm}^2$$

(Tabla E1) $E_b = 207 \text{ GPa}$

$$K_b = \frac{20.12 \text{ mm}^2 * 28.27 \text{ mm}^2 * 207 * 10^3 \text{ N/mm}^2}{28.27 \text{ mm}^2 * 22.3 \text{ mm} + 20.12 \text{ mm}^2 * 47.7 \text{ mm}} = 74.1 * 10^6 \text{ N/m}$$

Determinación K_m

$$K_n = \frac{0.577 * \pi * E_n * d}{\ln \left[\frac{(1.15 t_n + D_n - d)(D_n + d)}{(1.15 t_n + D_n + d)(D_n - d)} \right]}$$

$$t_1 = 47.7 \text{ mm}$$

$$E_1 = E_2 = 207 \text{ GPa}$$

$$t_2 = 22.3 \text{ mm}$$

$$D_1 = D_2 = 1.5d = 1.5 * 6 = 9 \text{ mm}$$

$$K_1 = \frac{0.577 * \pi * 207 * 10^3 \text{ N/mm}^2 * 6 \text{ mm}}{\ln \left[\frac{(1.15 * 47.7 \text{ mm} + 9 \text{ mm} - 6 \text{ mm})(9 \text{ mm} + 6 \text{ mm})}{(1.15 * 47.7 \text{ mm} + 9 \text{ mm} + 6 \text{ mm})(9 \text{ mm} - 6 \text{ mm})} \right]} = 1.58 * 10^9 \text{ N/m}$$

$$K_2 = \frac{0.577 * \pi * 207 * 10^3 \text{ N/mm}^2 * 6 \text{ mm}}{\ln \left[\frac{(1.15 * 22.3 \text{ mm} + 9 \text{ mm} - 6 \text{ mm})(9 \text{ mm} + 6 \text{ mm})}{(1.15 * 22.3 \text{ mm} + 9 \text{ mm} + 6 \text{ mm})(9 \text{ mm} - 6 \text{ mm})} \right]} = 1.78 * 10^9 \text{ N/m}$$

$$\frac{1}{K_m} = \frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}$$

$$K_m = \frac{1}{\frac{1}{K_1} + \frac{1}{K_2}} = \frac{1}{\frac{1}{1.58 * 10^9 \text{ N/m}} + \frac{1}{1.78 * 10^9 \text{ N/m}}} = 0.837 * 10^9 \text{ N/m}$$

CONFIRMACIÓN C

$$C = \frac{K_b}{K_b - K_m} = \frac{74.1 * 10^6 \text{ N/m}}{74.1 * 10^6 \text{ N/m} - 0.837 * 10^9 \text{ N/m}} = 0.0971$$

$$\eta_c = \frac{0.25 F_P}{C * F_{\text{unidad}}} = \frac{0.25 * S_P * A_t}{C * F_{\text{unidad}}} = \frac{0.25 * 225 \text{ N/mm}^2 * 20.12 \text{ mm}^2}{0.0971 * 28.5 \text{ N}} = 409$$

Factor de separación.

$$\eta_s = \frac{F_i}{(1 - C)P} = \frac{0.75(S_p * A_t)}{(1 - C)P} = \frac{0.75 * 225 * 20.12}{(1 - 0.0971) * 28.5} = \mathbf{132}$$

Cálculo de diseño:

12 pernos

M6 – L=70mm

Grado 4.6

Se selecciona pernos M10 por diseño de forma.

2.8 Diseño de elementos de la tina (Sistema de enfriamiento).

La tina de enfriamiento es un sistema que funciona por aspersion de agua que ayuda a la disipación de calor a una pieza que se encuentra en su interior (estático o en movimiento). En la Fig. 2.24 se muestra a continuación una tina de enfriamiento para extrusión de plástico:



Figura 2.25 Tina de enfriamiento.

Fuente: Plastic Technology. (37)

El agua o bien se esparce sobre la parte de múltiples direcciones para ayudar a la uniformidad de la refrigeración o el tanque se inunda con agua de modo que la pieza se sumerge a medida de que pasa a través del tanque. La tina de refrigeración, en general ofrece una refrigeración más eficiente según su costo de fabricación y el mantenimiento de los aspersores.

La función principal es disminuir la temperatura con la que ingresa la canaleta a la tina, el refrigerante que usa es agua helada (10 °C) y la longitud se la determina por la siguiente ecuación:

$$L_{tina} = \bar{v} * t_{tina}$$

Dónde:

L_{tina} = Longitud de tina.

\bar{v} = Velocidad de canaleta.

t_{tina} = Tiempo de enfriamiento en la tina.

Resolviendo:

$$L_T = \bar{v} * t_{tina} = 0.4082 \text{ m/seg} * 5\text{seg} = 2.04\text{m}$$

Calor que se disipa en la canaleta:

$$\dot{Q}_{canaleta} = \dot{Q}_{ref}$$

$$\dot{Q}_{canaleta} = \bar{v} * A_{canaleta} * C_{p_{canaleta}} * \rho_{canaleta} * (T_{in} - T_{out})$$

Dónde:

$\dot{Q}_{canaleta}$ = Calor removido de la canaleta.

$A_{canaleta}$ = Área de la canaleta

$C_{p_{canaleta}}$ = Calor específico del polietileno.

T_{in} = Temperatura a la entrada de la tina.

T_{out} = Temperatura a la salida de la tina.

Resolviendo:

$$\dot{Q}_{canaleta} = 0.4082 \text{ m/s} * 0.000076\text{m}^2 * 1900 \text{ J/Kg} * \text{K} * 950 \text{ Kg/m}^3 * (150 - 50)\text{K}$$

$$\dot{Q}_{pol} = \mathbf{5.6KW}$$

Calor que se entrega al agua:

$$\dot{Q}_{ref} = \dot{m}_{ref} * C_{p_{ref}} * (\Delta T_{ref})$$

Dónde:

\dot{Q}_{ref} = Calor recibido por el agua.

$C_{p_{ref}}$ = Calor específico del agua.

T_{in} = Temperatura inicial del agua.

T_{out} = Temperatura final del agua.

Resolviendo:

$$\dot{m}_{ref} = \frac{5.6 \text{KW}}{4192 \text{ J/Kg} * \text{K} * (12 - 10) \text{K}} = \mathbf{0.668 \text{ Kg/s}}$$

CAPÍTULO 3

3. RESULTADOS

3.1 Selección de la pieza a extruir.

Para caso de estudio se seleccionó la pieza a extruir será una canaleta que es utilizada para sostener una red eléctrica de ocho cables número catorce.

3.1.1 Norma de canaleta.

Se utilizará la norma NTE INEN 2486 Esta norma establece los requisitos que deben cumplir las bandejas metálicas portacables, electro-canales o canaleta, y los elementos de montaje asociados para el apoyo de cables y/o conductores aislados.

Los requisitos dimensionales, mecánicos, eléctricos, transporte, manipulación, almacenamiento, instalación, mantenimiento y modificaciones para las bandejas metálicas portacables y los montajes asociados para los cables eléctricos, los conductores aislados y vías de conducción.

3.2 Selección del polímero.

El polímero que se selecciona es la mezcla 35%PS/65%HDPE Poliestireno y polietileno de alta densidad respectivamente, Descrita en el capítulo dos por una matriz de decisión estos dos polímeros poseen características de reciclado.

3.3 Selección del material del dado.

Se considera hacer un dado para la extrusión de una canaleta, el cual está compuesto por algunos elementos, estos estarán formados por acero P20 como materia prima, la cual fue expuesta en el capítulo dos por una matriz de decisión. Está compuesto por los siguientes elementos:

- Plato rompedor.
- Hembra de entrada.
- Cono.
- Araña.
- Hembra intermedia.
- Macho.
- Hembra de salida.
- Boquilla.
- Brida.

3.4 Selección del sistema de enfriamiento.

3.4.1 Calibrador.

EL calibrador está formado por la selección de acero P20 el cual es inoxidable y tendrá una duración mayor ya que en su interior tendrá ductos de enfriamiento donde pasara agua y un costo considerable comparado con otros metales, está compuesto por los principales elementos.

- Calibrador exterior inferior.
- Calibrador exterior superior.
- Calibrador central.

3.4.2 Tina de enfriamiento.

Se selecciona una tina de enfriamiento para tener una mejor disminución de temperatura la cual estará formada por sus principales elementos a continuación:

- Tina
- Placa interior – tina.
- Tapa de tina.
- Aspersores.

3.5 Costos de los elementos del dado.

El dado se compone por algunos elementos, los cuales tienen diferente geometría, se tiene que tener una consideración de costo para cada elemento, los cuales algunos siguen una lista para su elaboración.

- **Costo del material:** Costo de materia prima acero AISI P20
- **Costo de mecanización:** Fresado, torneado, taladrado, corte por hilo.
- **Costo de cromado:** En las cavidades para el paso del polímero.
- **Costo beneficio:** Costos de 30% por trabajo.
- **Costo de diseño:** Costo del diseñador.
- **Total:** Total de costo del dado.

3.5.1 Costos de Boquilla.

Costo de materia prima

$\varnothing = 50\text{mm}$ $L = 10\text{mm}$

Costo del material – $\varnothing 50.8 \times 25\text{mm}$

$$\text{CMP} = \text{PM} * \text{LM} * \text{CP}$$

Donde:

CMP = Costo materia prima.

PM = Peso del material por metro.

LM = Longitud de la pieza a mecanizar.

CP = Costo de material por peso.

$$\text{CMP} = 16.3 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 25 * 10^{-3}\text{m} * 8 \frac{\$}{\text{Kg}} = \$3.26$$

Costo de mecanización.

$$\text{CT} = \text{HT} * \text{C1}$$

$$\text{CF} = \text{HF} * \text{C2}$$

Donde:

CT = Costo de torneado.

HT = Hora torno hombre maquina.

C1 = Costo por hora de torneado.

CF = Costo de fresado.

HF = Hora fresa hombre maquina.

C2 = Costo por hora de frizado.

$$CT = 2 HT * 9.50 \$/_{HT} = \$19$$

$$CF = 8 HF * 10.30 \$/_{HF} = \$82.40$$

Costo de cromado.

La boquilla posee dimensiones muy pequeñas que al sacar su área no se aproxima a la establecida, donde se asume un costo de cromo duro CD = \$25, porque esta trabaja con un área mayor a cien centímetros cuadrados fijando así ese precio.

Costo total de fabricación.

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{Boquilla}} &= \text{CMP} + \text{CT} + \text{CF} + \text{CD} = 3.26 + 19 + 82.40 + 25 \\ &= \$129.66 \end{aligned}$$

3.5.2 Plato Rompedor.

Costo de materia prima

Ø = 53mm L = 20mm

Costo del material – Ø63.5x25mm

$$\text{CMP} = \text{PM} * \text{LM} * \text{CP}$$

Donde:

CMP = Costo materia prima.

PM = Peso del material por metro.

LM = Longitud de la pieza a mecanizar.

CP = Costo de material por peso.

$$\text{CMP} = 25.4 \text{ Kg}/\text{m} * 25 * 10^{-3} \text{ m} * 8 \$/\text{Kg} = \$5.08$$

Costo de mecanización.

$$CT = HT * C1$$

$$CF = HF * C2$$

Donde:

CT = Costo de torneado.

HT = Hora torno hombre maquina.

C1 = Costo por hora de torneado.

CF = Costo de fresado.

HF = Hora fresa hombre maquina.

C2 = Costo por hora de frasado.

$$CT = 5 HT * 9.50 \$/_{HT} = \$47.50$$

$$CF = 8 HF * 10.30 \$/_{HF} = \$82.40$$

Costo total de fabricación.

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{Plato-rompedor}} &= \text{CMP} + \text{CT} + \text{CF} = 5.08 + 47.50 + 82.40 \\ &= \$134.98 \end{aligned}$$

3.5.3 Hembra de entrada.

Costo de materia prima

$\varnothing = 154\text{mm}$ L = 145mm

Costo del material – $\varnothing 160 \times 150\text{mm}$

$$\text{CMP} = \text{PM} * \text{LM} * \text{CP}$$

Donde:

CMP = Costo materia prima.

PM = Peso del material por metro.

LM = Longiutad de la pieza a mecanizar.

CP = Costo de material por peso.

$$\text{CMP} = 161.3 \text{ Kg}/\text{m} * 154 * 10^{-3}\text{m} * 8 \$/\text{Kg} = \$198.72$$

Costo de mecanización.

$$CT = HT * C1$$

$$CF = HF * C2$$

Donde:

CT = Costo de torneado.

HT = Hora torno hombre maquina.

C1 = Costo por hora de torneado.

CF = Costo de fresado.

HF = Hora fresa hombre maquina.

C2 = Costo por hora de frasado.

$$CT = 10 HT * 9.50 \$/_{HT} = \$95$$

$$CF = 3 HF * 10.30 \$/HF = \$30.90$$

Costo de cromado.

$$A_{\text{Cono-truncado}} = \pi * \frac{D_{\text{mayor}} + D_{\text{menor}}}{2} * L_{\text{Cono-truncado}}$$

$$A_{\text{Cilindro}} = \pi * D_{\text{Cilindro}} * L_{\text{Cilindro}}$$

$$A = A_{\text{Cono-truncado}} + A_{\text{Cilindro}} + \dots$$

$$\text{Si } A < 100\text{cm}^2 \rightarrow CD = \$25$$

$$CD = A * \text{Costo}_{\text{Area}}$$

Donde:

$A_{\text{Cono-truncado}}$ = Area interna del cono truncado

D_{mayor} = Diametro mayor.

D_{menor} = Diametro menor.

$L_{\text{Cono-truncado}}$ = Longitud del cono truncado.

A_{Cilindro} = Area del cilindro.

D_{Cilindro} = Diametro del cilindro.

L_{Cilindro} = Longitud del cilindro.

CD = Costo de cromo duro.

A = Suma de areas totales.

$\text{Costo}_{\text{Area}}$ = Costo por area.

$$A_{1-\text{Cilindro}} = \pi * 5\text{cm} * 1.5\text{cm} = 23.56\text{cm}^2$$

$$A_{1-\text{Cono-truncado}} = \pi * \frac{5\text{cm} + 2\text{cm}}{2} * 1.5\text{cm} = 16.5\text{cm}^2$$

$$A_{2-\text{Cilindro}} = \pi * 2\text{cm} * 6.4\text{cm} = 40.2\text{cm}^2$$

$$A_{2-\text{Cono-truncado}} = \pi * \frac{7.68\text{cm} + 2\text{cm}}{2} * 5.1\text{cm} = 77.55\text{cm}^2$$

$$A = 23.56 + 16.5 + 40.2 + 77.55 = 157.81\text{cm}^2$$

$$CD = 157.81\text{cm}^2 * 0.25 \$/\text{cm}^2 = \$39.45$$

Costo total de fabricación.

$$\text{Costo}_{\text{Hembra-entrada}} = \text{CMP} + \text{CT} + \text{CF} + \text{CD}$$

$$= 198.72 + 95 + 30.90 + 39.45 = \$364.07$$

3.5.4 Cono.

Costo de materia prima

$$\varnothing = 67\text{mm} \quad L = 80\text{mm}$$

Costo del material – $\varnothing 76.2 \times 85\text{mm}$

$$\text{CMP} = \text{PM} * \text{LM} * \text{CP}$$

Donde:

CMP = Costo materia prima.

PM = Peso del material por metro.

LM = Longitud de la pieza a mecanizar.

CP = Costo de material por peso.

$$\text{CMP} = 36.6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 85 * 10^{-3}\text{m} * 8 \frac{\$}{\text{Kg}} = \$24.89$$

Costo de mecanización.

$$\text{CT} = \text{HT} * \text{C1}$$

Donde:

CT = Costo de torneado.

HT = Hora torno hombre maquina.

C1 = Costo por hora de torneado.

$$\text{CT} = 8 \text{ HT} * 9.50 \frac{\$}{\text{HT}} = \$76$$

Costo de cromado.

$$A_{\text{Cono-truncado}} = \pi * \frac{D_{\text{mayor}} + D_{\text{menor}}}{2} * L_{\text{Cono-truncado}}$$

$$A_{\text{Cilindro}} = \pi * D_{\text{Cilindro}} * L_{\text{Cilindro}}$$

$$A = A_{\text{Cono-truncado}} + A_{\text{Cilindro}} + \dots$$

$$\text{Si } A < 100\text{cm}^2 \rightarrow \text{CD} = \$25$$

$$\text{CD} = A * \text{Costo}_{\text{Area}}$$

Donde:

$A_{\text{Cono-truncado}}$ = Area interna del cono truncado

D_{mayor} = Diametro mayor.

D_{menor} = Diametro menor.

$L_{\text{Cono-truncado}}$ = Longitud del cono truncado.

A_{Cilindro} = Area del cilindro.

D_{Cilindro} = Diametro del cilindro.

L_{Cilindro} = Longitud del cilindro.

CD = Costo de cromo duro.

A = Suma de areas totales.

Costo_{Area} = Costo por area.

$$A_{\text{Cono-truncado}} = \pi * \frac{6.7\text{cm} + 0}{2} * 6.03\text{cm} = 63.46\text{cm}^2$$

$$A_{\text{Cilindro}} = \pi * 6.7\text{cm} * 1\text{cm} = 21\text{cm}^2$$

$$A = 63.46 + 21 = 84.46\text{cm}^2$$

$$\text{Si } A < 100\text{cm}^2 \rightarrow \text{CD} = \$25$$

Costo total de fabricación.

$$\text{Costo}_{\text{Cono}} = \text{CMP} + \text{CT} + \text{CD} = 24.89 + 76 + 25 = \mathbf{\$125.89}$$

3.5.5 Araña.

Costo de materia prima

$$\varnothing = 100\text{mm} \quad L = 42\text{mm}$$

Costo del material – $\varnothing 102 \times 50\text{mm}$

$$\text{CMP} = \text{PM} * \text{LM} * \text{CP}$$

Donde:

CMP = Costo materia prima.

PM = Peso del material por metro.

LM = Longitud de la pieza a mecanizar.

CP = Costo de material por peso.

$$\text{CMP} = 65.5 \text{ Kg/m} * 50 * 10^{-3}\text{m} * 8 \text{ \$/Kg} = \mathbf{\$26.20}$$

Costo de mecanización.

$$\text{CT} = \text{HT} * \text{C1}$$

$$\text{CF} = \text{HF} * \text{C2}$$

Donde:

CT = Costo de torneado.

HT = Hora torno hombre maquina.

C1 = Costo por hora de torneado.

CF = Costo de fresado.

HF = Hora fresa hombre maquina.

C2 = Costo por hora de fresado.

$$\text{CT} = 7 \text{ HT} * 9.50 \text{ \$/HT} = \mathbf{\$66.50}$$

$$\text{CF} = 7 \text{ HF} * 10.30 \text{ \$/HF} = \mathbf{\$72.10}$$

Costo de cromado.

$$A_{\text{Cilindro-D}} = \pi * D_{\text{Cilindro-D}} * L_{\text{Cilindro-D}} - 6A_{\text{Base}}$$

$$A_{\text{Cilindro-d}} = \pi * D_{\text{Cilindro-d}} * L_{\text{Cilindro-d}} - 6A_{\text{Base}}$$

$$A_{\text{PAT}} = 6 * A_{\text{Costado}}$$

$$A = A_{\text{Cilindro-D}} + A_{\text{Cilindro-d}} + A_{\text{PA}}$$

$$\text{Si } A < 100\text{cm}^2 \rightarrow CD = \$25$$

$$CD = A * \text{Costo}_{\text{Area}}$$

Donde:

$A_{\text{Cilindro-D}}$ = Area del cilindro de diametro mayor

$D_{\text{Cilindro-D}}$ = Diametro del cilindro de diametro mayor

$L_{\text{Cilindro-D}}$ = Longitud del cilindro de diametro mayor.

$A_{\text{Cilindro-d}}$ = Area del cilindro de diametro menor

$D_{\text{Cilindro-d}}$ = Diametro del cilindro de diametro menor

$L_{\text{Cilindro-d}}$ = Longitud del cilindro de diametro menor.

A_{Base} = Area base de pata de araña.

A_{PAT} = Area total de seis patas de araña de costado.

A_{Costado} = Area de pata de araña de costado.

CD = Costo de cromo duro.

A = Suma de areas totales.

$\text{Costo}_{\text{Area}}$ = Costo por area.

$$A_{\text{Cilindro-D}} = \pi * 7.68\text{cm} * 4.2\text{cm} - 6 * 0.687 = 97.2\text{cm}^2$$

$$A_{\text{Cilindro-d}} = \pi * 6.7\text{cm} * 2\text{cm} - 6 * 0.687 = 38\text{cm}^2$$

$$A_{\text{PAT}} = 6 * 2.03\text{cm}^2 = 12.2\text{cm}^2$$

$$A = 97.2 + 38 + 12.2 = 147.4\text{cm}^2$$

$$\text{Si } A < 100\text{cm}^2 \rightarrow CD = \$25$$

$$CD = 147.4\text{cm}^2 * 0.25 \$/\text{cm}^2 = \$36.85$$

El área base y el área de costado fueron obtenidas directamente por facilidad del programa autodesk inventor.

Costo total de fabricación.

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{Araña}} &= \text{CMP} + \text{CT} + \text{CF} + \text{CD} = 26.20 + 66.50 + 72.10 + 36.85 \\ &= \mathbf{\$201.65} \end{aligned}$$

3.5.6 Macho.

Costo de materia prima

$$\varnothing = 67\text{mm} \quad L = 160\text{mm}$$

Costo del material – $\varnothing 10276.2 \times 170\text{mm}$

$$\text{CMP} = \text{PM} * \text{LM} * \text{CP}$$

Donde:

CMP = Costo materia prima.

PM = Peso del material por metro.

LM = Longitud de la pieza a mecanizar.

CP = Costo de material por peso.

$$\text{CMP} = 36.6 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 170 * 10^{-3} \text{m} * 8 \frac{\$}{\text{Kg}} = \$49.78$$

Costo de mecanización.

$$\text{CT} = \text{HT} * \text{C1}$$

Donde:

CT = Costo de torneado.

HT = Hora torno hombre maquina.

C1 = Costo por hora de torneado.

$$\text{CT} = 8 \text{ HT} * 9.50 \frac{\$}{\text{HT}} = \$76$$

Costo de cromado.

$$A_{\text{Cilindro}} = \pi * D_{\text{Cilindro}} * L_{\text{Cilindro}}$$

$$A_{\text{Cono-truncado}} = \pi * \frac{D_{\text{mayor}} + D_{\text{menor}}}{2} * L_{\text{Cono-truncado}}$$

$$A = A_{\text{Cono-truncado}} + A_{\text{Cilindro}} + \dots$$

$$\text{Si } A < 100\text{cm}^2 \rightarrow \text{CD} = \$25$$

$$\text{CD} = A * \text{Costo}_{\text{Area}}$$

Donde:

A_{Cilindro} = Area del cilindro.

D_{Cilindro} = Diametro del cilindro.

L_{Cilindro} = Longitud del cilindro.

$A_{\text{Cono-truncado}}$ = Area interna del cono truncado

D_{mayor} = Diametro mayor.

D_{menor} = Diámetro menor.

$L_{\text{Cono-truncado}}$ = Longitud del cono truncado.

CD = Costo de cromo duro.

A = Suma de áreas totales.

Costo_{Area} = Costo por area.

$$A_{1-\text{Cilindro}} = \pi * 6.7\text{cm} * 1\text{cm} = 21\text{cm}^2$$

$$A_{\text{Cono-truncado}} = \pi * \frac{6.7\text{cm} + 1.78\text{cm}}{2} * 8\text{cm} = 106.56\text{cm}^2$$

$$A_{2-\text{Cilindro}} = \pi * 1.78\text{cm} * 6\text{cm} = 33.55\text{cm}^2$$

$$A = 21 + 106.56 + 33.55 = 161.1\text{cm}^2$$

$$\text{Si } A < 100\text{cm}^2 \rightarrow CD = \$25$$

$$CD = 161.1\text{cm}^2 * 0.25 \text{ \$/cm}^2 = \mathbf{\$40.28}$$

Costo total de fabricación.

$$\text{Costo}_{\text{Macho}} = \text{CMP} + \text{CT} + \text{CD} = 49.78 + 76 + 40.28 = \mathbf{\$166.06}$$

3.5.7 Hembra intermedia.

Costo de materia prima

$\varnothing = 154\text{mm}$ $L = 71\text{mm}$

Costo del material – $\varnothing 154 \times 80\text{mm}$

$$\text{CMP} = \text{PM} * \text{LM} * \text{CP}$$

Donde:

CMP = Costo materia prima.

PM = Peso del material por metro.

LM = Longitud de la pieza a mecanizar.

CP = Costo de material por peso.

$$\text{CMP} = 147.5 \text{ Kg/m} * 80 * 10^{-3}\text{m} * 8 \text{ \$/Kg} = \mathbf{\$94.40}$$

Costo de mecanización.

$$\text{CT} = \text{HT} * \text{C1}$$

$$\text{Cta} = \text{Hta} * \text{C3}$$

Donde:

CT = Costo de torneado.

HT = Hora torno hombre maquina.

C1 = Costo por hora de torneado.

Cta = Costo de taladrado.

Hta = Hora taladrado hombre maquina.

C3 = Costo por hora de frizado.

$$CT = 4 HT * 9.50 \$/HT = \$38$$

$$Cta = 8 Hta * 4.20 \$/Hta = \$33.60$$

Costo total de fabricación.

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{Hembra-intermedia}} &= \text{CMP} + \text{CT} + \text{Cta} = 94.40 + 38 + 33.60 \\ &= \$166 \end{aligned}$$

3.5.8 Hembra de salida.

Costo de materia prima

$\varnothing = 140\text{mm}$ L = 140mm

Costo del material – $\varnothing 153 \times 140\text{mm}$

$$\text{CMP} = \text{PM} * \text{LM} * \text{CP}$$

Donde:

CMP = Costo materia prima.

PM = Peso del material por metro.

LM = Longitud de la pieza a mecanizar.

CP = Costo de material por peso.

$$\text{CMP} = 147.5 \text{ Kg/m} * 140 * 10^{-3} \text{ m} * 8 \$/\text{Kg} = \$165.20$$

Costo de mecanización.

$$CT = HT * C1$$

$$Cta = Hta * C3$$

Donde:

CT = Costo de torneado.

HT = Hora torno hombre maquina.

C1 = Costo por hora de torneado.

Cta = Costo de taladrado.

Hta = Hora taladrado hombre maquina.

C3 = Costo por hora de frizado.

$$CT = 10 HT * 9.50 \$/_{HT} = \mathbf{\$95}$$

$$Cta = 3 Hta * 4.20 \$/_{Hta} = \mathbf{\$12.60}$$

Costo de cromado.

$$A_{\text{Cono-truncado}} = \pi * \frac{D_{\text{mayor}} + D_{\text{menor}}}{2} * L_{\text{Cono-truncado}}$$

$$A_{\text{Cilindro}} = \pi * D_{\text{Cilindro}} * L_{\text{Cilindro}}$$

$$A = A_{\text{Cono-truncado}} + A_{\text{Cilindro}}$$

$$\text{Si } A < 100\text{cm}^2 \rightarrow CD = \$25$$

$$CD = A * \text{Costo}_{\text{Area}}$$

Donde:

$A_{\text{Cono-truncado}}$ = Area interna del cono truncado

D_{mayor} = Diametro mayor.

D_{menor} = Diametro menor.

$L_{\text{Cono-truncado}}$ = Longitud del cono truncado.

A_{Cilindro} = Area del cilindro.

D_{Cilindro} = Diametro del cilindro.

L_{Cilindro} = Longitud del cilindro.

CD = Costo de cromo duro.

A = Suma de areas totales.

$\text{Costo}_{\text{Area}}$ = Costo por area.

$$A_{\text{Cono-truncado}} = \pi * \frac{7.68\text{cm} + 2.75\text{cm}}{2} * 8.05\text{cm} = 131.89\text{cm}^2$$

$$A_{\text{Cilindro}} = \pi * 2.75\text{cm} * 6\text{cm} = 51.84\text{cm}^2$$

$$A = 131.89 + 51.84 = 183.73\text{cm}^2$$

$$CD = 183.73\text{cm}^2 * 0.25 \$/_{\text{cm}^2} = \$45.93$$

Costo total de fabricación.

$$\text{Costo}_{\text{Hembra-salida}} = \text{CMP} + CT + Cta + CD$$

$$= 165.20 + 95 + 12.60 + 45.93 = \mathbf{\$318.73}$$

3.5.9 Brida.

Costo de materia prima

Material – ACERO AISI P20

$\varnothing = 154\text{mm}$ $L = 10\text{mm}$

Costo del material – $\varnothing 154 \times 15\text{mm}$

$$\text{CMP} = \text{PM} * \text{LM} * \text{CP}$$

Donde:

CMP = Costo materia prima.

PM = Peso del material por metro.

LM = Longitud de la pieza a mecanizar.

CP = Costo de material por peso.

$$\text{CMP} = 147.5 \frac{\text{Kg}}{\text{m}} * 15 * 10^{-3}\text{m} * 8 \frac{\$}{\text{Kg}} = \$17.70$$

Costo de mecanización.

$$\text{CF} = \text{HF} * \text{C2}$$

Donde:

CF = Costo de fresado.

HF = Hora fresa hombre maquina.

C2 = Costo por hora de frizado.

$$\text{CF} = 4 \text{ HF} * 10.30 \frac{\$}{\text{HF}} = \$41.20$$

Costo total de fabricación.

$$\text{Costo}_{\text{Brida}} = \text{CMP} + \text{CF} = 17.70 + 41.20 = \$58.40$$

3.5.10 Costos de pernos Allen en el dado.

La selección de pernos en la unión da la hembra de entrada con la hembra intermedia asume pernos Allen M10x1.5x35 por diseño de forma lo cual su costo se detalla por la siguiente ecuación:

$$\text{Costo}_{\text{Allen-M10}} = \text{Cantidad}_{\text{Allen-M10}} * \text{Costo}_{\text{Unitario-M10}}$$

Donde:

$\text{Costo}_{\text{Allen-M10}}$ = Costo total de pernos allen M10.

$\text{Cantidad}_{\text{Allen-M10}}$ = Cantidad de pernos para unión.

$\text{Costo}_{\text{Unitario-M10}}$ = Costo unitario de perno M10.

$$\text{Costo}_{\text{Allen-M10}} = 12 \text{ unidades} * 0.30 \text{ \$/unidad} = \mathbf{\$3.6}$$

El cono, araña y macho forman un solo conjunto también conocido como torpedo, este debe ser fijo. La araña se encuentra en una cavidad de la hembra intermedia por donde radialmente pasan pernos M8x20 para fijar estos elementos, donde sus costos se detallan a continuación.

$$\text{Costo}_{\text{Allen-M8}} = \text{Cantidad}_{\text{Allen-M8}} * \text{Costo}_{\text{Unitario-M8}}$$

Donde:

$\text{Costo}_{\text{Allen-M8}}$ = Costo total de pernos allen M8.

$\text{Cantidad}_{\text{Allen-M8}}$ = Cantidad de pernos para unión.

$\text{Costo}_{\text{Unitario-M8}}$ = Costo unitario de perno M8.

$$\text{Costo}_{\text{Allen-M8}} = 6 \text{ unidades} * 0.16 \text{ \$/unidad} = \mathbf{\$0.96}$$

La boquilla se une a la hembra de salida por seis pernos, la cual se fija por la unión de la brida con la hembra intermedia con seis pernos, por diseño de forma se escoge perno Allen M4x25 y su costo se detalla por la siguiente ecuación:

$$\text{Costo}_{\text{Allen-M4}} = \text{Cantidad}_{\text{Allen-M4}} * \text{Costo}_{\text{Unitario-M4}}$$

Donde:

$\text{Costo}_{\text{Allen-M4}}$ = Costo total de pernos allen M4.

$\text{Cantidad}_{\text{Allen-M4}}$ = Cantidad de pernos para unión.

$\text{Costo}_{\text{Unitario-M4}}$ = Costo unitario de perno M4.

$$\text{Costo}_{\text{Allen-M4}} = 12 \text{ unidades} * 0.10 \text{ \$/unidad} = \mathbf{\$1.20}$$

Donde el costo total de pernos en el dado es:

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{Pernos-dado}} &= \text{Costo}_{\text{Allen-M10}} + \text{Costo}_{\text{Allen-M8}} + \text{Costo}_{\text{Allen-M4}} \\ &= 3.6 + 0.96 + 1.20 = \mathbf{\$5.76} \end{aligned}$$

3.5.11 Costos total del dado

$$\begin{aligned} C_{\text{Total}} &= \text{Costo}_{\text{Boquilla}} + \text{Costo}_{\text{Plato-rompedor}} + \text{Costo}_{\text{Hembra-entrada}} \\ &\quad + \text{Costo}_{\text{Cono}} + \text{Costo}_{\text{Araña}} + \text{Costo}_{\text{Macho}} \\ &\quad + \text{Costo}_{\text{Hembra-intermedia}} + \text{Costo}_{\text{Hembra-salida}} \\ &\quad + \text{Costo}_{\text{Brida}} + \text{Costo}_{\text{Pernos-dado}} \end{aligned}$$

$$C_{\text{Beneficio-30\%}} = 0.3 * C_{\text{Total}}$$

$$C_{\text{Diseño}} = h_{\text{Diseño}} * \text{Valor}_{\text{Diseño}}$$

Donde:

C_{Total} = Costo total de piezas.

$C_{\text{Beneficio-30\%}}$ = Costo beneficio del 30%.

$C_{\text{Diseño}}$ = Costo de diseño del sistema.

$h_{\text{Diseño}}$ = Horas de diseño.

$\text{Valor}_{\text{Diseño}}$ = Valor del diseño por hora.

$$C_{\text{Total}} = 129.66 + 134.98 + 364.07 + 125.89 + 201.65 + 166.06 \\ + 166 + 318.73 + 58.40 + 5.76 = \mathbf{\$1671.2}$$

$$C_{\text{Beneficio-30\%}} = 0.3 * 1671.2 = \mathbf{\$501.36}$$

$$C_{\text{Diseño}} = 40\text{horas} * 30 \$/\text{hora} = \mathbf{\$1200}$$

$$\mathbf{\text{Total dado} = \$3372.56}$$

3.6 Costos de calentadores.

EL costo de un calentador radial se encuentra en el mercado a \$82. Se usan tres en todo el dado lo cual será **\$246**.

3.7 Costos de elementos del calibrador.

El calibrador está compuesto por tres placas metálicas que en su interior poseen algunos procesos para su elaboración, se debe tener en consideración lo siguiente:

- **Costo del material:** Costo de materia prima acero AISI P20
- **Costo de mecanización:** Fresado, taladrado, corte por hilo.
- **Costo beneficio:** Costos de 30% por trabajo.
- **Costo de diseño:** Costo del diseñador.
- **Total:** Total de costo del calibrador.

3.7.1 Placa central.

Costo de materia prima

$e = 18.4\text{mm}$ $a=155\text{mm}$ $L = 500\text{mm}$

Costo del material – 20x155mm

$$\text{CMP} = \text{PM} * \text{LM} * \text{CP}$$

Donde:

CMP = Costo materia prima.

PM = Peso del material por metro.

LM = Longitud de la pieza a mecanizar.

CP = Costo de material por peso.

$$CMP = 24 \text{ Kg/m} * 500 * 10^{-3} \text{ m} * 8 \text{ \$/Kg} = \mathbf{\$96}$$

Costo de mecanización.

$$CF = HF * C2$$

$$Ch = Hh * C4$$

Donde:

CF = Costo de fresado.

HF = Hora fresa hombre maquina.

C2 = Costo por hora de frasado.

Ch = Costo cortadora de hilo.

Hh = Hora cortadora de hilo hombre maquina.

C4 = Costo por hora de cortadora de hilo.

$$CF = 10 HF * 10.30 \text{ \$/HF} = \mathbf{\$103}$$

$$Ch = 10 Hh * 15 \text{ \$/Hh} = \mathbf{\$150}$$

Costo total de fabricación.

$$\text{Costo}_{\text{placa interior}} = CMP + CF + Cta + Ch = 96 + 103 + 150 = \mathbf{\$349}$$

3.7.2 Placa exterior

Costo de materia prima

e = 46mm a=155mm L = 500mm

Costo del material – 50x155mm

$$CMP = PM * LM * CP$$

Donde:

CMP = Costo materia prima.

PM = Peso del material por metro.

LM = Longitud de la pieza a mecanizar.

CP = Costo de material por peso.

$$CMP = 60 \text{ Kg/m} * 500 * 10^{-3} \text{ m} * 8 \text{ \$/Kg} = \mathbf{\$240}$$

Costo de mecanización.

$$CF = HF * C2$$

$$Cta = Hta * C3$$

Donde:

CF = Costo de fresado.

HF = Hora fresa hombre maquina.

C2 = Costo por hora de frizado.

Cta = Costo de taladrado.

Hta = Hora taladrado hombre maquina.

C3 = Costo por hora de frizado.

$$CF = 10 HF * 10.30 \$/HF = \$103$$

$$Cta = 8 Hta * 4.20 \$/Hta = \$33.60$$

Costo total de fabricación.

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{placa-exterior}} &= \text{CMP} + CF + Cta + Ch = 240 + 103 + 33.60 \\ &= \$376.60 \end{aligned}$$

Nota. El calibrador está formado por dos placas exteriores-Inferior/Superior.

3.7.3 Costos de elementos pequeños.

Cáncamos.

$$\text{Costo}_{\text{Cáncamos}} = \text{Cantidad}_{\text{Cáncamo}} * \text{Costo}_{\text{Unitario-Cáncamo}}$$

Donde:

$\text{Costo}_{\text{Cáncamos}}$ = Costo total de cáncamos.

$\text{Cantidad}_{\text{Cáncamo}}$ = Cantidad de cáncamos.

$\text{Costo}_{\text{Unitario-Cáncamo}}$ = Costo unitario de cada cáncamo.

$$\text{Costo}_{\text{Cáncamos}} = 2 \text{ unidades} * 1.50 \$/\text{unidad} = \$3.00$$

Conector macho.

$$\text{Costo}_{\text{Conectores}} = \text{Cantidad}_{\text{Conector}} * \text{Costo}_{\text{Unitario-Conector}}$$

Donde:

$\text{Costo}_{\text{Conectores}}$ = Costo total de conectadores.

$\text{Cantidad}_{\text{Conector}} = \text{Cantidad de conector}$

$\text{Costo}_{\text{Unitario-Conector}} = \text{Costo unitario de cada conector.}$

$$\text{Costo}_{\text{Conectores}} = 20 \text{ unidades} * 1.50 \text{ \$/unidad} = \mathbf{\$30.00}$$

Manguera conector.

$$\text{Costo}_{\text{Mangueras}} = \text{Cantidad}_{\text{Mangueras}} * \text{Costo}_{\text{Unitario-Manguera}}$$

Donde:

$\text{Costo}_{\text{Mangueras}} = \text{Costo total de mangueras.}$

$\text{Cantidad}_{\text{Mangueras}} = \text{Cantidad de manguera.}$

$\text{Costo}_{\text{Unitario-Manguera}} = \text{Costo unitario de cada manguera.}$

$$\text{Costo}_{\text{Mangueras}} = 5 \text{ unidades} * 0.50 \text{ \$/unidad} = \mathbf{\$2.50}$$

Perno Allen M8x70

$$\text{Costo}_{\text{Allen-M8}} = \text{Cantidad}_{\text{Allen-M8}} * \text{Costo}_{\text{Unitario-M8}}$$

Donde:

$\text{Costo}_{\text{Allen-M8}} = \text{Costo total de pernos allen M8.}$

$\text{Cantidad}_{\text{Allen-M8}} = \text{Cantidad de pernos para unión.}$

$\text{Costo}_{\text{Unitario-M8}} = \text{Costo unitario de perno M8.}$

$$\text{Costo}_{\text{Allen-M8}} = 8 \text{ unidades} * 0.20 \text{ \$/unidad} = \mathbf{\$1.60}$$

Pernos Allen M10x70

$$\text{Costo}_{\text{Allen-M10}} = \text{Cantidad}_{\text{Allen-M10}} * \text{Costo}_{\text{Unitario-M10}}$$

Donde:

$\text{Costo}_{\text{Allen-M10}} = \text{Costo total de pernos allen M10.}$

$\text{Cantidad}_{\text{Allen-M10}} = \text{Cantidad de pernos para unión.}$

$\text{Costo}_{\text{Unitario-M10}} = \text{Costo unitario de perno M10.}$

$$\text{Costo}_{\text{Allen-M10}} = 4 \text{ unidades} * 0.45 \text{ \$/unidad} = \mathbf{\$1.80}$$

Donde el costo total de elementos pequeños es:

$$\begin{aligned} \text{Costo}_{\text{pequeño}} &= \text{Costo}_{\text{Cáncamos}} + \text{Costo}_{\text{Conectores}} + \text{Costo}_{\text{Mangueras}} \\ &+ \text{Costo}_{\text{Allen-M8}} + \text{Costo}_{\text{Allen-M10}} \\ &= 3 + 30 + 2.50 + 1.60 + 1.80 = \mathbf{\$38.90} \end{aligned}$$

3.7.4 Costo total del calibrador.

$$C_{\text{Total}} = \text{Costo}_{\text{placa-interior}} + 2 * \text{Costo}_{\text{placa-exterior}} + \text{Costo}_{\text{pequeño}}$$

$$C_{\text{Benefico-30\%}} = 0.3 * C_{\text{Total}}$$

$$C_{\text{Diseño}} = h_{\text{Diseño}} * \text{Valor}_{\text{Diseño}}$$

Donde:

C_{Total} = Costo total de 3 piezas.

$C_{\text{Benefico-30\%}}$ = Costo beneficio del 30%.

$C_{\text{Diseño}}$ = Costo de diseño del sistema.

$h_{\text{Diseño}}$ = Horas de diseño.

$\text{Valor}_{\text{Diseño}}$ = Valor del diseño por hora.

$$C_{\text{Total}} = 349 + 2 * 376.60 + 38.90 = \mathbf{\$1141.10}$$

$$C_{\text{Benefico-30\%}} = 0.3 * 1141.10 = \mathbf{\$342.33}$$

$$C_{\text{Diseño}} = 10\text{horas} * 30 \text{ \$/hora} = \mathbf{\$300}$$

$$\mathbf{\text{Total calibrador} = \$1783.43}$$

3.8 Costos de elementos de tina de enfriamiento.

Las dimensiones faltantes como altura y ancho son diseñadas de acuerdo a los elementos que lo conforman en el interior de la tina, en la Tabla 8 se describe a continuación el alto del diseño de la tina de enfriamiento.

Tabla 8. Estimación del alto de la tina de enfriamiento.

	Longitud diagonal a 45°	Longitud vertical
1	Tubería ½ pulgada = 12.7mm	12.7sen45° = 8.98mm
2	Distancia del aspersor y agarre de tubería en T. 60mm	60sen45° = 42,43mm
3	Longitud de chorro de agua 100mm	100sen45° = 70,7mm
4	ancho de canaleta Y	2+2x10,5 = 23mm
5	Diametro de rodillo	30mm
6	Separacion entre rodillo y nivel de agua	10mm
7	Nivel de agua	50mm
	Total	235mm

Para tener una longitud de ancho de la tina se procede a coger las tres primeras filas de la Tabla 6 lo cual por geometría y ángulo de 45° se tendrá el mismo valor para la coordenada horizontal, también se debe sumar la mitad de la canaleta (10mm), quedando un valor de 132mm recordando que esto es solo para la mitad del ancho de la tina y que por simetría se tendrá un total de 264mm.

La tina tendrá un espesor de 3mm, lo cual se tendrá un diseño de largo, alto y ancho (2006, 238, 270) mm respectivamente y tendrá una tapa para que no se escape el agua de la aspersion. La Fig. Muestra el diseño de la tina de enfriamiento con sus respectivos elementos, los planos se encuentran en la parte de anexos.

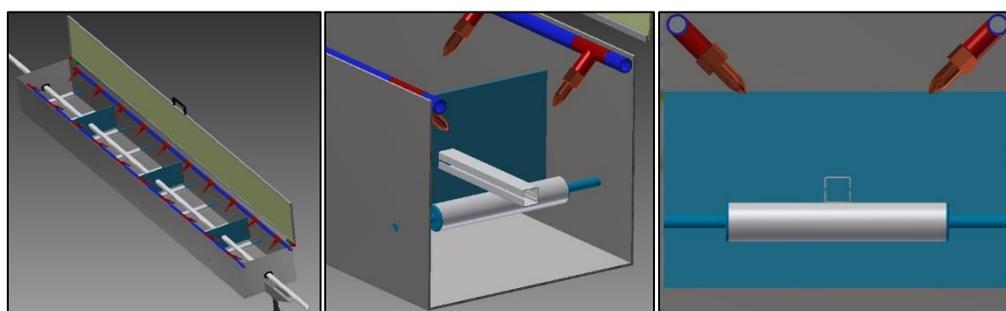


Figura 3.1 Tina de enfriamiento, diseño.

3.8.1 Costos de total de la tina de enfriamiento.

El costo total de la tina se muestra en la tabla 9 a continuación:

Tabla 9. Costo total de la tina de enfriamiento.

Nombre de pieza	Cantidad	Costo por unidad \$	Valor de elementos \$
Tina	1	110	110
Rodillo	10	8	80
Placa de tina	3	28	84
Caucho	2	8	16
Recogedor de agua	1	15	15
Guia hembra	2	1,5	3
Guia macho	2	1,5	3
Tapa de tina	1	25	25
Manguito	1	3	3
Tubería	20	0,8	16
Tubería T	20	1,7	34
Aspersor	20	3,25	65
Tapon	2	0,6	1,2
TOTAL			455,2

CAPÍTULO 4

4. DISCUSIÓN Y CONCLUSIONES

4.1 Conclusiones

Se pudo identificar un esquema que permite diseñar un molde de extrusión de plástico (dado, calibrador y tina de enfriamiento) con la finalidad de llevarlo a su realización.

Estas partes son traídas del exterior ya que en la actualidad no existen empresas dedicadas a la elaboración en serie de estas partes, lo cual encarece el envío y demoras en el tiempo en llegar al país, teniendo un costo razonable al momento de necesitar uno.

En el país contamos con mano calificada para la construcción de estas partes, también la materia prima está al alcance y existen tiendas donde se pueden adquirir distintos accesorios con mayor facilidad, donde sus costos son considerables para la elaboración de estas piezas, el acero que servirá para la elaboración es el AISI P20 ya que cumple con los estándares de diseño y tiene un costo bajo considerado con otros.

El polímero plastificado debe de pasar por donde no se adhiera a las paredes de piezas y para esto se debe considerar un espesor de cromado de 100 a 200 μ m en las cavidades del dado, esto ayuda a que el polímero no se degrade en su traslado al interior del dado.

Para el caso de estudio se pudo determinar que el diseño de estos elementos tiene una base principal en lo que se desea extruir, teniendo en consideración las dimensiones del producto que para este caso es una canaleta y de ahí se sacaron las dimensiones para obtener el GAP (4.87mm) ya que de ahí se procede a tener una idea más clara de cómo

pueden ser diseñados los elementos interiores sin perder esta brecha o abertura por ecuaciones muy básicas.

Al momento de mecanizar estas piezas se considera uno que otro detalle, esto es que la mayoría de sus elementos son de revolución lo que implica un trabajo mayor en torno, también se debe considerar el fresado y el corte por hilo, ya que de estos depende la fabricación de las piezas del calibrador, el cual hace que la temperatura disminuya y le da la textura final a la pieza a extruir y por último la tina de enfriamiento que con costos muy bajos y usando agua como refrigerante se puede adquirir para este proceso, por lo que el país si cuenta con este tipo de máquinas de herramienta, gente capacitada y accesorios.

4.2 Recomendaciones

Para establecer un buen diseño de moldes de extrusión (dado, calibrador y tina de enfriamiento) se debe tener en cuenta las siguientes recomendaciones.

No dejar material plástico dentro del molde ya que esto hace que sus piezas sean difíciles de desensamblar al querer darle un mantenimiento y deterretir el plástico para que salga hace que se queme la capa de cromo que va por dentro.

Al darle un mantenimiento se debe hacer una medición de espesor de cromado con un micrómetro, ya que esto garantiza que el polímero no se adhiera a las paredes del molde.

En el diseño de moldes de extrusión es de importancia primero la sección transversal de la pieza a extruir ya que esta garantiza las dimensiones de los elementos del dado.

Se podría diseñar la canaleta hembra pero se tendría que cambiar las piezas macho y la hembra de salida cambiando sus dimensiones.

Se debe tener elementos de piezas de fácil acceso ya que no sufran forcejeos y golpes en el ensamblaje o des ensamblaje.

Se recomienda poner una gran cantidad de pernos en la sujeción entre dos elementos para que así no se escape el polímero plastificado.

Se debe tener en consideración los respectivos calentadores y material del dado para tener una adecuada conducción de calor y así cumplir con los parámetros adecuados que demanda la plastificación.

EL calibrador se podría fabricar de aluminio por la facilidad para disipar calor pero se tendría que tener en cuenta el costo que conlleva y lo abrasivo del polímero a desgastarlo.

El calibrador se podría también fabricar de acero A36, esto bajaría el costo pero se tendría que considerar el espesor de cromado para que no se degrade el plástico a su paso.

La tina podría ser fabricada para que la canaleta a su paso sea sumergida y enfriada al máximo, esto es de acuerdo al diseñador.

Al abrir la llave para que salga agua por los aspersores se debe regular hasta que salga lo establecido.

BIBLIOGRAFÍA

1. Walter Michaeli, "Extrusion Dies for Plastics and Rubber, Design and Engineering Computations, 2nd Edition".
2. Tim Osswald, Enrique Giménez "Procesado de Polímeros Fundamentos" (2008) <<<http://iq.ua.es/TPO/Tema4.pdf>>>
3. American Wire Gauge Standard <<<https://www.electronicafacil.net/tutoriales/Valores-normalizados-cables-AWG.php>>>
4. Convert-me, 1996 <<<http://www.convert-me.com/es/convert/density/denscopp.html>>>
5. Gutmann Aluminium Draht GmbH <<<http://www.gutmann-group.com/draht/newsite/es/quickfinder/metergewichte.html#>>>>>
6. Fiuba, Materiales Industriales-Polímeros <<<http://materias.fi.uba.ar/7201/POLIMEROS-I.pdf>>>
7. Robert L. Norton, "DISEÑO DE MAQUINAS, Cuarta edición", Pearson.
8. Frank Incropera, David P. Dewitt, "Fundamentos de transferencia de calor, Cuarta edición".
9. Milivoje M. Kostic, Loius G. Reifschneider, "Design of Extrusion Dies" <<http://www.kostic.niu.edu/extrusion_die_design-echp-1.pdf>>
10. Tube Gullu, "Linea de extrusión de perfiles de PVC" <<<http://www.gullutube.pk/watch/ul1YSbgGxl0>>>
11. ISSN: 1943-8095- Georgios N. Kouzilos, Angelos P. Markopoulos and Dimitrios E. Manolakos, "Manufacturing and Modeling of an Extrusion Die Spider Head for the Production of HDPE Tubes, Volumen 6" <<http://www.academia.edu/10220114/Manufacturing_and_Modeling_of_an_Extrusion_Die_Spider_Head_for_the_Production_of_HDPE_Tubes>>
12. Polietileno de Alta Densidad (PEAD) <<<http://www.eis.uva.es/~macromol/curso07-08/pe/polietileno%20de%20alta%20densidad.htm>>>

13. Hector Touzet, PLAEN-Plásticos, Envasados y Afines (2011)
<<<https://plaen.blogspot.com/2011/06/como-dimensionar-y-calibrar-perfiles.html>>>
14. Plastic Technology
<<<http://www.ptonline.com/knowledgecenter/Profile-Extrusion/Technical-Articles/Improved-Dry-Vacuum-Calibration-Tables>>>
15. J. M. Nobrega, O. S. Carneiro, J. A. Covas, F. T. Pinho and P. J. Oliveira, "Design of Calibrators for Extruded Profiles Part I: Modeling the Thermal Interchanges, Vol. 44, No. 12" (Portugal, 2004)
<<<http://paginas.fe.up.pt/ceft/pdfs/PolEngSci2004.pdf>>>
16. J. M. Nobrega, O. S. Carneiro, J. A. Covas, F. T. Pinho and P. J. Oliveira, "Design of Calibrators for Extruded Profiles Part I: Modeling the Thermal Interchanges, Vol. 44, No. 12" (Portugal)
<<<https://web.fe.up.pt/~fpinho/pdfs/PPS19.pdf>>>
17. Janusz Sikora, "Design of Extrusion Heads"
<<<http://bc.pollub.pl/Content/101/Design+of+Extrusion+Heads.pdf>>>
18. Spraying Systems Co.
<<<http://www.spray.com/sprayware/sprayware.aspx>>>
19. Calentador de Banda Chief BC27457A
<<http://www.ebay.com/itm/Calentador-de-banda-Chief-BC27457A-Big-de-750-watios-y-240-voltios-1-1-2-de-ancho-x-6-1-4-ID-Nuevo-/272223696517?_ul=BO>>
20. WATTCO, "Band Heaters components parts Manual"
<<http://wattco.mx/files/product/catalogpdf/Band_Heaters_1164720301.pdf>>
21. KraussMaffei Berstorff, "Extrusion de tubos perfecta, Cabezal para el procesamiento de PVC"
<<http://www.kraussmaffeiberstorff.com/media/files/kmdownloadlocal/es/EXT_BR_PVC_RK_es.pdf>>
22. UNE-EN ISO 1452- AENOR, "Sistemas de canalización de materiales plásticos para conducción de agua y para saneamiento enterrado o aéreo con presión. Poli (cloruro de vinilo) no plastificado (PVC-U)", (España, 2010)

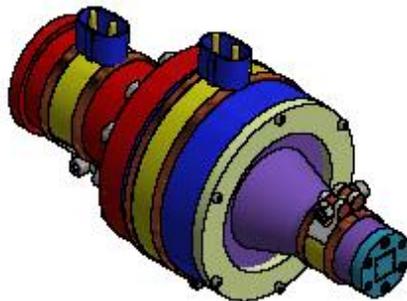
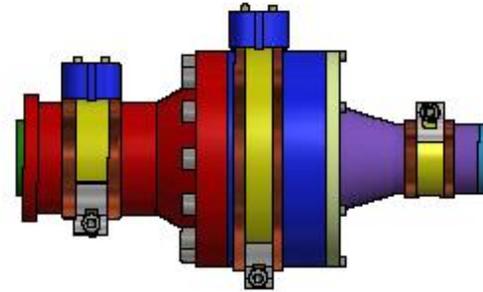
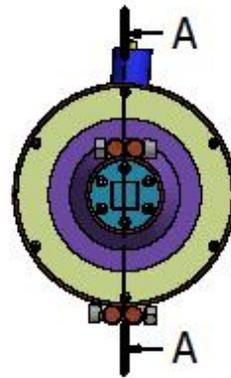
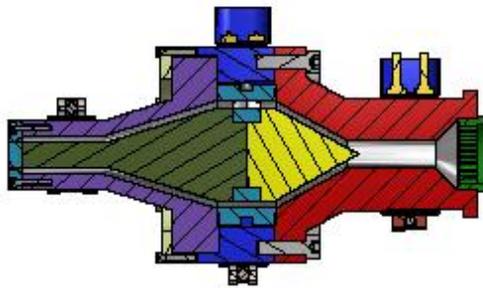
<<http://www.aenor.es/aenor/normas/normas/fichanorma.asp?tipo=N&codigo=N0045982#.V8y_tE3hCM8>>

23. Hubei Gaoxin WPC Extrusion Co.ltd- Product Catalog
<<<http://sanmumould.diytrade.com/sdp/558646/4/pl-2897166/0.html>>>
24. KAMCO ALUMINIUM SDN BHD, “Cutomised Extrusion World” (Kuala Lumpur, Malaysia).
<<<http://www.kamcoaluminium.com/product-catalog/customised/cutomised-extrusion-mould-detail>>>
25. Bhavesh Viramagama. India Mart, “Ashutosh Industries” (Ahmedabad, Gujarat) <<<http://www.indiamart.com/ashutosh-industries-ahmedabad/breaker-plate.html>>>
26. E.B.E.-TECH (Extrusion Blowmoulding Equipment), “Head Equipment” (Gemany) <<<http://www.ebe-tech.com/en/Extrusion-heads/Head-Equipment/12-holder-Torpedo-fuer-BKD-51.html>>>
27. Giorgos Kouzilos, Dimitrios Manilakos, Angelos P. Markopoulos, 2015. Research Gate “Manufacturing and Modeling of an Extrusion Die Spider Head for the Production of HDPE Tubes” <<https://www.researchgate.net/publication/269132085_Manufacturing_and_Modeling_of_an_Extrusion_Die_Spider_Head_for_the_Production_of_HDPE_Tubes>>
28. Si kora, Janusz. Pollub, “Design of Extrusion Heads” <<<http://bc.pollub.pl/Content/101/Design+of+Extrusion+Heads.pdf>>>
29. Uddeholm, “Die Steel and Components for Extrusion” (SAPA, Sweden) <<<http://www.uddeholm.ee/english/files/extrusiontooling-english.pdf>>>
30. Giorgos Kouzilos, Dimitrios Manilakos, Angelos P. Markopoulos, 2015. Research Gate. “Manufacturing and Modeling of an Extrusion Die Spider Head for the Production of HDPE Tubes” <<https://www.researchgate.net/publication/269132085_Manufacturing_and_Modeling_of_an_Extrusion_Die_Spider_Head_for_the_Production_of_HDPE_Tubes>>

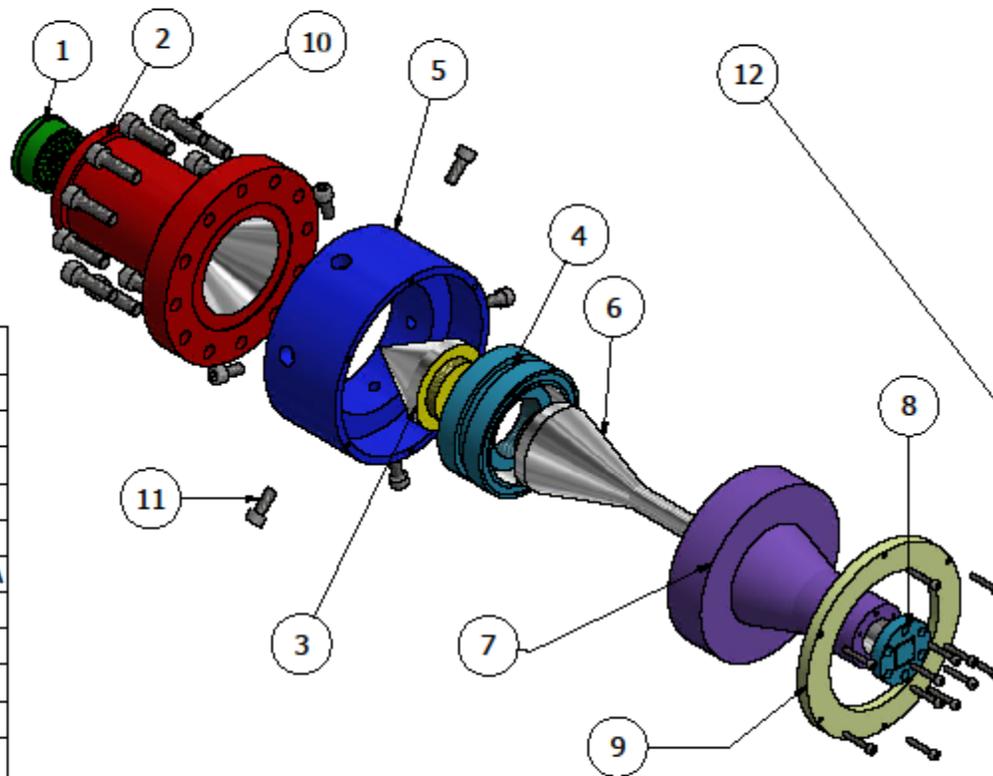
31. Bripetrol, “Tipos de Bridas” Argentina.
<<<http://www.bripetrol.com.ar/bridadas.html>>>
32. IMDICO (Importadora y Distribuidora Corona), “Pernos”
<<<http://www.imdico.com/productos/pernos/perno-socket-allen>>>
33. Direct Industry, Acim Jouanin.
<<<http://www.directindustry.com/prod/acim-jouanin-63815.html>>>
34. Ortega, Ana. TranfCalor, “Transferencia de Calor I UPTAG”, España <<<http://transfcalor1iutag.blogspot.com>>>
35. Patel, Pravin. India Mart, “Product & Services” (Ahmedabad, Gujarat) <<<http://www.indiamart.com/pictrex-kalol/>>>
36. Gavilánez, Nix. Procesos de Manufactura, “Procesos de Conformación e Plásticos”, 2013
<<<http://procesosdemanufacturaepoch.blogspot.com/2013/05/procesos-de-conformacion-de-plasticos.html?view=flipcard>>>
37. Plastic Technology, “Profile Extrusion Equipment”
<<<http://www.ptonline.com/knowledgecenter/Profile-Extrusion/Profile-Extrusion-Equipment>>>
38. Ingenieros Consultores S.L. “Tablas: Características de Tuberías”
<<<http://www.nebrija.es/areas/material/Superior/TermicyFluidos/Tablas2.pdf>>>

PLANOS ESQUEMÁTICOS

A-A (1:4)



MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Emsamble - Dado de extrusión				No.°
1:4					1

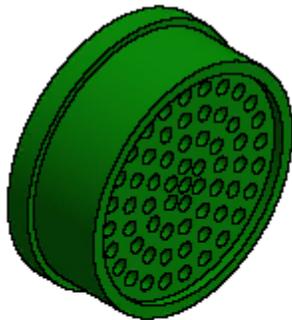
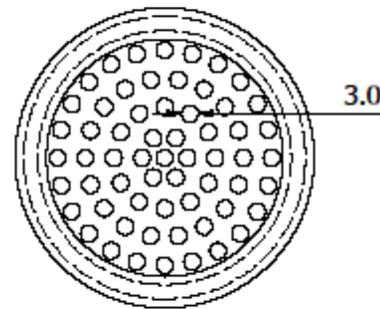
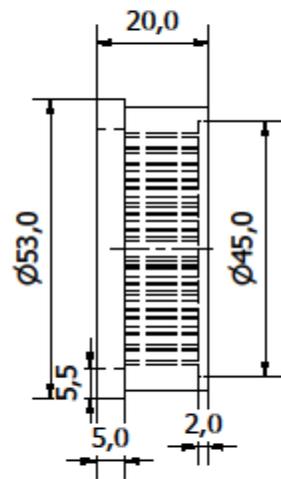


LISTA DE PIEZAS

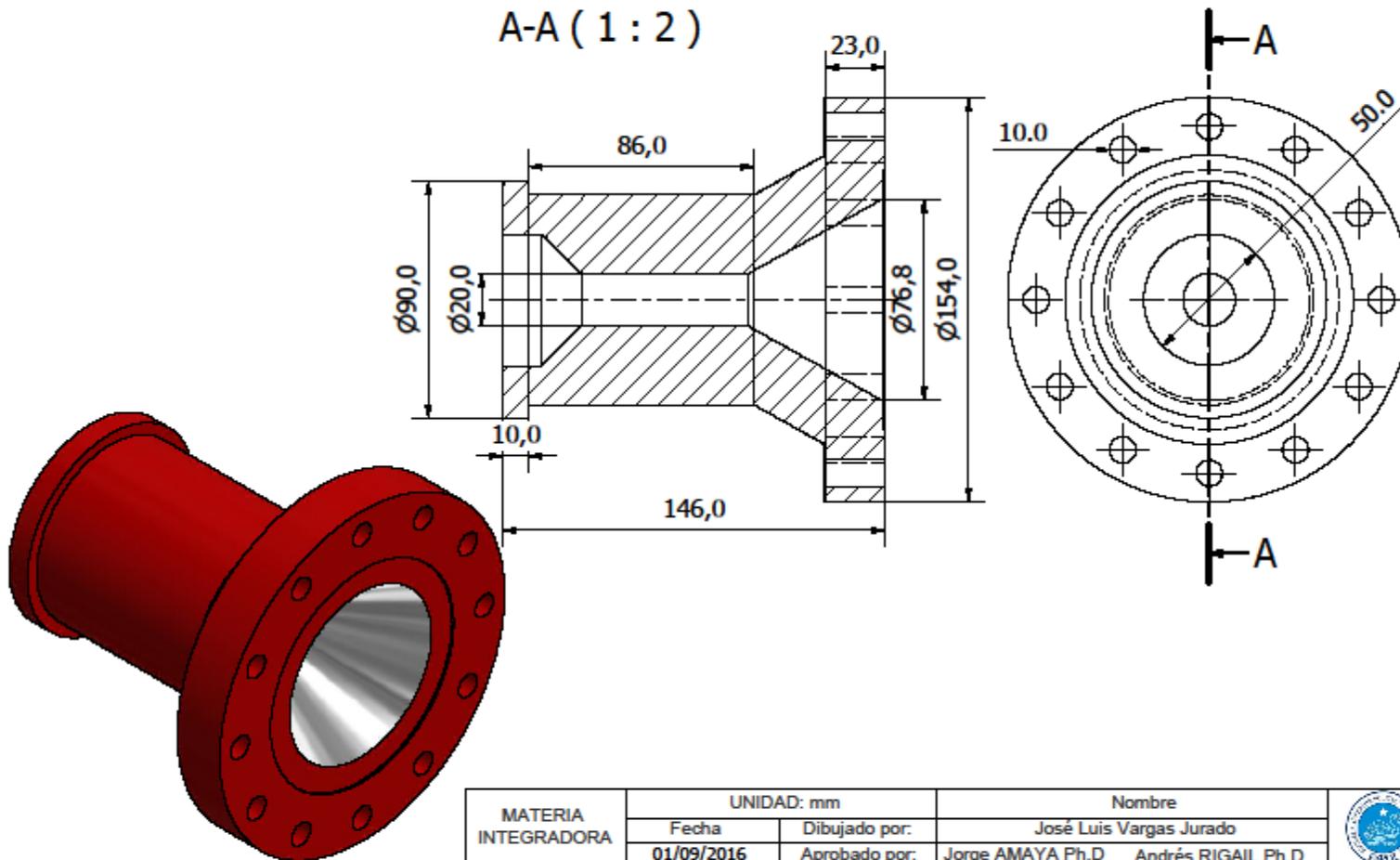
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	PLATOROMPEDOR
2	1	HEMBRA-ENTRADA
3	1	CONO
4	1	ARAÑA
5	1	HEMBRA-INTERMEDIA
6	1	MACHO
7	1	HEMBRA-SALIDA
8	1	BOQUILLA
9	1	BRIDA
10	12	PERNO-ALLEN - M10x1,5 x 35
11	6	PERNO-ALLEN- M8 x 20
12	12	PERNO-ALLEN - M4 x 25

MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre	
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado	
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D
Escala:	0.25:1			No.°
Despiece - Dado				2

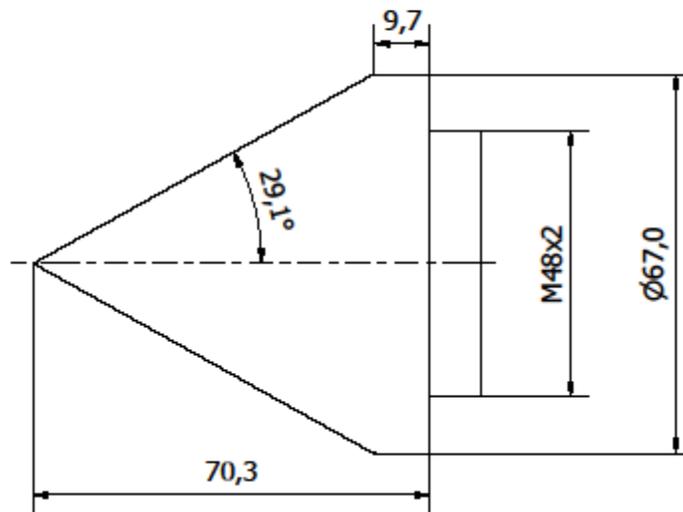
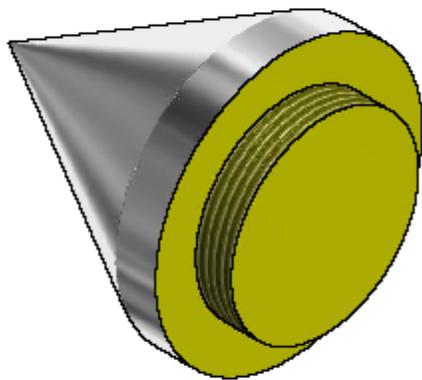




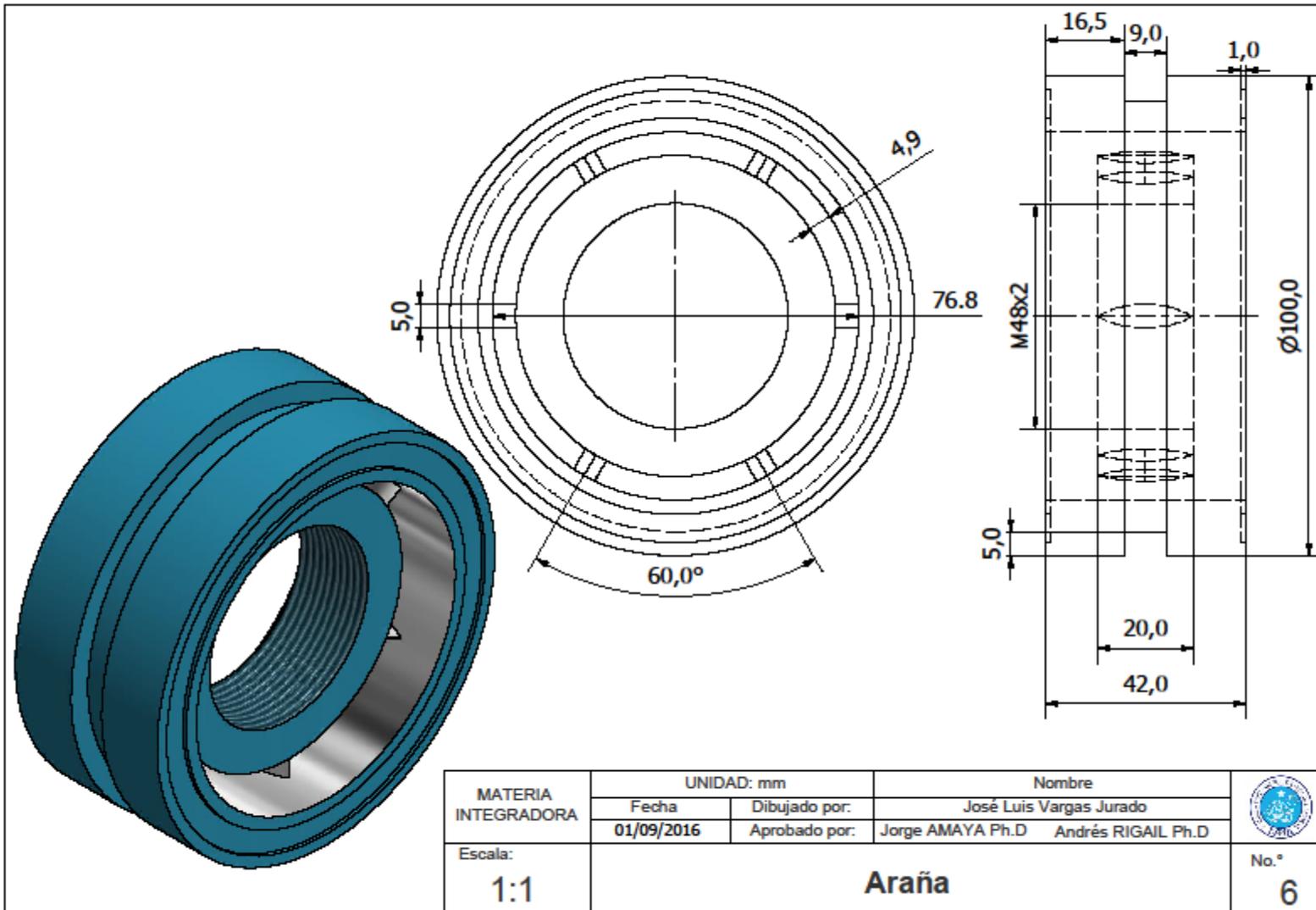
MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Plato rompedor				No.° 3

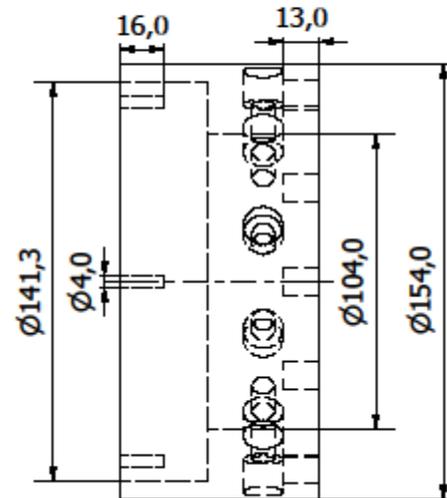
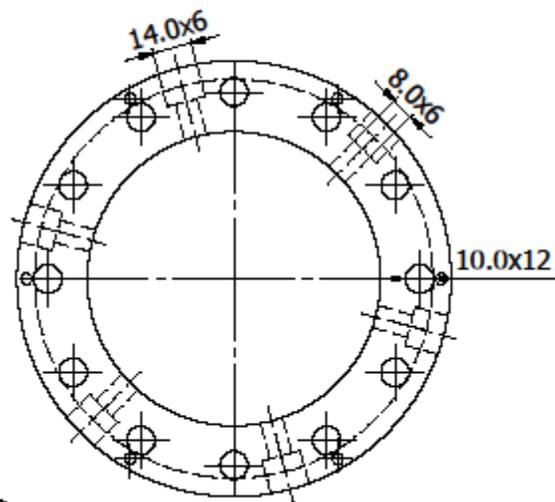


MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Hembra de entrada				No.°
1:2					4

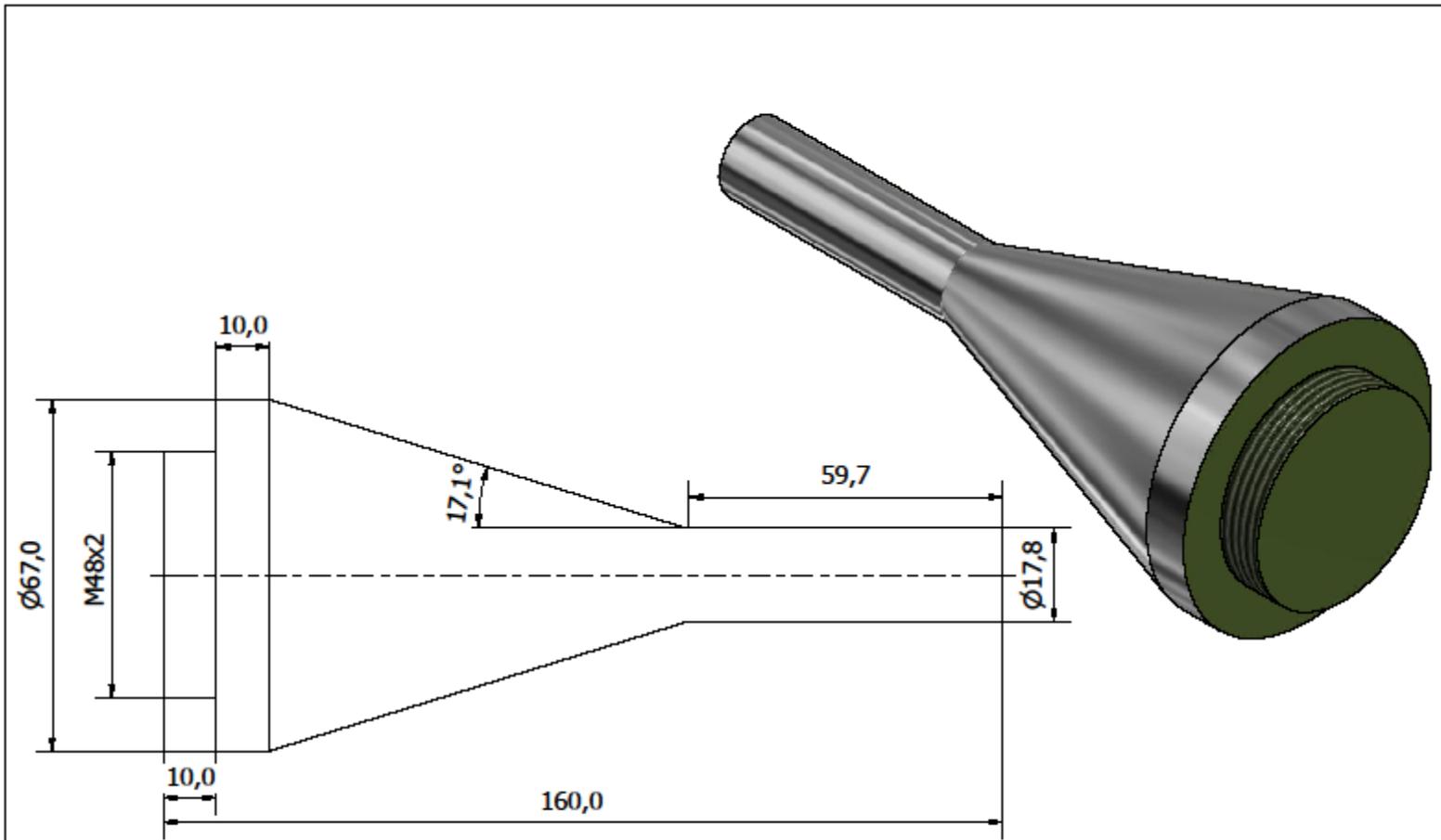


MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Cono				No.°
1:1					5

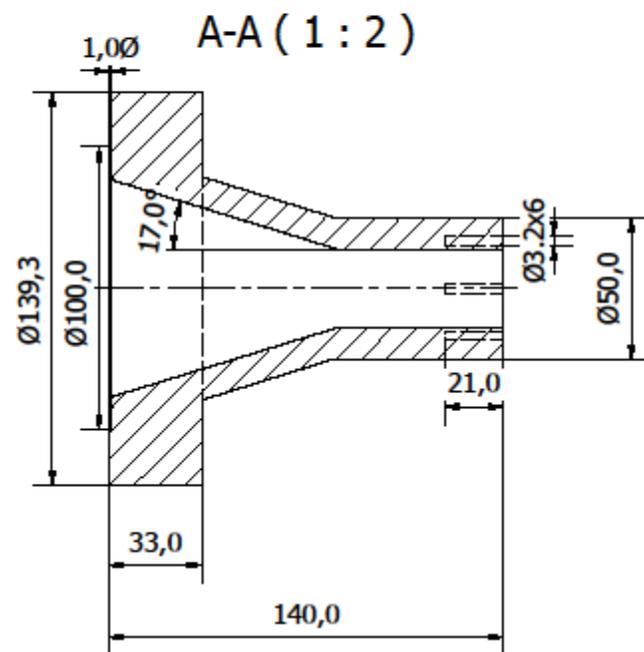
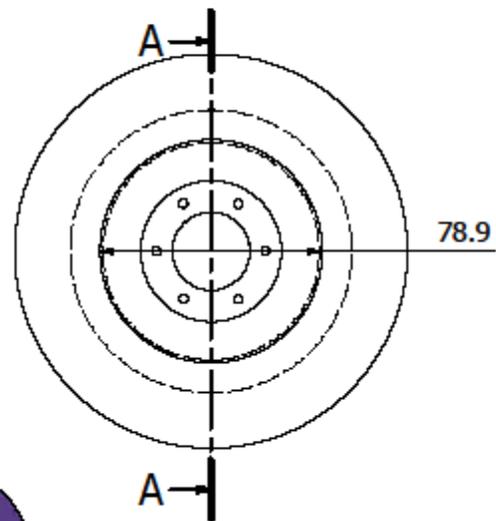
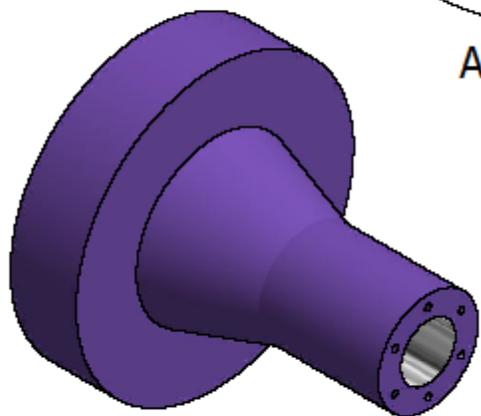




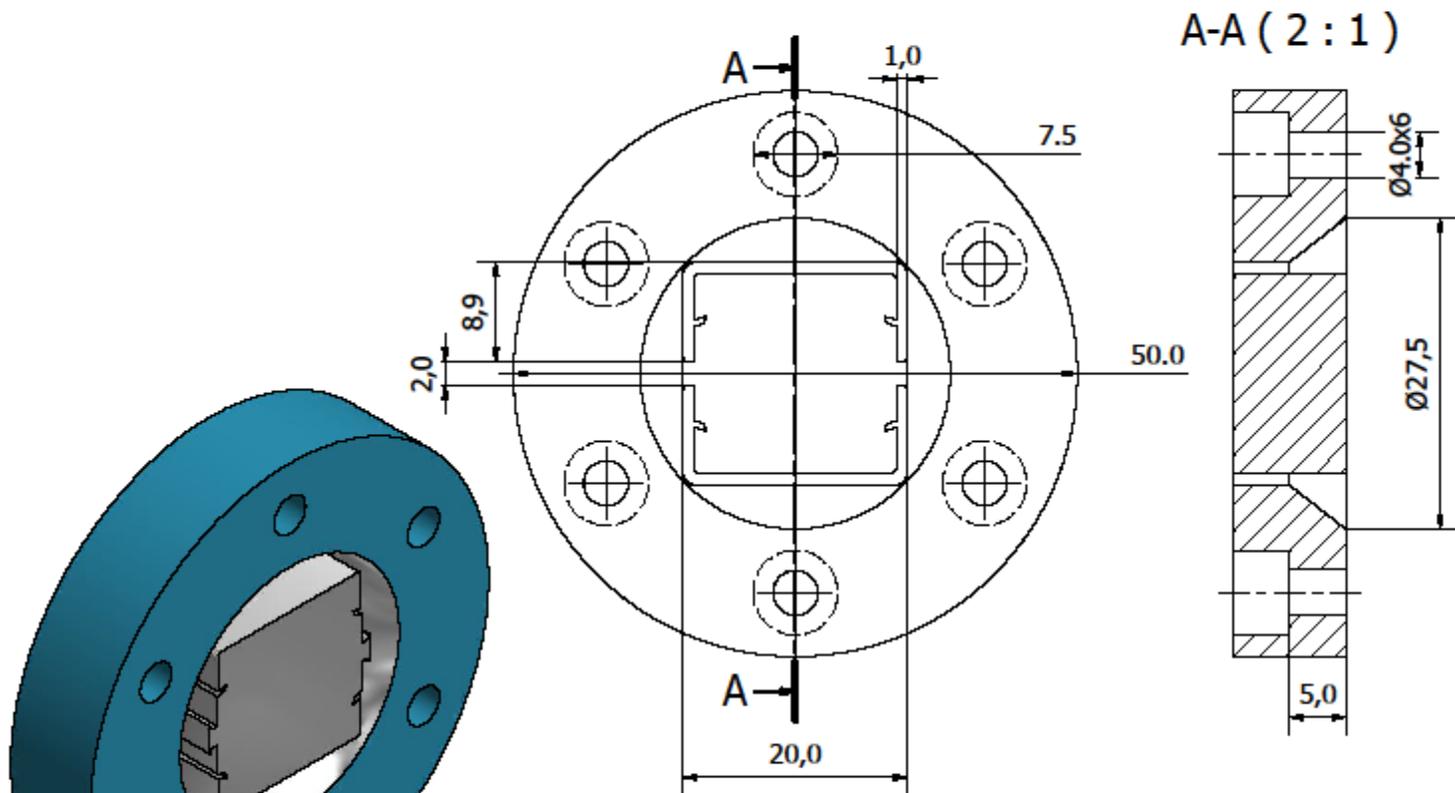
MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Hembra intermedia				No.° 7



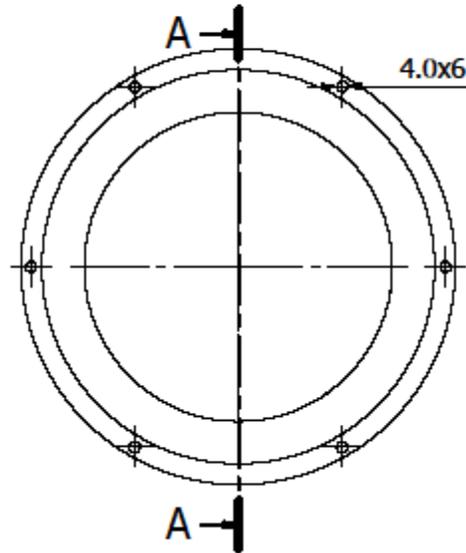
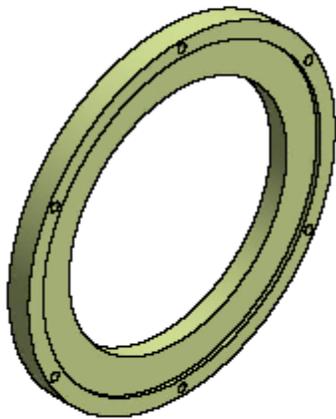
MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Macho				No.°
1:1					8



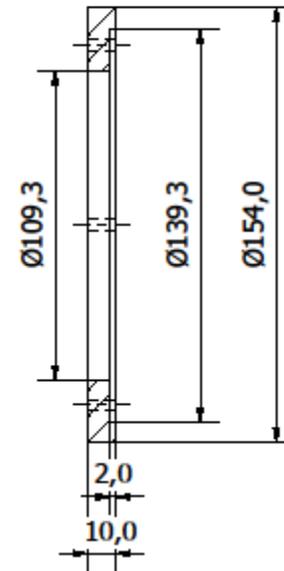
MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Hembra de salida				No.°
1:2					9



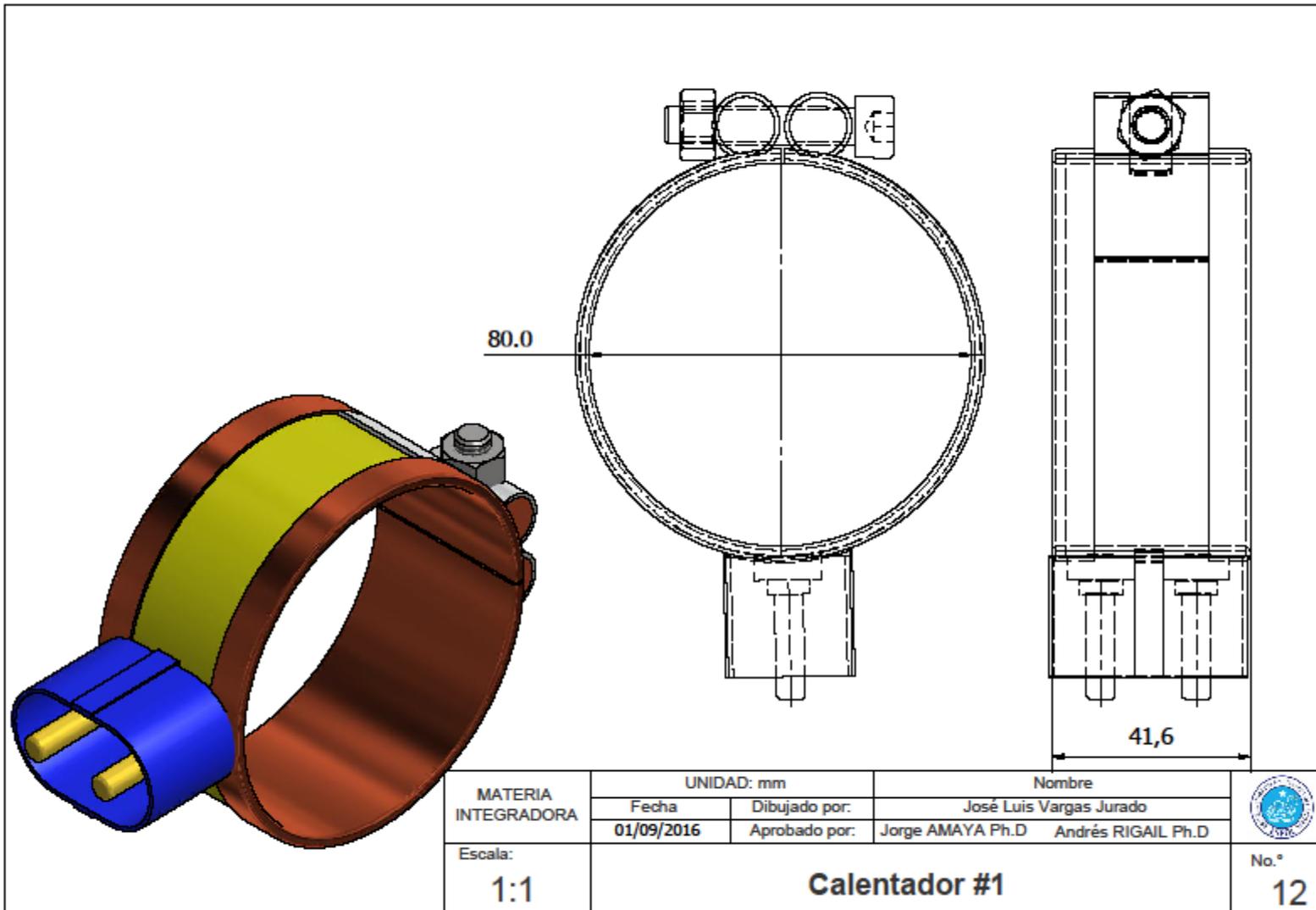
MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Boquilla				No.°
2:1					10

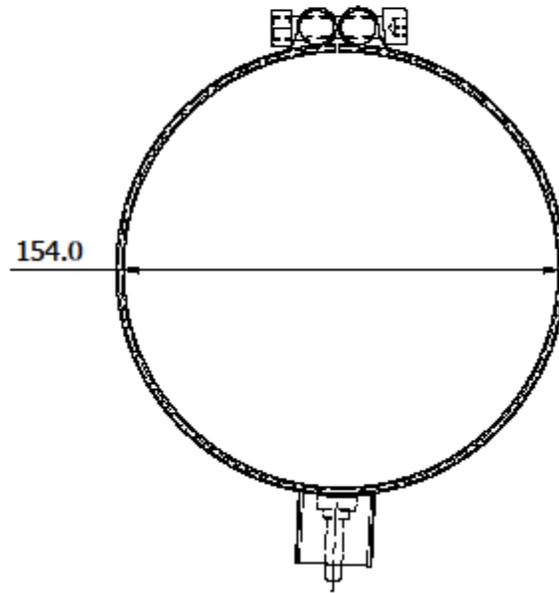
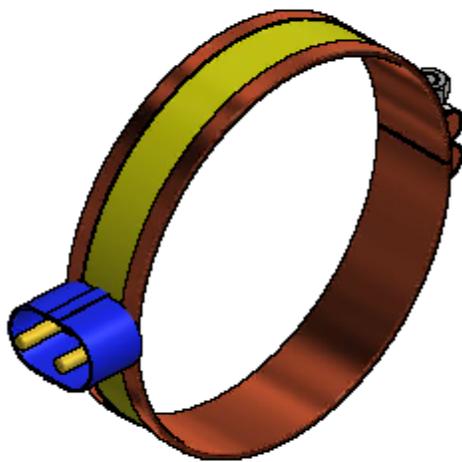


A-A (1 : 2)

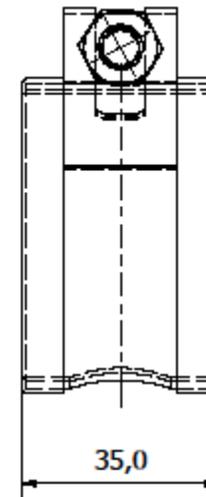
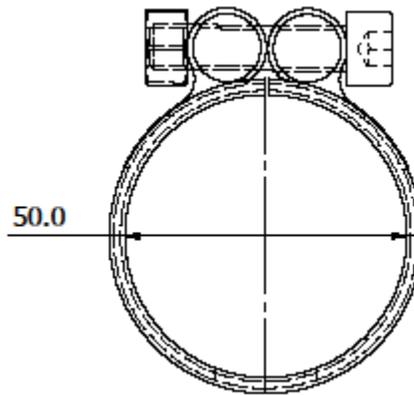
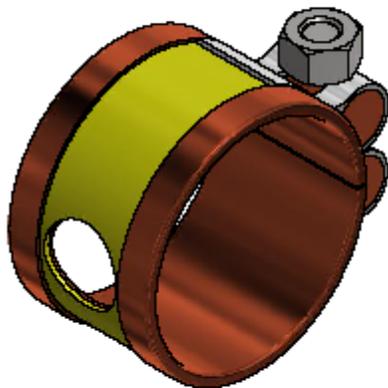


MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Brida				No.° 11



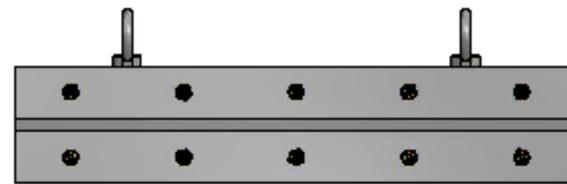
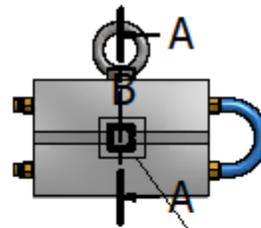
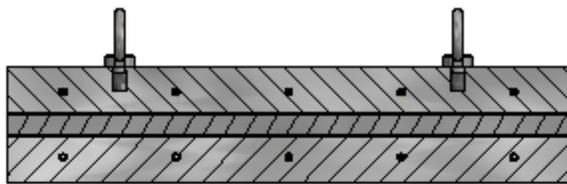


MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Calentador #2				No.°
1:2					13

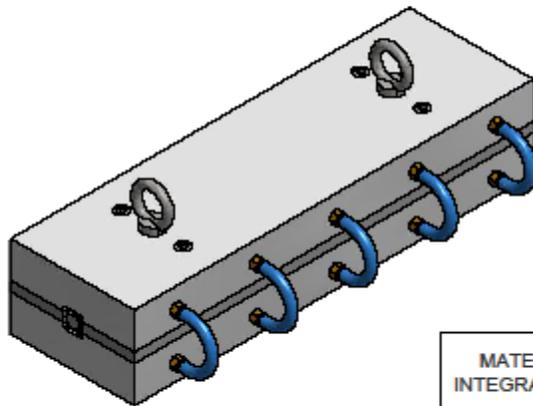
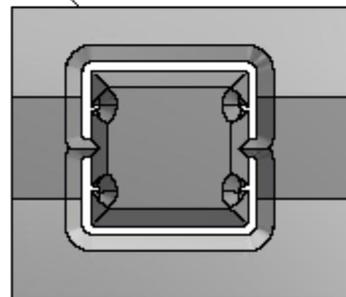


MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Calentador #3				No.°
1:1					14

A-A (0.20 : 1)

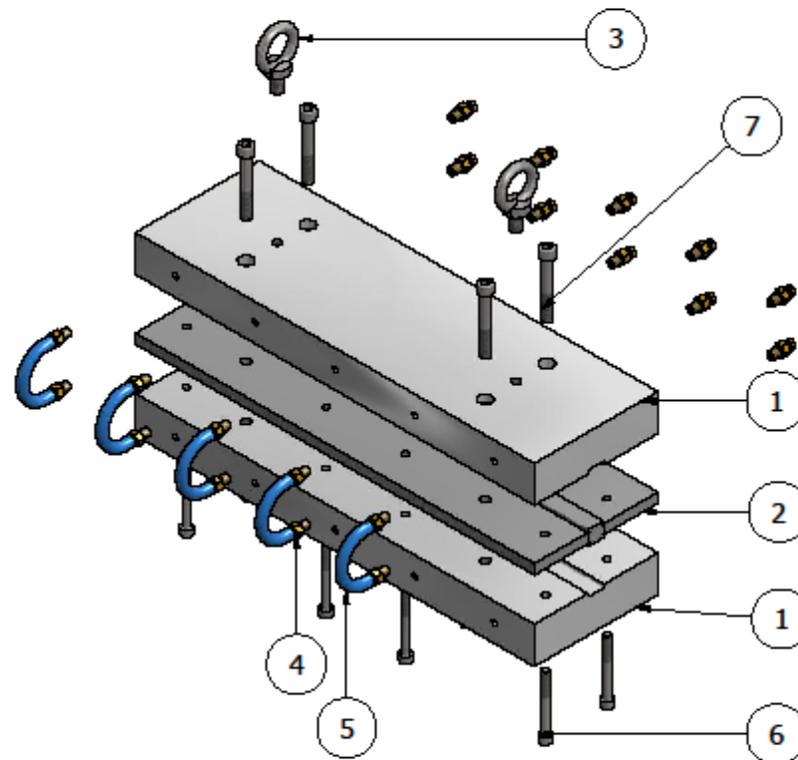


B (1.5 : 1)

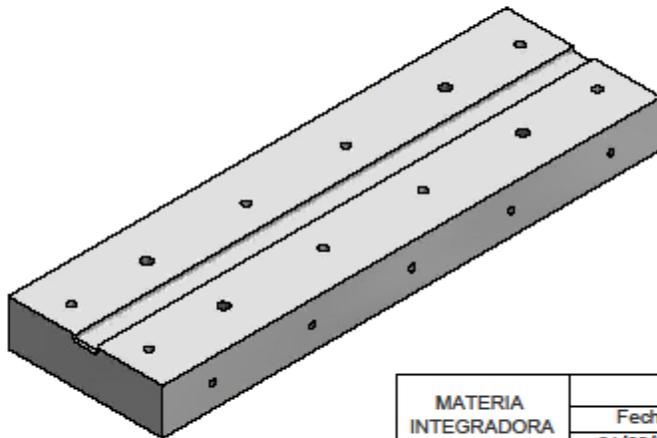
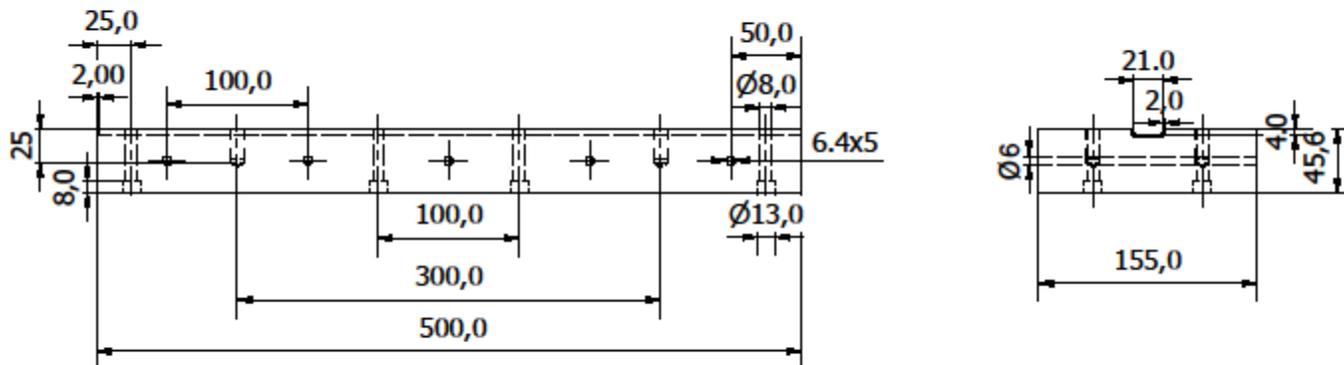


MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre	
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado	
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala: 0.20:1	Ensamble - calibrador			No.° 15

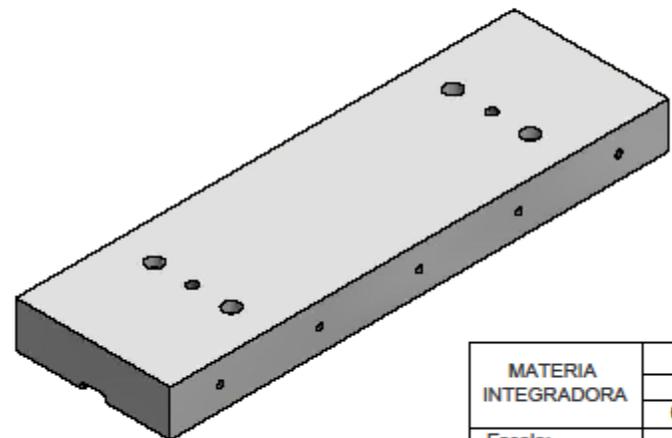
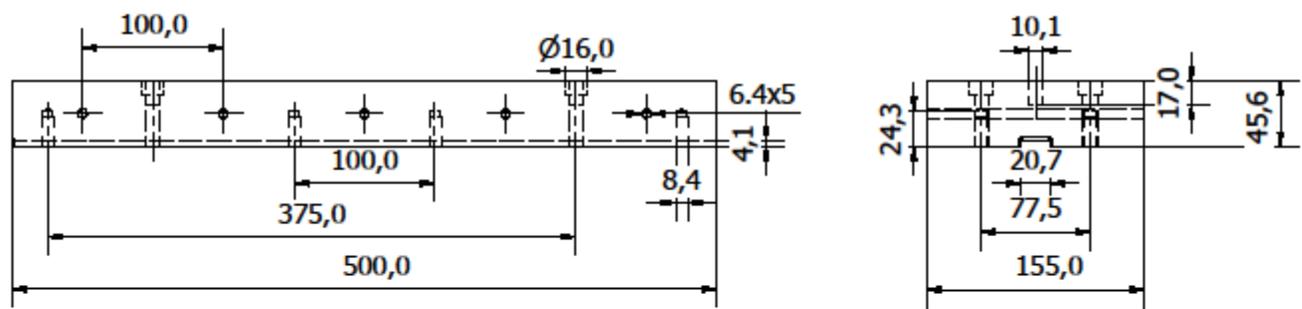
LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	2	Calibrador-Inferior/Superior
2	1	Calibrador-Central
3	2	Cancamo - M12
4	20	Conector macho 1/8in
5	5	Manguera-d1/8inxL4in
6	8	Perno-Allen - M8 x 70
7	4	Perno-Allen - M10 x 70



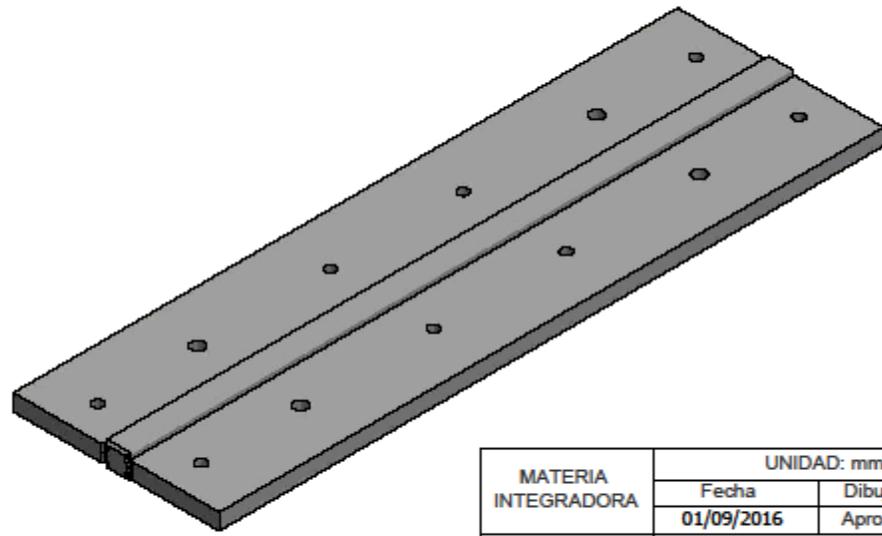
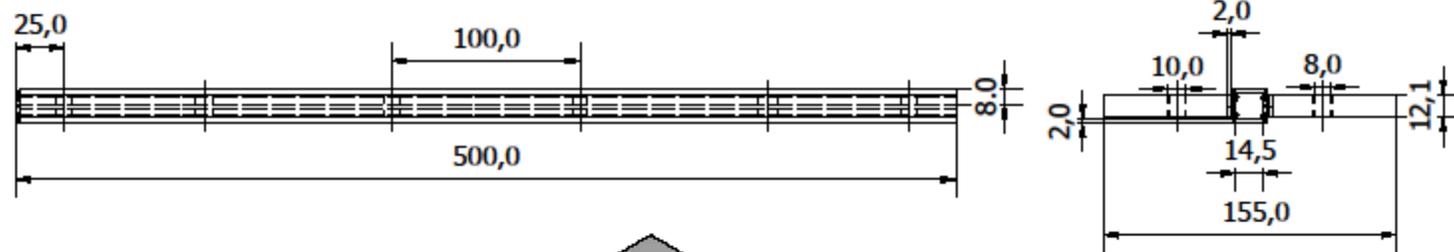
MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Despiece - calibrador				No.°
0.20:1					16



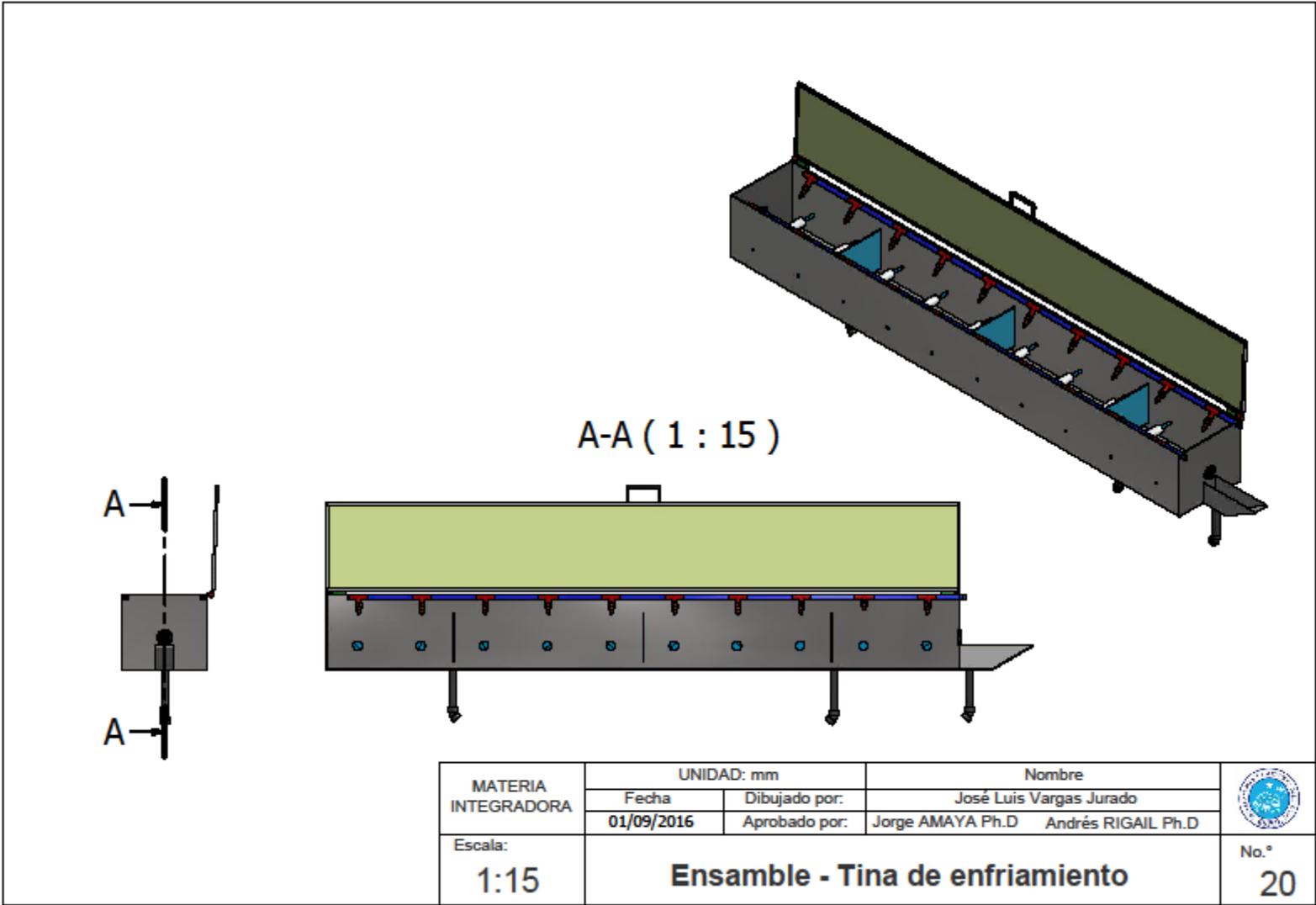
MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	1:4				No.°
Calibrador-Exterior inferior					17



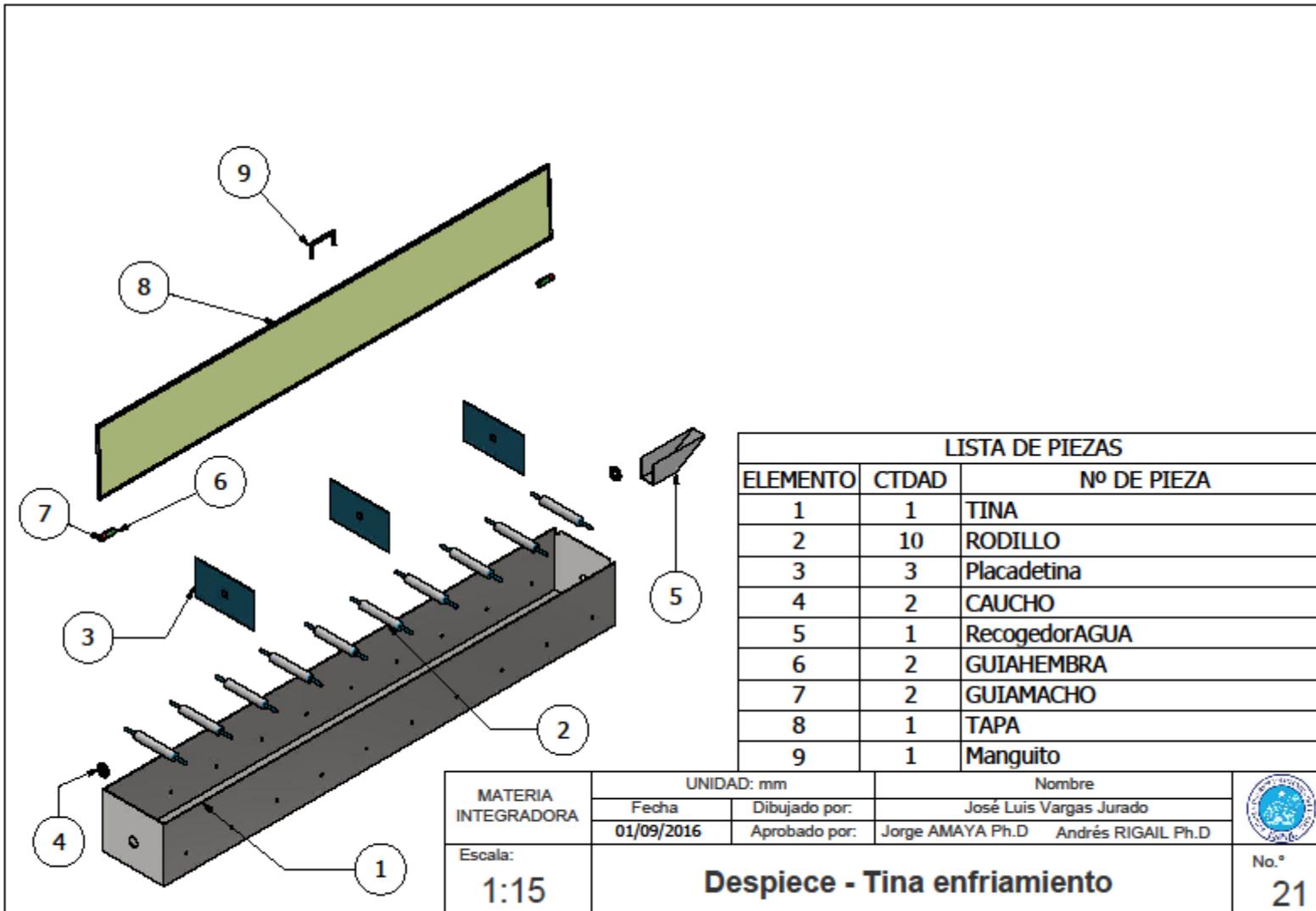
MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	1:4				No.°
Calibrador-Exterior superior					18



MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	1:4				No.°
Calibrador central					19



MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre	
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado	
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	1:15			No.°
	Ensamble - Tina de enfriamiento			20

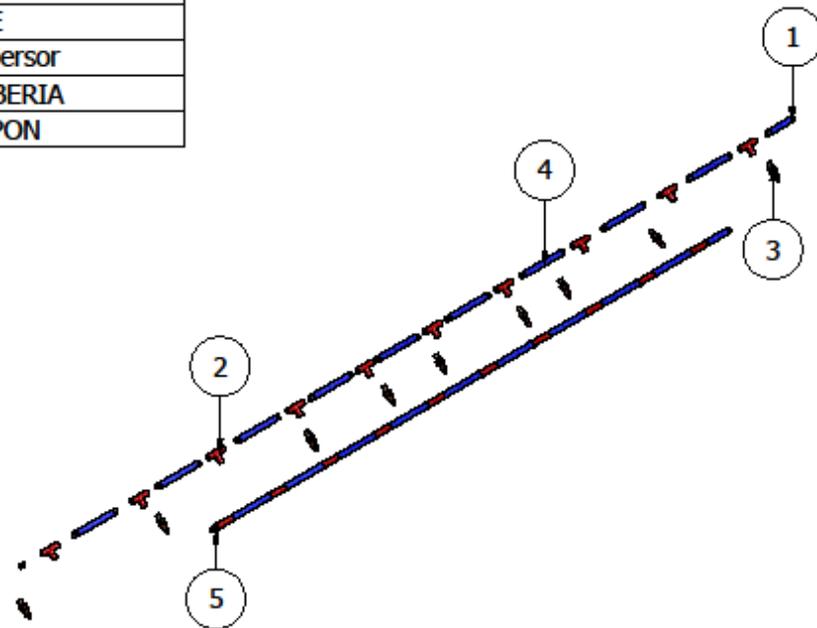


LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	1	TINA
2	10	RODILLO
3	3	Placadetina
4	2	CAUCHO
5	1	RecogedorAGUA
6	2	GUIAHEMBRA
7	2	GUIAMACHO
8	1	TAPA
9	1	Manguito

MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre	
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado	
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D
Escala:	Despiece - Tina enfriamiento			
1:15				No.° 21

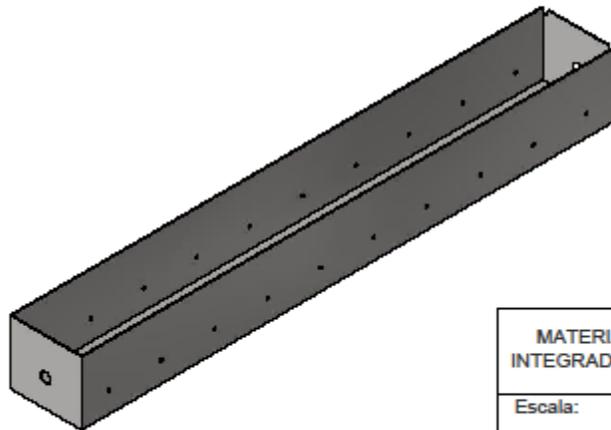
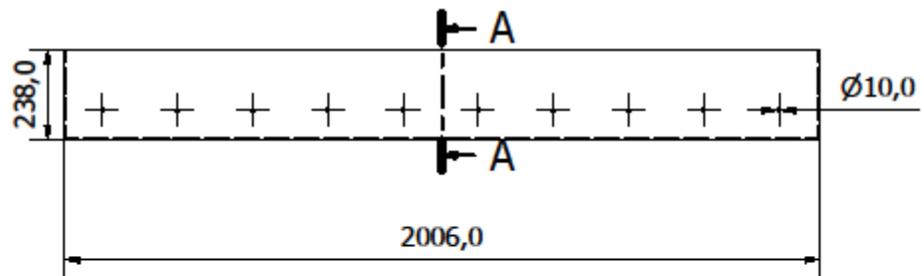
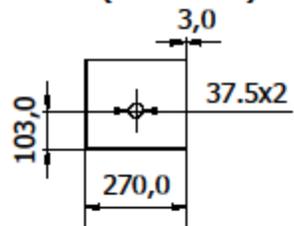


LISTA DE PIEZAS		
ELEMENTO	CTDAD	Nº DE PIEZA
1	2	TUBERIA55
2	20	TEE
3	20	Aspersor
4	18	TUBERIA
5	2	TAPON

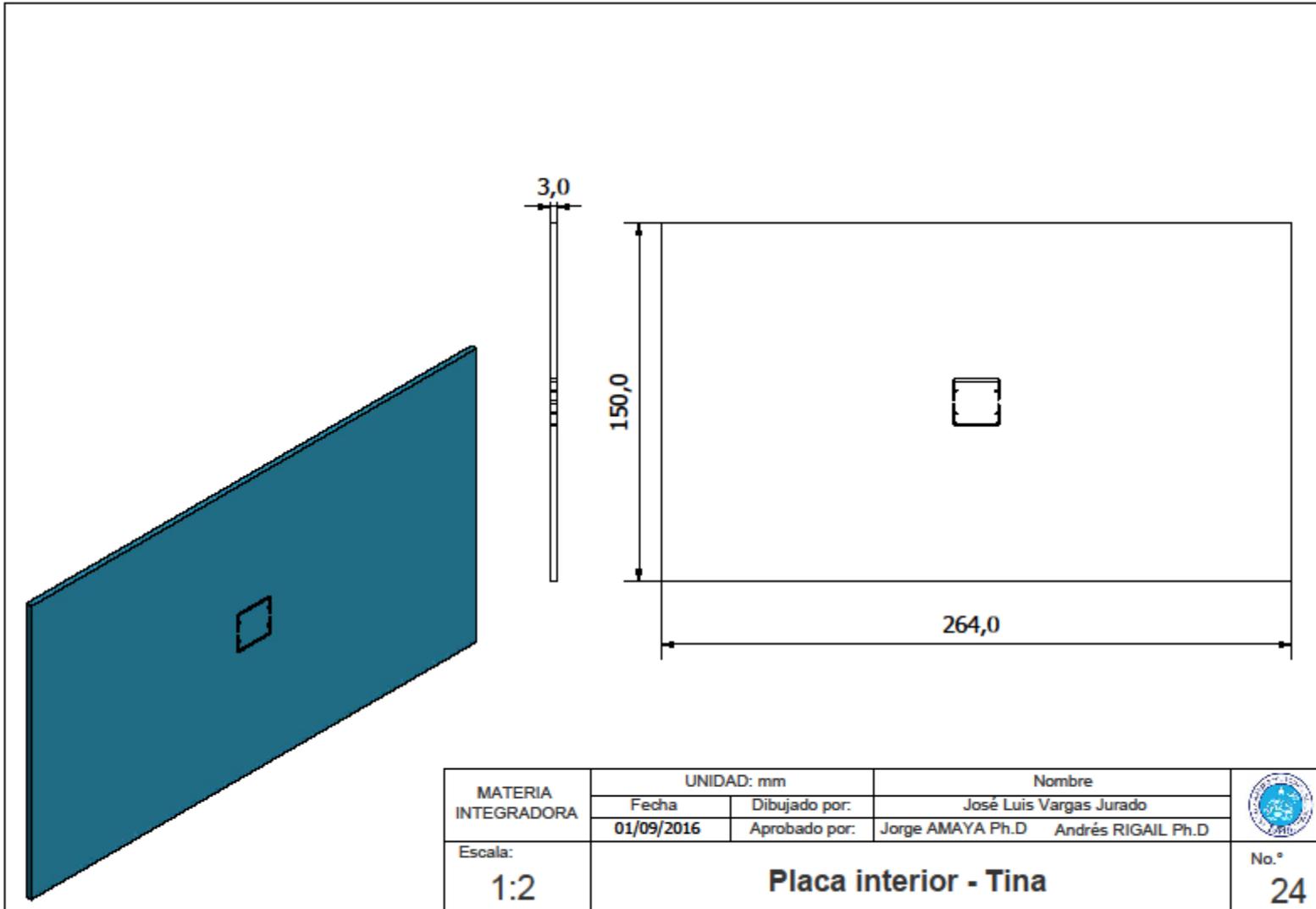


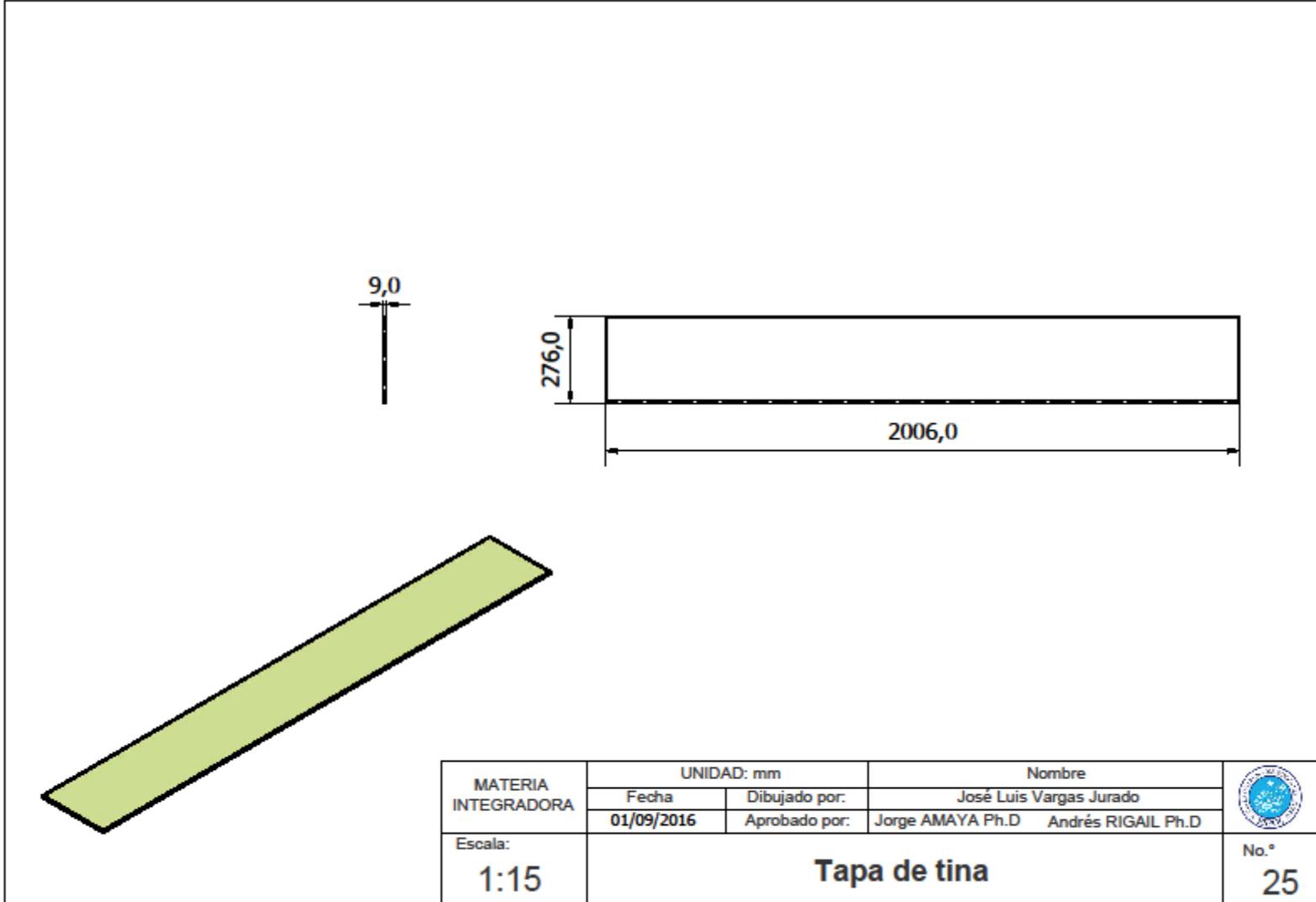
MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Despiece - Tuberia tina				No.°
1:15					22

A-A (1 : 15)

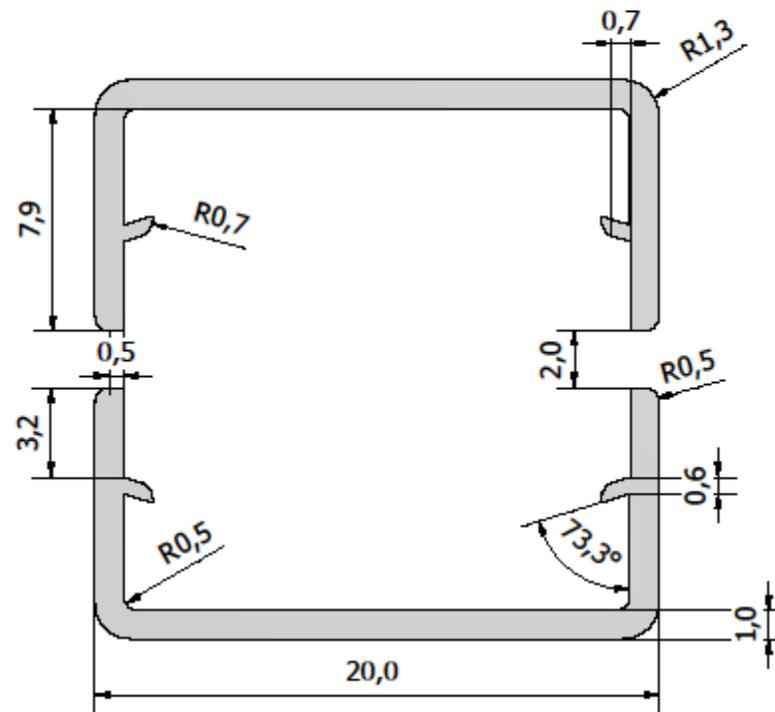


MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Tina				No.° 23





MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre		
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado		
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D	Andrés RIGAIL Ph.D	
Escala:	Tapa de tina				No.° 25
1:15					



MATERIA INTEGRADORA	UNIDAD: mm		Nombre
	Fecha	Dibujado por:	José Luis Vargas Jurado
	01/09/2016	Aprobado por:	Jorge AMAYA Ph.D Andrés RIGAIL Ph.D
Escala:	5:1		No.° 26
Canaleta - Sección transversal			

**FICHAS TÉCNICAS
DE LOS
MATERIALES**

Acero SISA P20

acero para moldes de plástico



desde 1941

SERVICIO INDUSTRIAL, S.A. DE C.V.

Color de distinción

blanco	rojo	blanco
--------	------	--------

CARACTERÍSTICAS

El acero SISA P20 pre-templado es de uso general para la fabricación de moldes. Utilizado para el maquinado y electro-erosionado de moldes de plástico y componentes para la fundición de zinc.

Se surte pre-templado a una dureza estándar de aprox. BHN 293-321 (HRC 30-34).

Normalmente no requiere un tratamiento térmico adicional, sin embargo el acero SISA P20 se puede templar a durezas mayores para incrementar su resistencia. Cuando enfriamiento al aceite es requerido, cuidado especial es necesario para reducir la distorsión o fractura.

Provee excelente pulibilidad y buen texturizado.

APLICACIONES TÍPICAS

Moldeo por Compresión	Moldes para Inyección de Plástico
Porta Moldes y Piezas de Apoyo	Herramientas para Fundición a Presión de Zinc
Piezas para la Construcción de Maquinaria y Útiles en General	Moldeo en Dos Fases

COMPOSICIÓN QUÍMICA - % PROMEDIO

C	Si	Mn	Cr	Mo
0.30	0.50	0.75	1.70	0.40

NORMAS

AISI	DIN	JIS
P20	1.2311	---

MAQUINABILIDAD Y RECTIFICABILIDAD

La maquinabilidad y rectificabilidad en estado recocido es aproximadamente un 80% de un acero tipo W1(1% C).

Nota: Las propiedades indicadas en esta hoja técnica son valores típicos. Variaciones normales en la química, tamaño y condiciones de tratamiento térmico pueden producir desviaciones de estos valores. Para datos adicionales o asistencia en ingeniería metalúrgica, acudir al departamento técnico de SISA.

SISA P20

PROPIEDADES FÍSICAS

Módulo de Elasticidad 30 psi x 10⁶ (207 GPa)

Densidad 7860 kg/m³ (0.284 lb/in³)

Conductividad Térmica

	cal/cm-s-°C	BTU/hr-ft-°F	W/m-°K
a 95°C (200°F)	0.990	24	42

Coefficiente de Dilatación Térmica

	mm/mm/°C	in/in/°F
20-260°C / 70-500°F	12.3 x 10 ⁻⁶	6.84 x 10 ⁻⁶
20-425°C / 70-800°F	12.8 x 10 ⁻⁶	7.10 x 10 ⁻⁶
20-540°C / 70-1000°F	13.7 x 10 ⁻⁶	7.60 x 10 ⁻⁶

TRATAMIENTOS SUPERFICIALES

Cementado: El acero SISA P20 también es apto para el cementado, resultando en dureza de cementado de 53-57 HRC, como se muestra en la siguiente tabla:

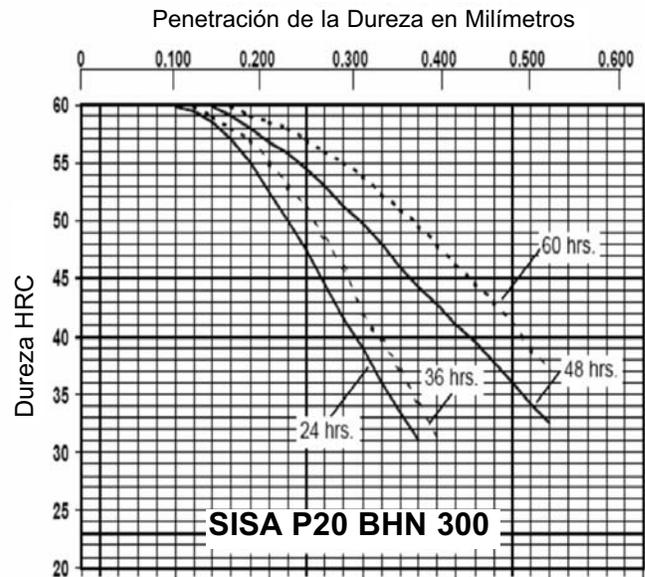
Dureza Obtenible:

Cementado con Gas a 870°C (1600°F) y enfriado en horno a 800°C (1475°F), posterior enfriamiento al aceite y revenido 4+4 hrs.

	Dureza de Cementado HRC	Dureza al Núcleo
315°C (600°F)	57-58	47-48
345°C (650°F)	57-58	46-47
370°C (700°F)	55-56	45-46
400°C (750°F)	54-55	44-45
425°C (800°F)	53-55	43-44
485°C (900°F)	52-53	39-40

Durezas mostradas son típicas para una barra con diámetro de 4" (102 mm). Secciones mayores pueden mostrar durezas levemente más bajas. La dureza al núcleo también puede ser incrementada en el tratamiento térmico asociado con el cementado, resultando en una pérdida de tenacidad al núcleo.

Nitrurado: El acero SISA P20 es apto para el nitrurado por medio de la mayoría de procedimientos comerciales, resultando en una dureza superficial de 55-65 HRC. La penetración de dureza típica después de nitrurado a 525°C (975°F) se muestra a continuación:



TRATAMIENTO TÉRMICO**Recocer**

Calentamiento a 790-815°C (1450-1500°F), mantener 2 horas, enfriamiento lento no mayor de 30°C (50°F) por hora hasta alcanzar 650-675°C (1200-1250°F), mantener hasta normalizar, posterior enfriamiento al aire.

Dureza en Estado Recocido BHN 187/223

Relevado de Tensiones

Material Recocido: 650-675°C (1200-1250°F) Mantener 2 horas después de calentamiento al núcleo, enfriamiento lento en horno o al aire.

Dureza Estándar (BHN 293-321): Calentar a 480°C (900°F), mantener 2 horas después de calentamiento al núcleo.

Material Templado Calentar 15-30°C (25-50°F) por debajo de la temperatura de revenido, mantener 2 horas después de calentamiento al núcleo, enfriamiento lento en horno o al aire.

Recomendable para reducir las tensiones causadas por un extenso maquinado en caso de herramientas de configuración complicada y para reducir las tensiones después de un proceso de electro-erosión.

TEMPLE

El acero SISA P20 se surte pre-templado y un tratamiento térmico posterior generalmente no se requiere.

Sin embargo, se puede templear a durezas más altas.

Nota: El acero SISA P20, debe ser recocido antes de un temple posterior.

Precalentar

675-735°C (1250-1350°F), normalizar.

Temple (Austenización)

815-845°C (1500-1550°F) - Mantener 30 a 45 minutos a temperatura.

Enfriamiento

Al aceite a 65-95°C (150-200°F).

Revenir inmediatamente.

Revenir

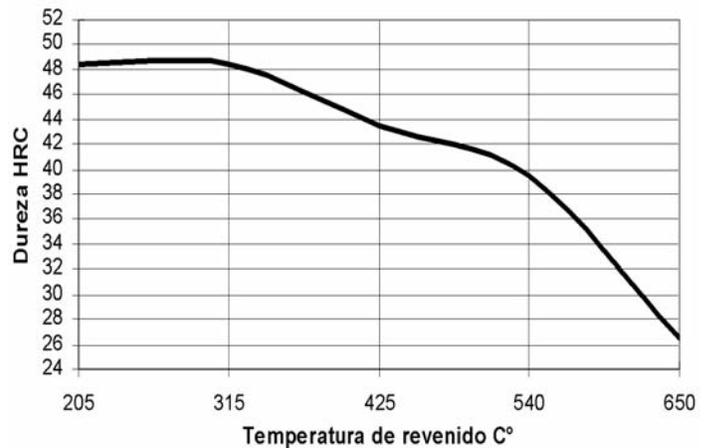
Doble revenido a 205- 650°C (400-1200°F), mantener 1 hr. por pulgada de espesor (25 mm), 2 hrs. mínimo por revenido.

RESPUESTA AL TRATAMIENTO TÉRMICO

Temple a 845°C (1550°F) Enfriamiento al Aceite

Temperatura de Revenido	Dureza Obtenible HRC
205°C - (400°F)	48.5
315°C - (600°F)	48.5
425°C - (800°F)	43.5
540°C - (1000°F)	39.5
650°C - (1200°F)	26.5

La dureza obtenible es típica de un bloque de 4" (100 mm) de espesor. Espesores mayores pueden mostrar una leve baja en dureza.

DIAGRAMA DE REVENIDO

Temperatura de Temple 845°C - 1550°F

SOLDAR

Los procedimientos de soldadura usados en 4140 o 4340 deben ser utilizados. Material de soldadura tipo P20, 4130 o 4140 es aceptable.

Material pre-templado

Precalentar 425-480°C (800-900°F). Mantener arriba de 425°C (800°F) al soldar. Después de soldar, enfriar a tibio 65°C (150°F). Doble revenido a 480°C (900°C).

Material templado a mayor dureza

Precalentar y doble revenido después de soldar a 30°C (50°F) por debajo de la última temperatura de revenido.



Servicio Industrial, S.A. de C.V.

www.acerosisa.com.mx

Aceros Especiales Grados Herramienta y Maquinaria
Aceros SISA-MET® de Metalurgia en Polvo (PM)
Piezas Industriales Forjadas

Ciudad de México: Naranjos 6 - Col. San Francisco Cuautlalpan, Naucalpan - cp 53569, Estado de México

Tel - (55) 5576-4011 Fax - (55) 5576-4997 sisa@sisa1.com.mx

Monterrey: Guerrero Norte 4120 - Col. del Norte, Monterrey - cp 64500, Nuevo León

Tel - (81) 8351-7220 Fax - (81) 8351-2981 sisamty@sisa1.com.mx

Características Físicas Seleccionadas del Poliestireno/Compuestos de Alta Densidad de Polietileno Preparados de Material Virgen y Reciclado.

Jayant Joshi, Richard Lehman, Thomas Nosker

Rutgers University School of Engineering, Piscataway, New Jersey 08854

Received 15 September 2004; accepted 7 April 2005

DOI 10.1002/app.22492

Published online 6 December 2005 in Wiley InterScience (www.interscience.wiley.com).

ABSTRACT: Las mezclas de poliestireno y polietileno de alta densidad fueron moldeadas por inyección a partir de polímeros reciclados y vírgenes para generar estructuras cocontinuas. Las propiedades mecánicas de estas mezclas se evaluaron para determinar su conformidad con el estado de regla de mezclas en general y para identificar áreas de sinergia o incompatibilidad en específico. Los datos de flexión y de tensión para las mezclas recicladas mostraron que en general las propiedades no son aditivas, excepto en una región de la composición cocontinua cerca de 35/65 PS / HDPE que ha sido identificado previamente para los materiales reciclados. El análisis de la cristalinidad en la fase de HDPE de estas mezclas por calorimetría diferencial de barrido indica una marcada reducción en el nivel de cristalinidad HDPE en la composición 35/65 PS/HDPE. Mezclas similares de polímero PS / HDPE virgen no muestran las diferentes regiones de

incompatibilidad y sinergia ilustrada por los materiales reciclados, sino que muestran conformidad aproximada a la regla de mezclas. Además, las mezclas vírgenes muestran prácticamente ninguna supresión de cristalinidad y un cambio de T_g más pronunciado en el poliestireno en comparación con los materiales reciclados. Caracterización detallada de los materiales reciclados en términos de polímero e impurezas de partículas debe mejorar la comprensión de estas diferencias y quizás proveer orientación para la obtención de un comportamiento sinérgico mejorado en mezclas de polímeros vírgenes. © 2005 Wiley Periodicals, Inc. *J Appl Polym Sci* 99: 2044-2051, 2006

Palabras clave: mezclas; cristalización; immiscible; modulus; relaciones estructura/propiedad

INTRODUCCIÓN

Mezclas de polímeros inmiscibles se han estudiado ampliamente como un acercamiento para la síntesis de nuevos materiales de ingeniería.¹ La mayoría de estas mezclas dependen en el uso de compatibilizadores para mejorar la resistencia de las conexiones mecánicas entre los polímeros componentes. Las mezclas sin compatibilizadores no han sido muy exitosas, aunque algunos estudios en nuestros laboratorios han demostrado que las propiedades mecánicas prometedoras se pueden obtener a partir de mezclas inmiscibles si los parámetros de composición y procesamiento son adecuadamente seleccionados.^{2,3} La morfología microestructural juega un papel clave en impartir propiedades únicas a dichas mezclas, y tales microestructuras se han estudiado extensamente ampliamente para varias mezclas.⁴⁻⁶ Los estudios de materiales cocontinuos han atribuido las propiedades mecánicas mejoradas a la sujeción mecánica entre las fases con transferencia de estrés concomitante,⁷ una característica que también conduce a la reducción de cristalinidad.^{8,9} En este artículo se amplía el concepto de estructuras de entrelazado mecánico e introduce

la terminología "injerto mecánico". Este término describe mezclas de polímeros inmiscibles que tienen interfaces no unidas y sin embargo tienen una buena estructura cocontinua entrelazada que los compuestos muestran la regla de mezclas comportamiento mecánico y son estables cuando son recocidos cerca de la T_g de la fase vítrea.

El injerto mecánico es diferente del injerto químico tradicional en que no hay enlaces químicos entre las fases inmiscibles sino, más bien, todas las transferencias de carga es afectada por la morfología y la sujeción mecánica. La morfología es generada por la composición y las condiciones de procesamiento, y la sujeción es generada por cambios volumétricos en cada fase durante el enfriamiento desde las temperaturas de proceso de derretimiento. Injerto mecánico es similar al injerto químico en que las propiedades mecánicas de las mezclas siguen las relaciones de la regla de mezclas, como si los enlaces químicos fuertes abarcaran la interfaz.

El objetivo del presente trabajo fue producir compuestos de polímeros inmiscibles de las mezclas de poliestireno y polietileno de alta densidad en el laboratorio y para evaluar en condiciones controladas el grado de injerto mecánico que se produce como una función de la composición y la pureza del material en bruto como se representa por virgen frente reciclado materias primas.

Correspondence to: R. Lehman (rlehman@rci.rutgers.edu).

TABLA I
Propiedades de los Polímeros Vírgenes

Polímero	Index (g/10 min.)	Carga [kg]	Temp. [°C]	Melt Flow Data		Módulo de flexión (MPa)
				Densidad (g/cc)	Resistencia a la tensión	
Polietileno de alta densidad de Calidad de Extrusión	0.35	2.16	190	0.952	27	1019
Poliestireno de Calidad Virgen	7.0	5.0	200	1.04	53.78	3317

EXPERIMENTAL

Materiales

El polietileno de alta densidad reciclado y el poliestireno reciclado se obtuvieron de un proveedor industrial (Polywood, Inc., Edison, NJ) en forma de copos y gránulos, respectivamente. Se utilizó un poliestireno de propósito general (GPPS7 GE Polymerland) y polietileno de alta densidad para extrusión (HHM 5202 BN Chevron Phillips Chemical Co., LP, Houston, Texas). Las propiedades de los polímeros vírgenes indicados por el proveedor se muestran en la Tabla I. Dichas propiedades no estaban disponibles por parte del proveedor para materiales reciclados.

Reología

Mediciones de reología se ejecutaron en todos los polímeros en un rango de velocidades de corte y en rangos de temperatura de 200-220°C, la temperatura relevante de procesamiento. Estos datos son necesarios para determinar el rango de composición en que las mezclas cocontinúas se esperan. Todas las mediciones de reología se realizaron utilizando un reómetro TA AR 2000 (TA Instruments, New Castle, DE).

Formulación de mezcla

De todas las composiciones de mezclas inmiscibles, las composiciones que exhiben morfología cocontinua típicamente tienen las mejores propiedades, y existen diversos métodos para aproximar la composición de esta región. Uno de tales métodos por Jordhamo¹⁰ identifica la región de acuerdo con la siguiente relación entre la relación de proporción de fracción de volumen (Φ) y la proporción de viscosidad (η) de los componentes a la temperatura de procesamiento:

$$\frac{\eta_A}{\eta_B} \cong \frac{\Phi_A}{\Phi_B} \quad (1)$$

Aunque estas relaciones son útiles, todo el rango era de interés en este estudio, y las estimaciones de composiciones cocontinuas solamente se hicieron para agrupar composiciones en los intervalos esperados, como se muestra en la Tabla II.

Extrusión y Moldeo

Los materiales de ensayo fueron moldeados por inyección en una máquina de moldeo Negri Bossi V55-200 para producir especímenes de ensayo estándar (ASTM D638) para evaluación. Todas las muestras se acondicionaron a 22°C a humedad ambiente durante dos días antes de realizar las mediciones mecánicas.

Métodos de Evaluación

Mediciones de flexión se realizaron a temperatura ambiente (22°C) en especímenes de ensayo moldeados por inyección utilizando la prueba de tres puntos de flexión descrito en la ASTM D720. Una máquina de pruebas mecánicas MTS 2000 se empleó con una velocidad de cruceta de 5 mm/min. Las pruebas de tracción se realizaron a temperatura ambiente (22°C) en muestras moldeadas por inyección de acuerdo con la ASTM D638. La velocidad de cruceta era de nuevo 5 mm/min. Las pruebas de calorimetría diferencial de barrido (DSC) se realizaron en todas las composiciones utilizando un procedimiento estándar de calorfrío-calor entre 40° y 180°C a una velocidad de rampa de 10°C/min. Las pruebas se realizaron en un calorímetro TA Q-1000 (TA Instruments, New Castle, DE).

TABLA II
Composiciones de Poliestireno y Mezclas de Polietileno HD Preparadas de Polímeros Vírgenes y Reciclados

% poliestireno	% polietileno de alta densidad	Reciclado	Virgen
0	100	X	X
10	90	X	
20	80	X	X
25	75		X
30	70	X	X
35	65	X	X
40	60	X	X
45	55		X
50	50	X	X
55	45		X
60	40	X	X
65	35		X
80	20	X	X
100	0	X	X

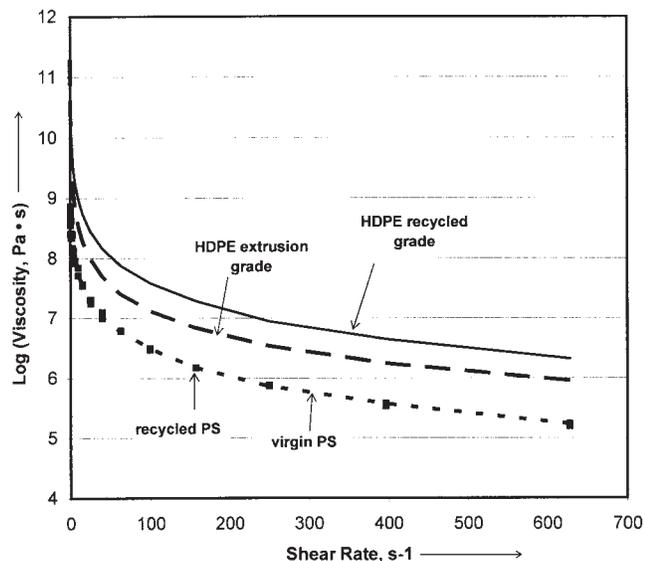


Figure 1 Datos de reología para poliestireno reciclado y virgen, y polietileno de alta densidad a 200°C.

Microscopia Electrónica

Pequeñas secciones rectangulares de los especímenes de ensayo fueron crio-fracturadas en nitrógeno líquido para obtener una superficie con morfología preservada. La mayoría de las muestras se grabaron con tolueno durante 15 minutos para extraer el poliestireno para mejorar la formación de imágenes. Después de secar durante la noche, las muestras fueron espolvoreadas con oro y se analizaron en un microscopio electrónico de barrido Amray 1400T bajo una voltaje de 20 KV.

RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Reología

Mediciones de viscosidad frente a velocidad de corte a 200°C para poliestireno reciclado, polietileno de alta densidad reciclado, poliestireno virgen, y polietileno virgen de alta densidad se muestran en la Figura 1. El poliestireno reciclado y virgen son idénticos, dentro del error experimental, en sus propiedades reológicas, mientras que el polietileno de alta densidad reciclado es claramente más viscoso que el polietileno virgen de alta densidad para todas las velocidades de corte. Según la ecuación. (1), se espera que las mezclas recicladas sean cocontinuas alrededor del 25% PS y las mezclas vírgenes alrededor del 32% PS. Las velocidades de corte en una extrusora monohusillo son considerablemente menores que las velocidades de corte encontradas en el molde por inyección, sin embargo los valores exactos son difíciles de obtener. No obstante, si las velocidades de corte en procesamiento son mayores que el rango de prueba de reología de velocidades de corte, la extrapolación de las curvas casi paralelas no altera sustancialmente el punto de cocontinuidad.

Cualquier cambio en el punto de cocontinuidad a medida que se encuentran mayores velocidades de corte, será para proporciones bajas de PS/HDPE.

Morfología-La microscopía SEM

La alta velocidad de corte del proceso de moldeo por inyección generó buenas morfologías estructuradas. (Fig. 2,3) donde los tamaños de dominio eran de dimensiones de micrones y variadas con relación PS/HDPE. Las superficies de muestra que aparecen en las micrografías son superficies de fractura (77K) y son perpendiculares a la dirección de flujo de polímero durante el llenado del molde. Las áreas en las que el poliestireno se eliminó por grabado pueden verse como las áreas más oscuras en las micrografías, hasta el 60% de PS para virgen y hasta 35% de PS para reciclado. Por encima de este porcentaje el poliestireno es la fase principal, y las imágenes de las muestras grabadas son menos distintas. El grabado no se intentó para la mezcla virgen de 80/20.

Las mezclas de PS/HDPE virgen (Fig. 2) muestran una morfología claramente dispersa a partir de composiciones de poliestireno de 20 a 35%. Las mezclas se hacen más continuas y finas a 45% PS, y alcanzan una estructura cocontinua entre 50 y 60% de PS. Más allá de la composición 60% PS, la estructura de la mezcla virgen muestra signos de colapso del proceso de grabado, lo que indica que la PS fue la fase mayor en estas composiciones, mientras que la fase de polietileno fue parcialmente continua o dispersa. Finalmente a 80% PS se observa una estructura fina dispersada de polietileno en una matriz de poliestireno. En general, estas mezclas son más finas en textura que las mezclas recicladas que se discuten a continuación.

Las mezclas recicladas muestran una region continua de poliestireno (Fig. 3) a menores porcentajes PS (30%) comparado con las mezclas vírgenes. A 35% PS, la estructura muestra dominios sobresalientes de polietileno, sugiriendo un alto grado de continuidad tanto en las fases de poliestireno y polietileno. Las estructuras cocontinuas se esperan cerca de esta composición, como es predicho en la relación Jordhamo. La estructura en esta composición muestra claramente que la morfología cocontinua no es tan fina como la que se observa en las mezclas vírgenes. Más allá de la composición 35% PS, la estructura colapsa debido al removimiento del poliestireno durante el grabado y ninguna estructura relevante fue observada.

Propiedades mecánicas

Los datos de flexión para las mezclas recicladas y vírgenes PS/HDPE se muestran en la figura 4. Para las mezclas recicladas, la información indica un periodo inicial de propiedades pobres debajo de la regla de mezclas (incompatibilidad) seguido de una mejoría en las propiedades de flexión en las regiones de composición del 20 al 50% PS, la región de cocontinuidad. Las mezclas vírgenes, en cambio,

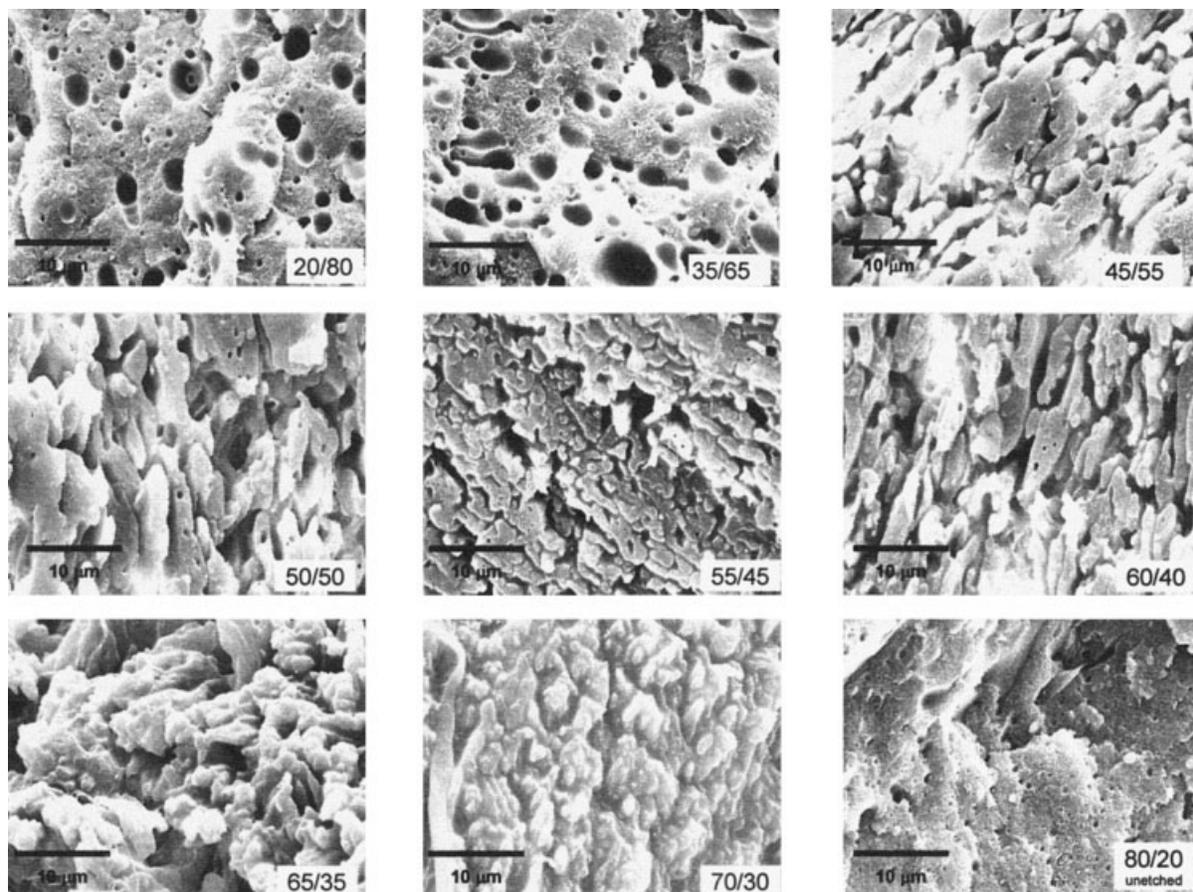


Figura 2 Morfología de mezclas vírgenes de PS/HDPE mostradas por microscopia electrónica.

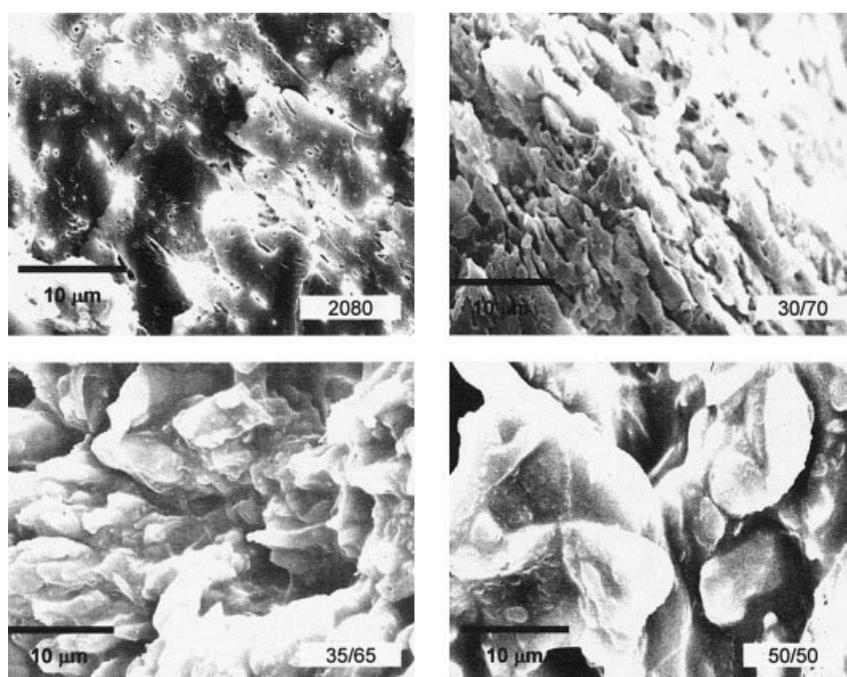


Figura 3 Morfología de mezclas recicladas de PS/HDPE mostradas por microscopia electrónica.

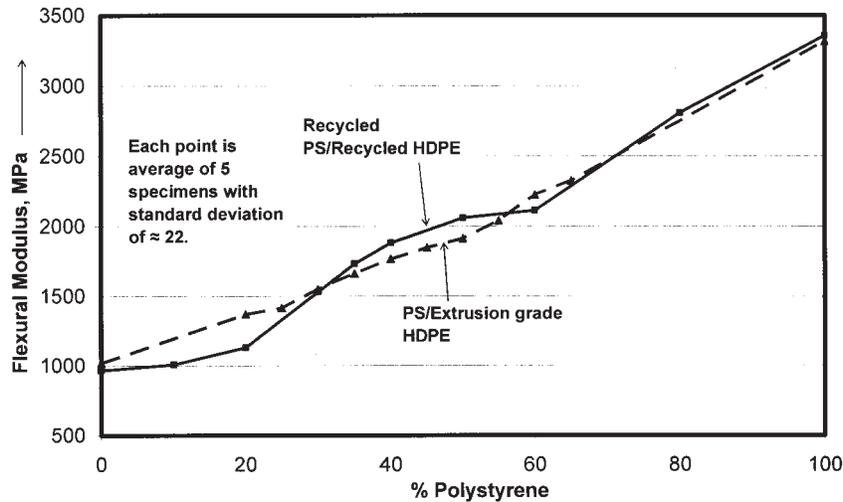


Figura 4 Módulo de Flexión de tres puntos versus composición poliestireno para mezclas de PS/HDPE reciclados y vírgenes.

Muestran un comportamiento más lineal sin ninguna región notable de incompatibilidad o sinergia.

Para investigar más a fondo, se realizaron pruebas de tensión y los resultados (Fig 5) para las mezclas recicladas y vírgenes muestran un comportamiento similar a los estudios de flexión. La única diferencia significativa es un valor ligeramente más alto del módulo de tensión para el material de polietileno de alta densidad reciclado 100% en comparación al de flexión. Este efecto se puede deber a los polímeros impuros (PET, PVC, PP) formando fibras de refuerzo en el centro del espécimen moldeado, incrementando así los valores de tensión pero teniendo un efecto menor en los de flexión. En general, los datos de tensión del polímero virgen concuerdan con los datos de flexión, mostrando propiedades casi lineales.

Hay dos importantes conclusiones que surgen de los datos mecánicos. Primero, se observa una sinergia en el rango de 30-50% PS solo para los reciclados PS/HDPE, en los cuales tanto los datos del módulo de tensión y los del módulo de flexión, muestran un incremento relativo a las composiciones vecinas. El módulo máximo en esta región sinérgica, alcanza aproximadamente el valor de la regla de mezclas, pero nunca lo sobrepasa. Entonces, esta región sinérgica es un área en que la morfología cocontinua y los enlaces mecánicos entre fase constituye el "injerto mecánico". Las llamadas regiones de incompatibilidad ligan las regiones de sinergia en ambos lados, con propiedades pobres. Segundo, los polímeros vírgenes no muestran dicha región sinérgica, sino que marca un camino ligeramente por debajo de la regla de mezclas en casi toda el rango composicional.

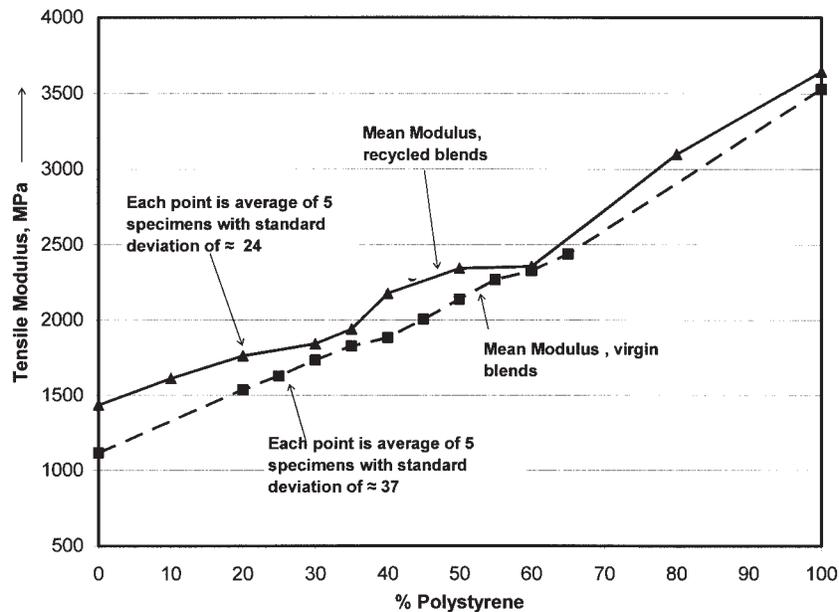


Figura 5 Módulos de tensión de mezclas PS/HDPE reciclados y vírgenes.

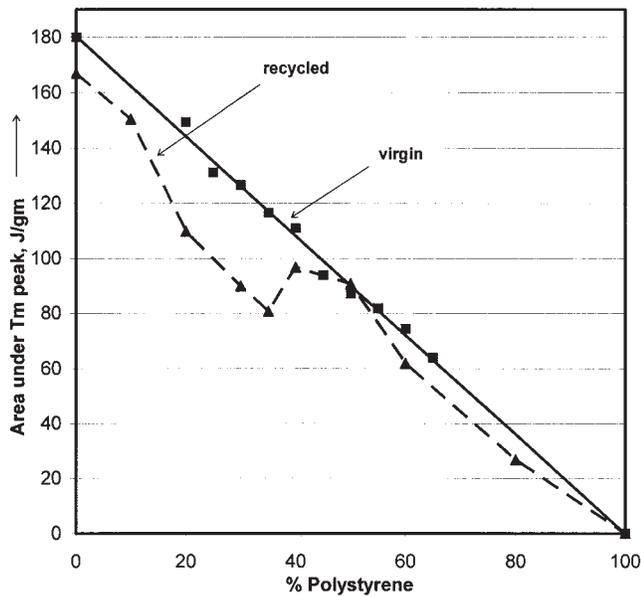


Figura 6 Cristalinidad como una función de composición poliestireno para mezclas PS/HDPE reciclados y vírgenes.

Las propiedades de estas mezclas son muy cercanas a la regla de mezclas como para llamarlas incompatibles, pero tampoco se conforman lo suficientemente cerca como para darles el término “injertadas mecánicamente.” Se necesita trabajo adicional para optimizar aún más el procesado de estas mezclas para producir mezclas injertadas mecánicamente.

Calorimetría diferencial de barrido

Para dar una luz en el pico relativo de sinergia en las mezclas de polímeros reciclados, se condujo un termoanálisis y se evaluó los efectos de cristalinidad y transición vítrea.

Reducciones de cristalinidad se han observado para las mezclas recicladas pero no hay datos disponibles en la literatura respecto a los cambios T_g en dichos materiales. La cristalinidad del polietileno de alta densidad fue sustancialmente reducido (Fig. 6) en la región de composición de 10 a 40%, la misma región cocontinua donde se observó el módulo pico. Las mezclas vírgenes muestran ninguna reducción de cristalinidad. Generalmente, parece que el intrincado y constreñido ambiente de cocontinuidad puede mostrar inhibición a la cristalización, sin embargo, no hay una explicación por que esto no ocurre en las mezclas vírgenes. Algunas posibles explicaciones incluyen la presencia de impurezas de polímeros y pigmentos en el polietileno reciclado de alta densidad y la aún más grande sensibilidad del polietileno de alta densidad y de gran peso molecular a las perturbaciones de cristalinidad. Las finas estructuras deberían estar más inclinadas a la cristalización inhibida que las mezclas gruesas, pero en este estudio, las mezclas recicladas eran ligeramente más gruesas que las mezclas vírgenes.

La temperatura de transición vítrea del componente de poliestireno variaba con la temperatura en todas las composiciones, incrementando cuando decrecía el contenido de poliestireno (Fig 7.). La pendiente de T_g versus la curva de composición es más grande para las mezclas vírgenes ($\sim 2^\circ\text{C}/10\%$ cambios de composición), consistente con la estructura un poco más fina de estas mezclas, pero contrarresta los datos de reducción de cristalinidad. Similarmente, las mezclas recicladas muestran un menor efecto ($\sim 0.6^\circ\text{C}/10\%$ cambio de composición).

Modelando los comportamientos observados

Claramente el estado físico del compuesto de polímero está constreñiendo la formación de cristales de polietileno y

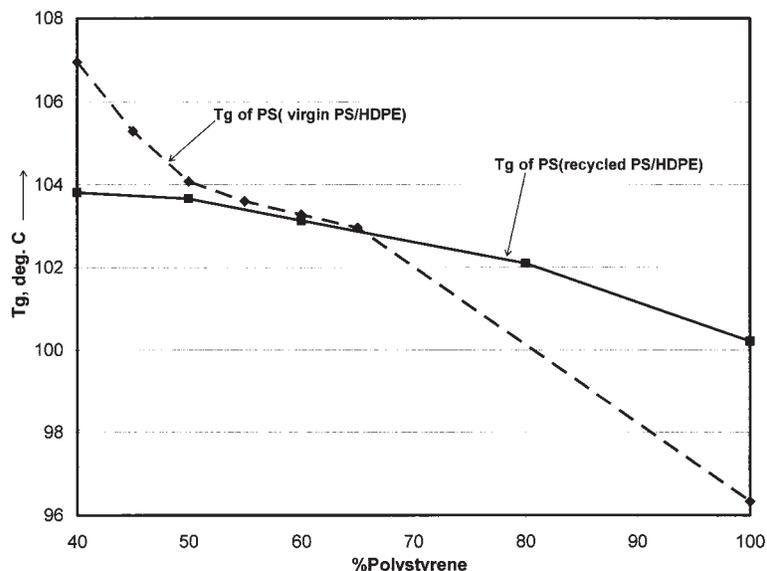


Figure 7 Variaciones T_g con composiciones para fase poliestireno en mezclas PS/HDPE reciclados y vírgenes.

construye la relajación del líquido súper enfriado a un vidrio de menor Tg. Hemos concebido dos posibles modelos cualitativos estructurales para explicar estos efectos. Las mezclas de polímeros inmiscibles contienen tamaños característicos en el rango general de 0.5-20 micrones, una dimensión lo suficientemente pequeña para alterar las dinámicas de la formación vítrea y de cristal para las moléculas grandes asociadas con la alta densidad del polietileno y poliestireno. Incluso, las regiones cocontinuas de estas mezclas están caracterizadas por redes de polímeros mutuamente entrelazados donde las fuerzas mecánicas que surgen de la contracción térmica y cristalización pueden ser eficientemente transferidas de una fase a otra. Los dos modelos propuestos se refieren a estas situaciones y se discuten a detalle en lo siguiente.

Polietileno y Poliestireno, como la mayoría de polímeros, tienen una estructura de moléculas en cadena que usualmente excede los 40,000 átomos de carbono. El proceso de formación de cristales en los polímeros semicristalinos (e.g., polietileno de alta densidad) requiere flexión y plegado de estas cadenas para formar las estructuras cristalinas laminares. Estas estructuras laminares pueden ser bastante grandes en orden de micrones. La morfología microestructural del compuesto evaluado en este trabajo es algo pequeño, usualmente algo menor a un micrón, como se discute en las Figuras 2 y 3.

Entonces, los dominios del polímero inmiscible en este compuesto son relativamente pequeños y confinan las moléculas de polímero a una extensión considerable, así, alzando la energía de activación para la reorganización a cristal laminar. Se espera cristalinidad reducida cuando los polímeros semicristalinos aparecen en estructuras de dimensión pequeña, como se ha observado en las mezclas recicladas en la región cocontinua. Argumentos similares se pueden hacer para los procesos de relajación asociados con la formación vítrea y el cambio observado en Tg en el rango de composición.

Otro modelo cualitativo es igualmente factible e incluye estrés generado en el sistema de dos fases y su efecto en la cristalinidad y la temperatura de transición vítrea de los polímeros. Considere una mezcla inmiscible de polímeros de dos componentes donde un polímero es semicristalino, el otro es amorfo, y el Tg del polímero amorfo es menor que el Tm del polímero semicristalino. En geometrías donde el polímero semicristalino envuelve al polímero amorfo, esfuerzos de tensión ocurren en el polímero semicristalino y ocurre estrés compresivo en el polímero amorfo mientras que el compuesto es enfriado durante la cristalización. Estos esfuerzos resultan principalmente de la reducción de volumen que ocurre durante la cristalización. Efectivamente, mientras estos esfuerzos incrementan, pueden alcanzar un nivel crítico donde la cristalización se inhibe.

La fase amorfa del poliestireno, aún por encima del Tg, está en compresión hidrostática. A medida que la temperatura se enfría a Tg, el polímero líquido se transforma a vidrio.

El Tg resultante es mayor que el Tg del polímero grueso debido a los esfuerzos compresivos y el Tg dependiente de presión. Por otro lado, en áreas donde la fase vítrea envuelve la fase semicristalina, cristalinidad y Tg no deberían ser afectados ya que la fase semicristalina se contrae fuera de la fase vítrea durante el enfriamiento. Estudios adicionales de morfología y variaciones de cristalinidad se requieren para determinar si uno o ambos modelos son apropiados para explicar estos fenómenos.

CONCLUSIONES

Compuestos inmiscibles de PS/HDPE se han preparado por proceso de fundición de polímeros vírgenes y reciclados, y se han caracterizado los comportamientos de la morfología, módulo elástico, cristalinidad y Tg. Estos compuestos están finamente estructurados con regiones de cocontinuidad y con dominios de dimensiones promedio en el rango micrón. Las morfologías de mezclas vírgenes son nominalmente más finas que las de las mezclas recicladas. El compuesto muestra propiedades casi aditivas sobre el rango de composición, aunque los comportamientos de los materiales vírgenes y reciclados fueron notablemente diferentes.

Las mezclas recicladas muestran regiones significantes de incompatibilidad, pero también una pronunciada región de sinergia en el rango cocontinuo centrado en 40% PS, en cambio las mezclas vírgenes son más consistentemente lineales en su comportamiento. La cristalinidad se reduce y el PS de las temperaturas de transiciones vítreas se incrementa en relación a los valores de polímeros gruesos. Aparentemente, el cambio de estos parámetros crece de las constricciones espaciales a mecánicas heredadas en el sistema compuesto. La reducción de cristalinidad se observa en la región cocontinua de las mezclas de polímeros reciclados, pero no en las mezclas vírgenes. El cambio de Tg ocurre más prominentemente en las mezclas vírgenes.

Dos modelos, uno basado en las constricciones geométricas de la composición morfológica y el segundo basado en los efectos micromecánicos, se proponen para explicar estos comportamientos. Estudios adicionales en variación de morfología y cristalinidad se llevarán a cabo para cuantificar estos modelos y para validar o refutar las premisas que tiene cada uno.

Referencias

1. Utracki, L. A. *Polymer Alloys and Blends: Thermodynamics and Rheology*; Hanser: Munich, 1990.

2. Nosker, T. J.; Morrow, D. R.; Renfree, R. W.; VanNess, K.; Donaghy, J. J. *Nature* 1991, 350, 563.
3. Renfree, R. W. Rutgers, The State University of New Jersey, Piscataway, 1991.
4. Nair, S. V.; Oommen, Z.; Thomas, S. *J Appl Polym Sci* 2002, 86, 3537.
5. Gheluwe, P. V.; Favis, B. D.; Chalifoux, J.-P. *SPE Technical Papers* 1988, 3910.
6. Li, G.-H. H. *J Polym Sci Part B: Polym Phys* 2001, 39, 601.
7. Willemse, R. C. *Polymer* 1999, 40, 2175.
8. Veronika, L. R.; Reinsch, E. *J Appl Polym Sci* 1996, 59, 1913.
9. Li, C.; Tian, G.; Zhang, Y.; Zhang, Y. *Polym Test* 2002, 21, 919.
10. Jordhamo, G. M.; Manson, J. A.; Sperling, L. H. *Polym Eng Sci* 1986, 26, 517.
11. Ehrig, R. J. *Plastics Recycling: Products and Processing*; Hanser Publications: New York, 1992.

For more information and technical assistance contact:

Chevron Phillips Chemical Company LP
P.O. Box 4910
The Woodlands, TX 77387-4910
800.231.1212



PREMIUM EXTRUSION AND RIGID PACKAGING RESINS

Marlex[®] HHM 5202BN

HIGH DENSITY POLYETHYLENE

This high molecular weight, hexene copolymer is tailored for lightweight blow molded containers that require:

- Good stiffness
- Exceptional processability
- Good ESCR

This resin meets these specifications:

- ASTM D4976 - PE 235
- FDA 21 CFR 177.1520(c) 3.2a, use conditions B through H per 21 CFR 176.170(c)
- Listed in the Drug Master File

Typical blow molded applications for HHM 5202BN include:

- Oil bottles
- Household and industrial chemical containers
- Toys
- Personal care products

NOMINAL PHYSICAL PROPERTIES ⁽¹⁾	English	SI	Method
Density	---	0.951 g/cm ³	ASTM D1505
Melt Index , 190/2.16	---	0.35 g/10 min	ASTM D1238
Tensile Strength at Yield , 2 in/min, Type IV bar	3,900 psi	26 MPa	ASTM D638
Elongation at Break , 2 in/min, Type IV bar	600%	600%	ASTM D638
Flexural Modulus , Tangent - 16:1 span:depth, 0.5 in/min	190,000 psi	1,310 MPa	ASTM D790
ESCR , Condition A (100% Igepal), F50	50 h	50 h	ASTM D1693
ESCR , Condition B (100% Igepal), F50	50 h	50 h	ASTM D1693
Brittleness Temperature , Type A, Type I specimen	<-103°F	<-75°C	ASTM D746

1. The nominal properties reported herein are typical of the product, but do not reflect normal testing variance and therefore should not be used for specification purposes. Values are rounded. The physical properties were determined on compression molded specimens that were prepared in accordance with Procedure C of ASTM D4703, Annex A1.

Revision Date April, 2004

Another quality product from



Before using this product, the user is advised and cautioned to make its own determination and assessment of the safety and suitability of the product for the specific use in question and is further advised against relying on the information contained herein as it may relate to any specific use or application. It is the ultimate responsibility of the user to ensure that the product is suited and the information is applicable to the user's specific application. Chevron Phillips Chemical Company LP does not make, and expressly disclaims, all warranties, including warranties of merchantability or fitness for a particular purpose, regardless of whether oral or written, express or implied, or allegedly arising from any usage of any trade or from any course of dealing in connection with the use of the information contained herein or the product itself. The user expressly assumes all risk and liability, whether based in contract, tort or otherwise, in connection with the use of the information contained herein or the product itself. Further, information contained herein is given without reference to any intellectual property issues, as well as federal, state or local laws which may be encountered in the use thereof. Such questions should be investigated by the user.