



**UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO**

---

**FACULTAD DE INGENIERÍA**

**Diseño y fabricación de piezas  
estructurales de plástico aplicada a la  
industria de la construcción**

**TESIS**

Que para obtener el título de

**Ingeniero Mecánico**

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

Roberto Flores de la Cruz

**DIRECTOR(A) DE TESIS**

Magdalena Trujillo Barragán



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2019



Universidad Nacional  
Autónoma de México



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

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

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

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

## **AGRADECIMIENTOS**

A la UNAM, por darme tanto a cambio de poco, gracias por toda la enseñanza y el aprendizaje.

A mis padres Roberto y Rosa, por el amor y la comprensión que me han brindado a lo largo de toda mi vida, gracias por el apoyo durante todo este camino, sé que sin ustedes, esto no lo hubiera podido lograr.

A la Doctora Magdalena Trujillo, por confiar en mí, por su comprensión y su cariño. Gracias por todo su apoyo.

Al Doctor Juan Gerardo Oliva Salinas, por confiar en mí y permitir desarrollarme en un área ajena a mí, como lo es la arquitectura.

Al Ingeniero Adolfo Altamirano, por el apoyo brindado en este proyecto.

A Sergio Correa, por su paciencia y el aprendizaje que me dio durante el servicio social.

A mis amigos Neill, Sergio, Agustín, Alejandro, Clara, Karina, Brenda y Hugo, por los buenos momentos que compartimos.

A todo el LPP, me llevo lo mejor de cada uno de ustedes.

A la empresa Diamond J México, ya que sin su apoyo este proyecto no hubiera podido llevarse a cabo, en especial a los Ingenieros, Jim Sherlock, Arturo Valdelamar, Pierre Herrera, Jesús Herrera y Sergio Uribe, gracias por su paciencia, su asesoría, su apoyo, sus consejos y la enseñanza, que me brindaron durante mi estadía en la empresa.

Al Proyecto: PAPIIT IG400517 "Diseño y construcción de estructuras ligeras hacia una arquitectura e ingeniería sustentables" y al proyecto: PAPIME PE112916 "Desarrollo de los apuntes de procesamiento de plástico para el campo del conocimiento en manufactura de la Facultad de Ingeniería"; POR EL APOYO FINANCIERO PARA LA REALIZACIÓN DE ESTE TRABAJO.

# ÍNDICE

<b>CAPITULO 1. Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.1. <b>Introducción.....</b>	<b>1</b>
1.2. <b>Necesidad .....</b>	<b>2</b>
1.3. <b>Problemas a resolver .....</b>	<b>2</b>
1.4. <b>Objetivo general .....</b>	<b>2</b>
1.5. <b>Objetivo particular.....</b>	<b>2</b>
1.6. <b>Alcances.....</b>	<b>2</b>
<b>CAPITULO 2. Antecedentes.....</b>	<b>3</b>
2.1. <b>Arquitectura sustentable .....</b>	<b>3</b>
2.1.1. <b>Estructuras ligeras .....</b>	<b>7</b>
2.1.2. <b>Bambú como material sustentable en construcciones.....</b>	<b>8</b>
2.1.3. <b>Sustentabilidad en los plásticos .....</b>	<b>9</b>
2.2. <b>Características y propiedades de la poliamida 66.....</b>	<b>10</b>
2.3. <b>Moldeo por inyección.....</b>	<b>11</b>
2.3.1. <b>Moldeo por inserción .....</b>	<b>12</b>
2.3.2. <b>Defectos en piezas moldeadas por inyección .....</b>	<b>13</b>
2.3.3. <b>Máquina de inyección .....</b>	<b>17</b>
2.3.4. <b>Molde para inyección de plásticos .....</b>	<b>18</b>
2.4. <b>Importancia del diseño en los plásticos .....</b>	<b>21</b>
2.4.1. <b>Herramientas de diseño.....</b>	<b>22</b>
2.5. <b>Conectores estructurales .....</b>	<b>22</b>
<b>CAPITULO 3. Propuesta de diseño para la elaboración de un conector estructural.....</b>	<b>25</b>
3.1. <b>Diseño del conector estructural.....</b>	<b>25</b>
3.2. <b>Propuesta de diseño para el conector (llamado conector 2).....</b>	<b>36</b>
3.3. <b>Propuesta de diseño para el conector (llamado conector 3).....</b>	<b>44</b>
3.4. <b>Propuesta de diseño para el conector (llamado conector 4).....</b>	<b>52</b>
3.5. <b>Propuesta de diseño para el conector (llamado conector 5).....</b>	<b>57</b>
<b>CAPITULO 4. Diseño y fabricación del molde para un conector estructural.....</b>	<b>64</b>
4.1. <b>Diseño preliminar del molde .....</b>	<b>64</b>
4.2. <b>Evaluación del porta molde preliminar.....</b>	<b>70</b>

4.3.	Reconsideraciones para el maquinado del molde .....	71
<b>CAPITULO 5. Resultados .....</b>		<b>86</b>
5.1.	Prueba de molde .....	86
5.2.	Prueba a tracción del conector .....	92
5.3.	Costos .....	94
<b>CAPITULO 6. Conclusiones y trabajos a futuro .....</b>		<b>96</b>
6.1.	Conclusiones.....	96
6.2.	Trabajos a futuro .....	97

## **CAPITULO 1. Introducción**

### **1.1. Introducción**

Durante los últimos años, la sociedad ha puesto mucho interés en los daños ambientales que ha ocasionado el ser humano, tratando de satisfacer sus necesidades, esto ha originado que muchas personas preocupadas por estos daños estén buscando sistemas alternativos que traten de aprovechar los recursos naturales sin afectarlos, teniendo en cuenta la calidad de vida de las personas, volviendo a retomar materiales como los son la madera y el bambú debido a sus buenas propiedades mecánicas, bajo costo y fácil propagación.

Las estructuras ligeras tienen componentes que se basan en materiales naturales y se encuentran en las estructuras ligeras, dichos componentes son las cañas de bambú, las velarías y las uniones (nodos) entre los bambúes.

Dado que el nodo es un componente esencial en las estructuras ligeras por ser el medio de unión entre las cañas de bambú, y siendo estos, los componentes que están sometidos a cargas que producen flexión, es importante estudiar estas uniones, por lo que muchas veces son el punto más débil de la estructura, ocasionando situaciones de peligro tales como colapsos estructurales .

Ya que en la actualidad existen infinidad de sistemas de unión comerciales que pueden ser utilizados, estos en su mayoría están diseñados para estructuras de acero, existen unos más encargados de unir madera, mientras que para el bambú, existen muy pocos, de los cuales la mayoría están compuestos por clavos o barrenos que se introducen en las cañas de bambú; las que por ser materiales sensibles a la fractura rápida, es fácil de que fallen.

Este trabajo es parte de un conector patentado por el Dr. Juan Gerardo Oliva Salinas en el año de 1983, desarrollado en la Facultad de Arquitectura de la UNAM, dicho conector fue diseñado en acero [48]; material que en esa época era muy empleado sin importar cuan pesado fuese. Debido al creciente interés de la arquitectura sustentable, se decidió retomar el proyecto, buscando construir una estructura ligera desmontable. La intención de este trabajo es demostrar que se puede realizar un rediseño adaptativo de material del conector cambiando el acero por el nylon 66 con refuerzo del 30% de fibra de vidrio, con la finalidad de reducir el peso del nodo y considerando la buena resistencia del material polimérico disponible.

Para comenzar el rediseño adaptativo fue necesario realizar modificaciones en la pieza desarrollada, utilizando reglas de diseño para piezas de plástico, este trabajo se apoyó en gran medida del uso de tecnologías, como los softwares de diseño y manufactura, permitiendo realizar análisis confiables sobre el comportamiento de materiales, aplicados a nuevos campos, así como identificar, si será confiable o no utilizarlos. De esta manera, el presente trabajo muestra el proceso de diseño de detalle adecuado para fabricar los conectores de plástico que conforman al nodo de unión entre los bambúes. Cada capítulo muestra las características del diseño del nodo, del análisis estructural, así como también la fabricación final del producto.

## **1.2. Necesidad**

Se requiere fabricar nodos estructurales en un material polimérico Nylon 66 con fibra de vidrio al 30%, se partirá de un conector diseñado en acero y proporcionado por personal de la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México, dicha pieza tiene que ser capaz de soportar las cargas máximas presentes en la estructura.

## **1.3. Problemas a resolver**

- Diseño de detalle de un conector plástico de ensamble aplicado a una estructura arquitectónica utilizando criterios de diseño para piezas plásticas.
- Reducir la masa del conector en comparación con el conector original.
- Diseñar y fabricar el molde de inyección de plásticos.
- Validar el buen funcionamiento del molde.

## **1.4. Objetivo general**

Rediseñar y obtener conectores estructurales de plástico capaces de soportar las cargas máximas presentes en la estructura cuando se les usa en la industria de la construcción a través del proceso de inyección.

## **1.5. Objetivo particular**

- Reducir la cantidad de material con el fin de disminuir el peso del conector, aplicando reglas de diseño.
- Realizar un análisis de moldeabilidad del material plástico con que se harán los conectores para predecir posibles defectos en la pieza, previo a la fabricación del molde.
- Diseñar y fabricar el molde que formará la pieza llamada nodo.

## **1.6. Alcances**

Como resultado del proyecto se fabricarán nodos de Nylon 66 con fibra de vidrio al 30% (PA66 – GF30) que consta de 2 partes ensambladas y un inserto metálico.

## **CAPITULO 2. Antecedentes**

### **2.1 Arquitectura sustentable**

La creación de conciencia sobre el uso de los recursos naturales, la escasez y la falta de rehusó de materiales en la construcción, ha llevado a la arquitectura a diseñar sistemas estructurales que reduzcan la huella ecológica. Por lo que, en la lucha por mejorar la calidad de vida sin afectar los recursos naturales, arquitectos e ingenieros se han unido al desarrollo de estructuras sustentables que buscan diseñar edificaciones que cumplan con las necesidades que se requieran hoy, pero que no interfieran con los requerimientos futuros [21].

La arquitectura sustentable, también llamada arquitectura verde o eco-arquitectura busca optimizar tanto los recursos naturales, así como los sistemas de edificación, con el objetivo de reducir el impacto ambiental de los edificios sobre el medio ambiente y sus habitantes [24].

Entre las ventajas que posee la arquitectura sustentable se encuentran:

- Ahorro de energía de hasta un 50% comparadas con una construcción convencional.
- Reducción de contaminantes.
- Confort térmico y visual, debido a al diseño de ventanas las cuales mejoran el nivel de iluminación así como proveen de una mejor ventilación.
- Valor agregado a la edificación.

Los principios de una edificación o estructura sustentable se basan en [22]:

- Tomar en cuenta el ciclo de vida de los materiales.
- El uso de energías renovables.
- Aprovechamiento de espacios.
- Reciclaje de componentes

Como se ha mencionado, la creciente preocupación por el deterioro ambiental ha llevado que, a nivel mundial, arquitectos e ingenieros se sumen al desarrollo de estructuras sustentables que ayuden a mejorar la calidad de vida de las personas sin afectar a los sistemas ecológicos, ejemplos de edificaciones sustentables están presentes alrededor de todo el mundo, a continuación, se enumeran las 3 más importantes [26]:

Museo del mañana, mostrada en la figura 1, esta obra ubicada en Rio de Janeiro Brasil realizada por el arquitecto Santiago Calatral, se apoya de placas fotovoltaicas que pueden cambiar de posición ubicadas en el techo de la edificación, para generar energía eléctrica, además de contar con multitudes de zonas verdes. La temperatura fresca dentro del edificio se consigue a través del agua de las piscinas que se encuentran en la edificación.



Figura 1 Museo del mañana, Rio de Janeiro Brasil <sup>1</sup>.

One world trade center mostrado en la figura 2, de 542 m ubicado en la zona cero de Nueva York, aprovecha su gran altura para poder captar toda la iluminación posible de sus alrededores, disminuyendo en gran medida su capacidad de consumo de energía, para apoyar este ahorro de energía se han colocado paneles solares y turbinas eólicas para producir energía limpia, además de que el 75% de los materiales usados en la construcción son reciclados.



Figura 2 One world trade center New York<sup>2</sup>.

---

<sup>1</sup> Obtenido de: <https://www.archdaily.mx/mx/779065/santiago-calatrava-museo-del-manana-abre-sus-puertas-en-rio-de-janeiro/5672dd11e58ece101800014f-santiago-calatravas-museum-of-tomorrow-opens-in-rio-de-janeiro->

<sup>2</sup> Obtenido de: <http://www.stunningexpressions.com/new-york/>

Biblioteca pública de Bishan mostrada en la figura 3, ubicada en Singapur es una obra que aprovecha los recursos solares al máximo, ya que esta obra está constituida de grandes vidrios de colores, así como tragaluces, lo que permite una gran iluminación en el interior, brindándola de una gran cantidad de tonos y colores.



Figura 3 Biblioteca pública de Bishan, Singapur<sup>3</sup>.

México no se ha quedado atrás en el impulso de la arquitectura sustentable, ya que a través del rehusó de materiales, modificación de estructuras y aprovechamiento de espacios, se ha logrado desarrollar sistemas sustentables muy atractivos, para la parte turística del país, ejemplo de ellos son:

Tubohotel en Tepetzotlán mostrado en la figura 4, está conformado por módulos de tres tubos de hormigón, apilados en forma piramidal, dentro de cada uno hay una habitación térmica con una cama, cortinas y luces que están cerradas en los extremos por cristales lo que permite una agradable vista a los huéspedes.



Figura 4 Tubohotel en Tepetzotlán, México<sup>4</sup>.

<sup>3</sup> Obtenido de: <https://www.archdaily.com/209596/bishan-public-library-look-architects/>

<sup>4</sup> Obtenido de: <https://www.mexicodestinos.com/blog/2015/12/20-hoteles-en-mexico-que-deberias-conocer/>

Biblioteca Vasconcelos mostrada en la figura 5, esta edificación además de ser un espacio para la lectura y la investigación brinda diferentes actividades culturales, porque además de ser una biblioteca también es un jardín botánico, la idea del arquitecto Alberto Kalach quien fue el encargado del desarrollo de este proyecto, era crear un espacio que sirviera como un respiradero en el centro la Ciudad de México. Esta biblioteca aprovecha al máximo la iluminación y la ventilación apoyada en los grandes ventanales que conforman el edificio, además de contar con un techo verde lo que ayuda a que en el interior se mantenga fresco.



*Figura 5 Biblioteca Vasconcelos, México<sup>5</sup>.*

Container City, ubicada en la ciudad de Puebla es un espacio aprovechado como centro de reuniones, lugar de eventos musicales y zona de restaurantes, así como tiendas de ropa, dicho espacio pudiera parecerse a muchos encontrados en el país, la diferencia radica en que este espacio está hecho a partir de contenedores marítimos reciclados como se observa en la figura 6.



*Figura 6 Container City, México<sup>6</sup>.*

<sup>5</sup> Obtenido de: <http://conciencia-sustentable.abilia.mx/7-sorprendentes-proyectos-de-arquitectura-sustentable-en-mexico/>

### 2.1.1 Estructuras ligeras

Dado que, en los últimos años, se ha hablado mucho sobre el gran daño que se ha generado al medio ambiente por la falta de rehusó de materiales, se han retomado proyectos de estructuras a base de materiales sustentables; como lo son las estructuras ligeras, las cuales son aquellas cubiertas que no están diseñadas para soportar el tránsito de personas, ni el acopio de materiales. Sus características están representadas por su poco peso, el rehusó de materiales, su facilidad de transporte, así como su fácil montaje y desmontaje. Los materiales utilizados en estas estructuras van desde vidrio, resinas, cloruro de vinilo, madera, bambúes y polímeros termoplásticos [45].

Las estructuras ligeras mostradas en la figura 7, se componen de tres partes importantes las cuales son:

- Velaría: Es una extensión de tela o la cual tiene como objetivo cubrir espacios, además es la encargada de proteger a la estructura y las uniones de los rayos del sol y de la lluvia, siendo la cubierta de la estructura ligera.
- Cañas de bambú: Es el sistema esquelético, la cual se encarga de dar rigidez y forma a la estructura.
- Nodos: Son los medios de unión que posicionan a las cañas de bambú en distintos ángulos para así poder crear diferentes tipos de estructuras ligeras.

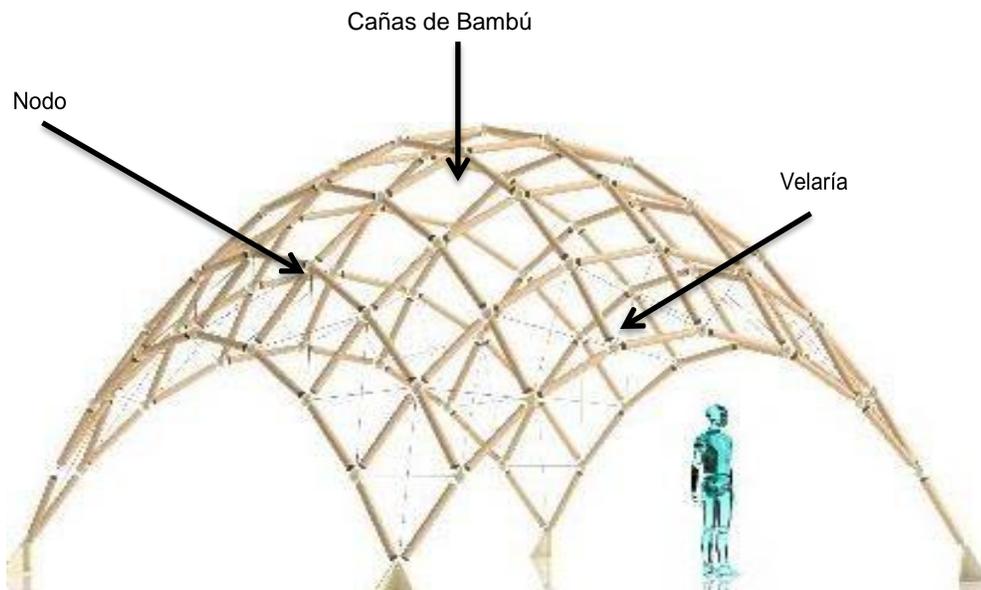


Figura 7 Estructura ligera<sup>7</sup>.

<sup>6</sup> Obtenido de: <https://www.zonaturistica.com/que-hacer-en-el-lugar-turistico/1153-401/container-city-puebla.html>

<sup>7</sup> Obtenido de: Laboratorio de Estructuras Arquitectura UNAM

Aunque las estructuras ligeras se emplean cada día más por su facilidad de implementación, la construcción de ellas conlleva a una serie de riesgos como lo son la caída de altura de sus bordes debido a la debilidad que poseen las uniones entre las cañas de bambú, esto debido a las características del material, el peso del material, la altura a la que se realizan los trabajos o a las inclemencias atmosféricas.

## 2.1.2 Bambú como material sustentable en construcciones

El bambú es considerado como un material sustentable, debido a su velocidad de crecimiento, en comparación con el de la madera, su estado máximo de dureza lo alcanza a los 3 años después de su siembra, su fácil propagación ayuda en gran medida a evitar la deforestación de esta especie, además de ser una planta que está presente en la mayoría de los continentes a excepción de Europa<sup>8</sup>.

El bambú es capaz de absorber grandes cantidades de CO<sub>2</sub> similar a las cantidades que absorben los árboles, el consumo de agua para su desarrollo es mínimo y debido a su capacidad de resistencia mecánica, su alta flexibilidad y su ligereza lo ha llevado a ganarse el sobre nombre de acero vegetal. En la tabla 1 se muestra una comparación entre alguna de las características del Bambú y las diferentes maderas según Angela Dina Orosco [37].

Tabla 1 Comparación de coeficientes de resistencia del Bambú con otras maderas<sup>9</sup>.

ESPECIE	TRACCIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	COMPRESIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )	FLEXIÓN (kg/cm <sup>2</sup> )
<i>Bambu</i>	2710	835	1700
<i>Roble</i>	810	490	490
<i>Eucalipto</i>	700	490	530
<i>Pino Orejon</i>	560	400	350
<i>Pino Blanco</i>	560	240	280
<i>Alamo</i>	230	200	340
<i>Guayacan</i>	746	956	-
<i>Algarrobo</i>	375	482	-
<i>Caoba</i>	368	513	-

<sup>8</sup> Obtenido de: <https://ovacen.com/bambu-en-la-arquitectura-sustentable/>

<sup>9</sup> Obtenido de: El bambú como material alternativo a la construcción arquitectónica – Ángela Dina

Es importante precisar, que la vida útil de una caña de bambú ronda entre los 15 y 30 años, debido a su ligereza tiene una efectividad contra los sismos colocados en bloque y en caso de colapso el levantamiento de una nueva construcción puede llevarse a cabo de una manera rápida<sup>10</sup>. Aunque esta planta proveniente del continente asiático tiene sus principales zonas de cultivo en México, siendo Puebla el primer lugar en la producción de esta planta con 2554 hectáreas, seguido del estado de Veracruz con 1304 hectáreas y Tabasco con 93 hectáreas, según datos de la Comisión de Nacional Forestal (CONAFOR)<sup>11</sup>.

### **2.1.3 Sustentabilidad en los plásticos**

Aunque actualmente hay una tendencia de disminuir el uso de los plásticos, la sustentabilidad de estos materiales se puede encontrar de manera satisfactoria si se consideran propuestas ecológicas y/o de reúso. Además de tomar en cuenta que varios tipos de plásticos cuentan con características físico-mecánicas que permite un diseño adecuado para aplicaciones específicas.

Las ventajas que presentan los plásticos frente a otros materiales ha llevado a abrir camino en el uso de plásticos en nuevas aplicaciones, entrando a terrenos como la industria automotriz, aeronáutica, de embalaje y construcción entre las características más representativas de los plásticos se encuentran: la ligereza permitiendo un ahorro de combustible a la hora de ser transportados, fácil moldeabilidad permitiendo generar piezas con geometrías muy complejas produciendo grandes cantidades en tiempos muy cortos, obteniendo piezas con las características requeridas, sin la necesidad de hacer un trabajo secundario, ahorrando costos en energía y mano de obra, aumento en la resistencia mecánica al ser combinada con fibras o aditivos, pero sobre todo la mayoría de los llamados termoplásticos se pueden volver a procesar generando con ellos nuevas piezas [30].

De acuerdo a las 3R's ecológicas propuesta realizada por Greenpeace que promueve 3 pasos básicos para hacer una disminución en la producción de residuos contribuyendo así en la protección del medio ambiente, consistentes en Reducir, Reutilizar y Reciclar la mayor cantidad de residuos generados, siendo la mayoría de los plásticos un material que entra dentro de esta propuesta. La mayoría de los plásticos, pueden reciclarse pudiendo generar nuevas piezas a través de los plásticos que ya han cumplido con su tiempo de servicio, pueden reutilizarse ya que son materiales que no se degradan fácilmente, pueden ser ocupados por un periodo de tiempo, ser guardados y ocuparse nuevamente cuando se les requiera, y por último pueden reducirse ya que al ser materiales que pueden usarse una cierta cantidad de veces por largos lapsos de tiempo no existe la necesidad de comprarse muy a menudo [31].

---

<sup>10</sup> Obtenido de: <http://arquinetpolis.com/beneficios-bambu-construccion-000063/>

<sup>11</sup> Obtenido de: <http://www.elfinanciero.com.mx/empresas/bambu-la-planta-que-puede-mover-la-economia-mexicana>

## 2.2 Características y propiedades de la poliamida 66

Para el desarrollo de un diseño de piezas o componentes estructurales, se pueden considerar materiales plásticos de ingeniería que cumplan con las propiedades deseadas para una aplicación de resistencia mecánica principalmente; de esta manera, los plásticos de ingeniería juegan un papel fundamental.

La poliamida 6/6 conocida también como Nylon 6/6 (nombre comercial), se caracteriza por tener cadenas con unidades repetitivas de tipo amida y contener 6 átomos de carbono. La poliamida 6/6 pertenece a la clasificación de los termoplásticos, y forma parte de la familia de los plásticos de ingeniería [17].

El medio de obtención de la poliamida 6/6 se hace a través de una reacción química de polimerización entre la hexametildiamina y el ácido adípico para producir la llamada polihexametilendiamina, la que figura entre los plásticos de ingeniería. figura 8.

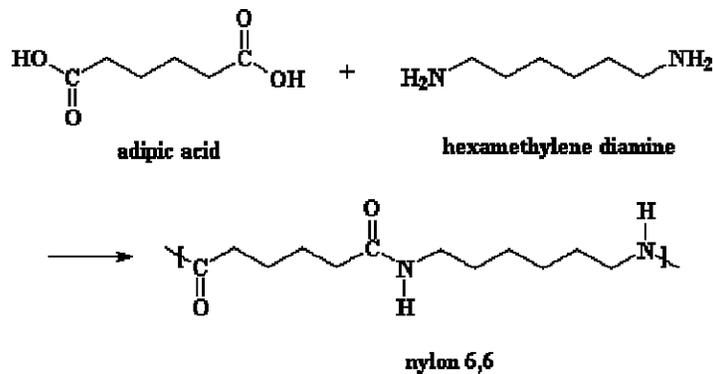


Figura 8 Obtención de la poliamida 66.

Las poliamidas se comercializan sin o con cargas aditivas, como lo puede ser la fibra de vidrio. El uso de fibras en la poliamida se emplea para aumentar la resistencia mecánica principalmente, y en algunas ocasiones se reduce el costo del material [1].

Entre las ventajas que ofrece la poliamida son [9]:

- Buena resistencia al impacto y excelente dureza.
- Excelente resistencia a la abrasión.
- Bajo coeficiente de fricción.
- Alta resistencia a la tracción.

Las desventajas del material son [9]:

- Debido a su absorción de humedad puede provocar distorsiones dimensionales en la pieza.
- La mala calidad de la pieza, así como una baja resistencia mecánica, son debidas al exceso de humedad durante el proceso, es por lo que se debe de hacer uso de un deshumidificador, con la finalidad de tener 0.2% de humedad en el material, antes de procesarlo.

Las aplicaciones de la poliamida son variadas, que van desde los componentes mecánicos, como engranes, levas, bujes, pasando por la industria automotriz presente en los tapones de almacenamiento para gasolina, depósitos de aceite, mangueras y cables y llegando hasta la industria textil en donde se puede encontrar en forma de fibras [18].

## 2.3 Moldeo por inyección

Uno de los procesos más utilizados en el conformado de piezas de plástico es el moldeo por inyección, en la actualidad están presentes tanto en oficinas, casas, automóviles, aviones, sistemas de embalaje y sistemas médicos, las cuales fueron obtenidas mediante el proceso de moldeo por inyección, los grandes pasos que han dado los plásticos en la industria han generado que sean sustitutos de algunos materiales que en algún momento se pensó que jamás se podrían sustituir como los metales, esto debido a las grandes ventajas innovadoras que poseen los plásticos, entre otras se puede ver que sus ventajas sobre otros materiales son[32]:

- Altas tasas de producción en tiempos cortos.
- Obtención de piezas con geometrías complejas.
- Automatización del proceso.
- Piezas que después de ser obtenidas necesitas poco o nulo acabado, ya que la pieza obtenida sale con el acabo y el color requeridos.
- Se pueden obtener piezas metal – plástico por medio del moldeo por inserción.

En forma breve se puede decir que el moldeo por inyección es un proceso mediante el cual un polímero es sometido a temperaturas lo suficientemente altas como para alcanzar un estado de flujo viscoso, el que es forzado a entrar por una boquilla y ser distribuido hacia las cavidades de un molde, en donde se enfría y solidifica [3].

Las etapas del ciclo de moldeo por inyección están conformadas por la siguiente secuencia mostradas en la figura 9 [27]:

1. Cierre de molde: Es el inicio del ciclo, es también el momento en el cual la unidad de inyección que hasta ese momento se encuentra separada de la unidad de cierre se acopla, y se alista para llevar a cabo la fase de llenado.

2. Fase de llenado y mantenimiento: El husillo avanza empujando al plástico fundido con una velocidad y presión previamente programada, con la finalidad de introducir el plástico fundido dentro de las cavidades del molde. Al terminar de inyectar el plástico, el husillo se mantiene en la misma posición aplicando una presión, llamada de presión de mantenimiento, cuya finalidad es la de contrarrestar la contracción de la pieza durante la etapa de enfriamiento. La presión de mantenimiento es aplicada hasta que la pieza ha sido solidificada.
3. Dosificación y enfriamiento de la pieza: Terminando la etapa de presión de mantenimiento el husillo retrocede con un movimiento giratorio, haciendo circular los gránulos de plástico por medio de los filetes del husillo desde la garganta hasta la nariz de la unidad de inyección, plastificándolo por medio de unas resistencias que están sujetas al barril. A la par con la etapa de presión de mantenimiento comienza la etapa de enfriamiento en donde el material dentro del molde comienza a solidificar haciendo uso de un fluido refrigerante.
4. Apertura de molde y expulsión de la pieza: una vez concluida la etapa de enfriamiento la parte móvil del molde se abre y por medio de unos pernos botadores la pieza es expulsada, para dar comienzo a un nuevo ciclo de inyección.

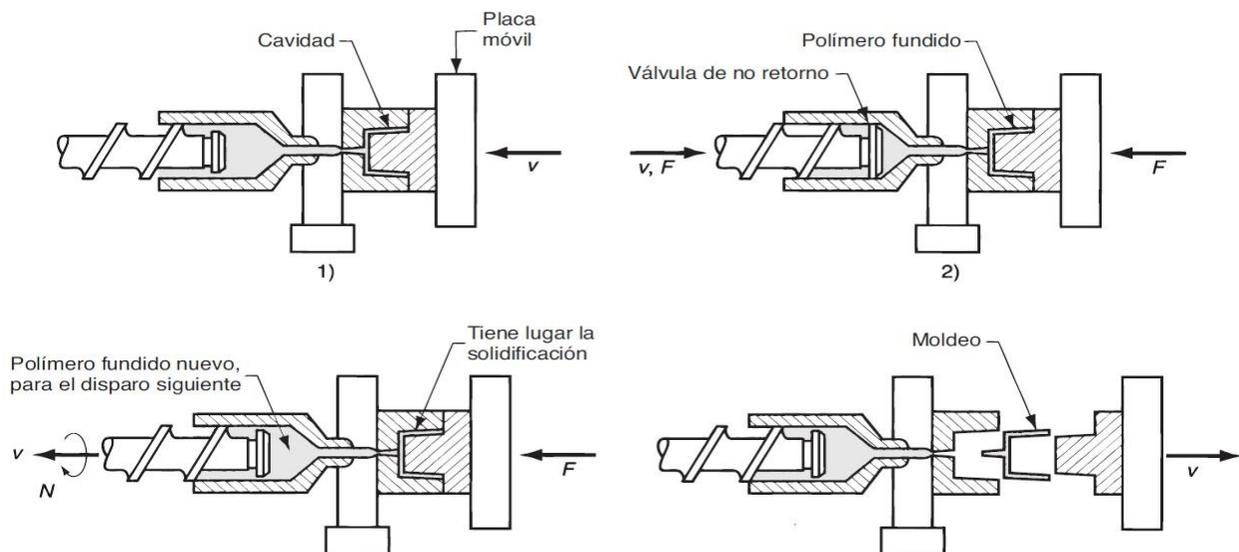


Figura 9 Ciclo de moldeo por inyección<sup>16</sup>.

### 2.3.1 Moldeo por inserción

Es un proceso mediante el cual partes preformadas llamados insertos que en el mayor de los casos son metálicos siendo de bronce y aluminio los más comunes, aunque también hay insertos cerámicos, se unen mediante termoplásticos para crear una sola pieza, lo anterior se muestra en

<sup>16</sup> Obtenido de: M.P. Groover, *Fundamentos de manufactura moderna*

la figura 10. En la mayoría de las veces, la colocación de los insertos la realiza un operador o un robot, quien coloca el inserto en pernos de soporte ubicados dentro del molde [11].

En la actualidad el uso de este método de fabricación es amplio y abarca desde los circuitos electrónicos, hasta componentes electrodomésticos y automotrices, así como en métodos de embalaje y sistemas de sujeción.

Los grandes beneficios que brinda este proceso han ayudado en gran medida a la reducción de costos, reducción de tiempos de post maquinado y disminución en la cantidad de material usado al ser sustituida por una parte metálica. El uso de insertar un elemento secundario ayuda en la disminución de vibraciones, así como en su resistencia al impacto [11]. La importancia que tiene en cuestión de maquinado es relevante, ya que se aprovecha el sobre moldeo para evitar post maquinados que afectan las propiedades mecánicas de las piezas, disminuyendo su capacidad de carga.

Con respecto al material a moldear no hay diferencia alguna con el material usado en el moldeo por inyección convencional, lo que implica que se puede hacer uso desde plásticos comunes como el polietileno y el polipropileno, entre otros, hasta plásticos especiales.

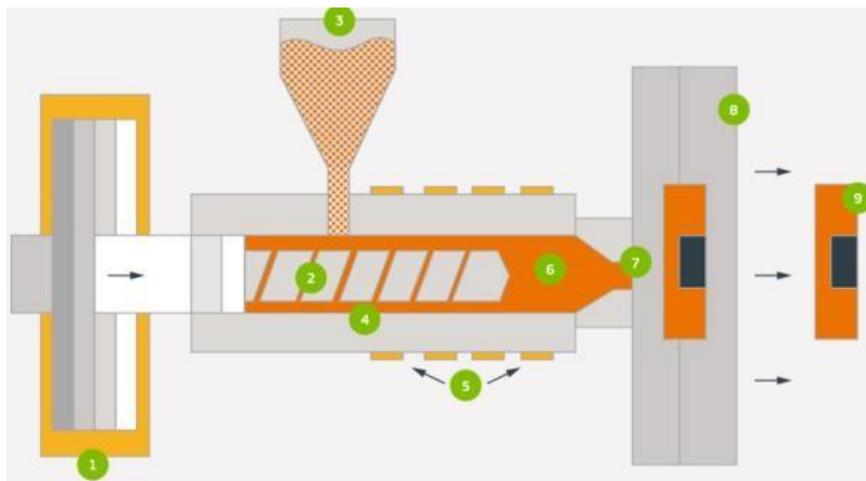


Figura 10 Componentes de una máquina de inyección en el proceso de moldeo por inserción: 1) Pistón hidráulico 2) Husillo 3) Tolva 4) Barril 5) Bandas calefactoras 6) Material dosificado 7) Anillo Centrador 8) Molde de inyección 9) Pieza moldeada por inserción <sup>18</sup>.

### 2.3.2 Defectos en piezas moldeadas por inyección

Durante el proceso de moldeo por inyección de plásticos puede haber una gran cantidad de problemas, muchos de ellos por causa de un mal diseño, otros por desgaste excesivo en el molde y otros generados durante el proceso, estos defectos ocasionan problemas estéticos en la

<sup>18</sup> Obtenido de: <https://www.protolabs.es/servicios/moldeo-por-inyeccion/sobremoldeo-y-moldeo-con-inserciones/>

superficie de la pieza, unos más empeoran las propiedades mecánicas de las piezas, entre los defectos más comunes en piezas inyectadas se encuentran:

### **Excedentes (rebabas)**

Se le llama así al exceso de material, ubicado en el borde de la pieza, este excedente se puede observar en la figura 11. Esto es el resultado del material que pasa a través de la línea de partición, o través de los componentes del molde como los expulsores (botadores), o insertos. Este problema se puede deber al exceso de temperatura en el material, lo que provoca una disminución en la viscosidad haciéndolo más fluido, con ello, se provoca que la masa fundida se fugue por la línea de partición durante la primera etapa de inyección. Otras causas de este problema son cantidades excesivas de material, altas velocidades de inyección o un desbalanceo de cavidades. Aunque no solo el problema de rebabas sucede durante la primera etapa, ya que, en la segunda etapa, una presión excesiva de mantenimiento o una fuerza de cierre baja provoca también el problema de rebaba.



*Figura 11 Pieza con problemas de rebabas<sup>19</sup>.*

### **Huecos o vacíos (vacuolas o vacíos)**

Son secciones en la parte interna de la pieza, en donde debido a una diferencia de temperaturas, el material se contrae dejando una cavidad en el interior de la pieza figura. Este defecto ocurre debido a pérdidas de presión durante el proceso de inyección a causa de temperaturas bajas en el material, otra causa durante la primera etapa de inyección es el tamaño de disparo insuficiente, así como la baja velocidad de inyección son causantes de vacíos en la pieza, durante la segunda etapa de inyección también hay un causante importante de este defecto y es una baja presión de mantenimiento, dicho defecto se muestra en la figura 12,

<sup>19</sup> Obtenido de: <http://help.autodesk.com/view/MFAA/2015/ESP/?guid=GUID-B643B638-FC05-47E1-A89D-564F461785C0>

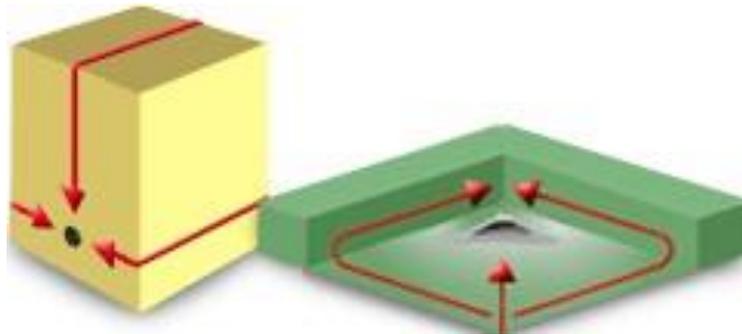


Figura 12 Pieza con problemas de atrapamiento de aire<sup>20</sup>.

### Llenado deficiente

Es una pieza incompleta, que puede deberse a una temperatura baja en la masa fundida, ocasionando que la viscosidad aumente, haciendo que el material fundido entre a velocidades lentas, enfriándose rápidamente creando un sello en el molde impidiendo que el flujo de plástico fundido pueda introducirse en las cavidades del molde. Los casos más comunes de disparos cortos suceden debido un mal control del cambio entre las presiones involucradas (de inyección y de mantenimiento) inyectando menor cantidad de la necesaria, dicho defecto se muestra en la figura 13.

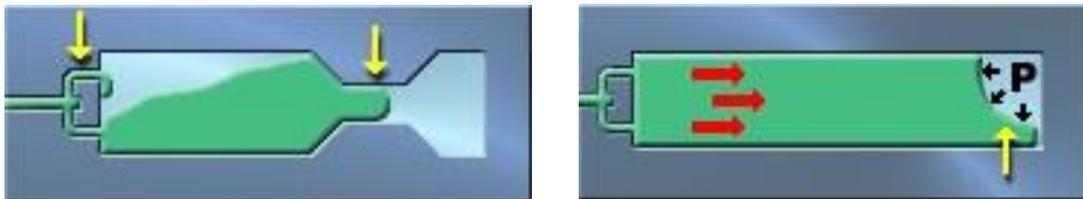


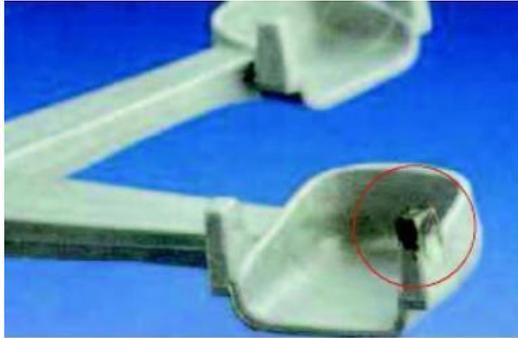
Figura 13 Inyecciones cortas o llenado deficiente<sup>21</sup>.

### Efecto diesel

Aparecen como decoloraciones negras-grisáceas en la superficie de la pieza del último punto de llenado, esto provocado por los gases atrapados, comprimidos y calentados dentro del molde, durante la primera etapa de inyección. Ese gas resultado de la combustión quemará la parte delantera del frente de flujo del polímero. Generalmente la decoloración de la pieza se produce cerca del final del llenado, en donde termina el flujo o en las costillas. Los principales motivos de este defecto son una alta velocidad de inyección, desplazando mayor cantidad de aire que la que los venteos pueden contener, dicho defecto se muestra en la figura 14.

<sup>20</sup> Obtenido de: <http://help.autodesk.com/view/MFAA/2015/ESP/?guid=GUID-7BD14FDA-D344-4131-87A0-37FFB8B8FA39>

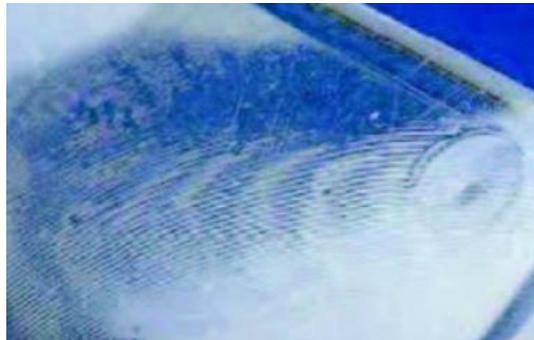
<sup>21</sup> Obtenido de: <http://help.autodesk.com/view/MFAA/2015/ESP/?guid=GUID-8E112178-5124-4049-B9BF-C4413A1EC44D>



*Figura 14 Efecto Diésel<sup>22</sup>.*

### **Líneas de flujo:**

Aparecen como ondulaciones perpendiculares en la dirección del flujo, esto ocurre debido a una baja temperatura en la masa fundida, ocasionando que no se adhiera a la superficie del molde creándose las líneas de flujo, otra causa de este problema es la falta de cantidad de material a inyectar durante la primera etapa de inyección, ocasionando que durante la atapa de mantenimiento se inyecte demasiado material dando como resultado las líneas de flujo. Otra causante de este problema es la baja temperatura en el molde, dicho defecto se muestra en la figura 15.



*Figura 15 Líneas de Flujo<sup>23</sup>.*

### **Líneas de soldadura**

Son líneas de fusión ocasionados por el choque entre dos flujos generados por la presencia de algún corazón o geometría que divida al flujo durante el proceso de inyección. Una de las causantes de este problema es la baja temperatura de la masa fundida, ocasionando que cuando los dos frentes de flujo previamente separados se unan se forme una línea de fusión débil, dicho defecto se muestra en la figura 16.

<sup>22</sup> Obtenido de: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-ii.html>

<sup>23</sup> Obtenido de: <http://tecnologiadelosplasticos.blogspot.com/2011/06/inyeccion-de-materiales-plasticos-ii.html>

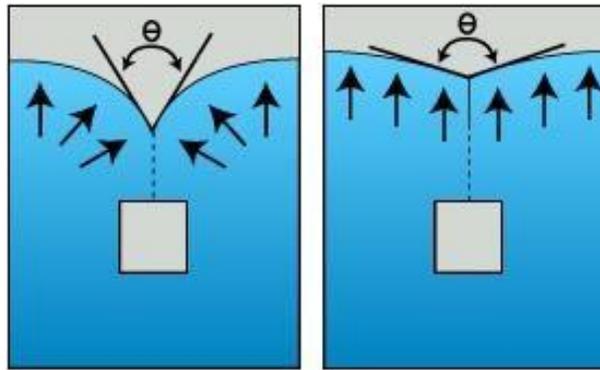


Figura 16 Líneas de Soldadura<sup>24</sup>.

### 2.3.3 Máquina de inyección

Una máquina de inyección es un medio por el cual se pueden transformar diferentes tipos de materiales poliméricos, en forma de gránulos o pellets, a una pieza con dimensiones geométricas a través de un molde. El proceso consiste en fundir el material mediante las revoluciones de un husillo y unas resistencias eléctricas, para después ser inyectada a velocidades y presiones para introducir el plástico dentro de la cavidad del molde que posteriormente será enfriada haciendo uso de agua o refrigerante a través de canales que se encuentran dentro del molde.

Las unidades fundamentales que conforman una máquina de inyección son cuatro:

1. Bancada: Es la sección de la máquina que brinda soporte, estabilidad y es la encargada de disminuir las vibraciones de la máquina de inyección. Es importante que durante la instalación, sea nivelada correctamente para tener un desempeño adecuado de los elementos en movimiento.
2. Unidad de inyección: Es la sección de la máquina que se encarga de fundir, transportar, e inyectar el plástico fundido dentro de las cavidades del molde, dentro de esta sección se encuentra el corazón de la máquina llamada husillo que es la encargada de transportar mediante un giro rotacional el materia desde la zona de alimentación, pasando por la zona de compresión y llegando hasta la zona de dosificación en donde posterior el husillo deja de rotar para solamente efectuar el movimiento similar a un pistón. Es importante resaltar que el proceso de fundición de los plásticos a lo largo del barril se debe a la presencia de resistencia eléctricas, pero también a la fricción que se genera entre el husillo, los pellets y el barril.

<sup>24</sup> Obtenido de: <http://help.autodesk.com/view/MFAA/2015/ESP/?guid=GUID-8E112178-5124-4049-B9BF->

3. Unidad de cierre: Es la sección de la máquina que se encarga de soportar y brindar la fuerza (fuerza de cierre) necesaria para que el molde no se abra durante el proceso de inyección.

Esta sección cuenta con dos platinas, una platina móvil que es la que soporta la mitad del molde en donde se encuentran los botadores y es la encargada de expulsar la pieza mediante un perno de botado actuada por medio de un pistón hidráulico, mientras que la platina fija es la encargada de soportar la otra mitad del molde que conecta a la unidad de inyección con la unidad de cierre y es por donde ingresa el plástico fundido durante el proceso de inyección.

4. Unidad de control: Esta sección posee un panel táctil, que es la que se encarga de controlar todas las funciones de la máquina de inyección, en esta sección se controlan los parámetros tales como: la velocidades y presiones de inyección, tamaños de disparo, velocidad y distancia de apertura y cierre de molde y botadores.

En la figura 17 se muestra una máquina de inyección de la Unidad de Alta Tecnología, UAT, de la Facultad de Ingeniería de la UNAM, con capacidad de 200 ton de fuerza de cierre.



Figura 17 Máquina de inyección Sumitomo Shi Demag 210 -840<sup>25</sup>.

### 2.3.4 Molde para inyección de plásticos

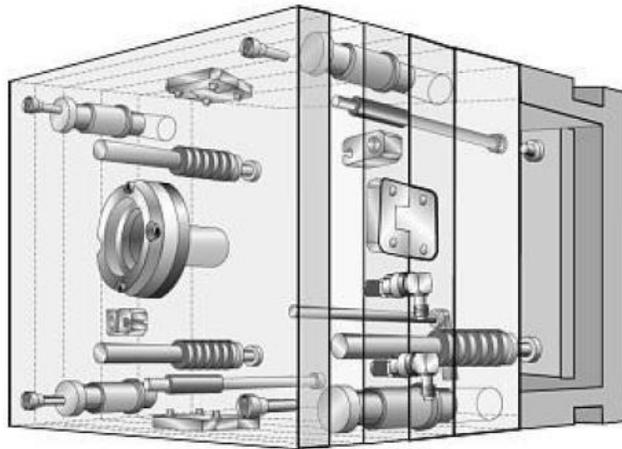
El molde es una parte esencial durante el proceso de moldeo por inyección ya que es el encargado de almacenar la masa fundida dentro de sus cavidades para darle la forma, y posteriormente enfriarla mediante un sistema de refrigeración que pasan a través del molde haciendo uso de agua o refrigerante, por ser un elemento que da forma a la pieza deseada es importante mantenerlo en buenas condiciones en la figura 18 se muestra la imagen correspondiente a un molde convencional.

<sup>25</sup> Imagen de: Neill Reyes, Unidad de Alta Tecnología

Aunque muchas veces una mala elección del material para realizar el molde es la causa de graves problemas en el molde. A continuación, se mencionan los aspectos generales que se deben considerar a la hora de seleccionar el material para la fabricación de un porta molde:

Alta resistencia al desgaste: Muchas de las piezas inyectadas están reforzadas con fibras de vidrio, así como también pigmentadas con la intención de mejorar algunas de sus propiedades mecánicas y de apariencia, pero es importante conocer que los pigmentos son altamente abrasivos, por lo que si no se selecciona el material adecuado puede llegar a generar altos grados de desgaste en las cavidades [20].

Alta estabilidad de medidas: Es de gran importancia considerar el material adecuado para su fabricación, recordando que el molde estará sometido a temperaturas de hasta 250 °C, es importante tener esto presente ya que las altas temperaturas pueden ocasionar alteraciones en la estructura del molde ocasionando inestabilidad dimensional en las piezas inyectadas [20].



*Figura 18 Molde de inyección de termoplásticos<sup>26</sup>.*

La clasificación de los moldes se realiza con base en la cantidad de producción que se va a obtener de dicho molde, en general existen tres categorías [9]:

- Moldes Prototipo.- Con este tipo de moldes se generan entre 25 y 1000 piezas. El desarrollo de este tipo de moldes se lleva a cabo cuando se realiza un nuevo producto, y sirve para verificar el comportamiento de una resina a la hora de inyectar, determinar el nivel de contracciones en la pieza, verificar los puntos de inyección, así como comprender las condiciones del proceso.
- Moldes de Producción. – Se obtiene entre 1000 y 10000 piezas.

<sup>26</sup> Obtenido de: The complete part design handbook, E.A. Ocampo.

- Moldes de alto volumen de producción.- se obtienen entre 10000, a 2000000.

Las partes básicas que conforman un porta molde son:

Placa superior: Es la placa encargada de soportar la placa porta cavidad "A", el anillo centrador y el bebedero. Además de ser la placa que sostiene la mitad del molde a la platina fija. En algunos diseños la placa superior y la placa porta cavidades "A" pueden combinarse para ser una sola.

Placa porta cavidades A: Es la placa que contiene la cavidad, sirve de soporte al bebedero, y contiene los ejes guía que permiten la alineación entre la placa porta cavidades A y B durante la etapa de cierre de molde y que junto con la placa superior quedan ancladas en la platina fija, por medio de sujetadores o clamps.

Placa porta cavidades B: Es la placa que contiene la otra mitad de la figura de la pieza a formar dentro de la cavidad, contiene también los bujes que permiten la entrada de los ejes guía de la placa porta cavidades A para que puedan alinearse con la máquina de inyección.

Placa respaldo: Es la placa que sirve para proporcionar resistencia a la placa porta cavidades B, esto debido a que durante el proceso de inyección la placa porta cavidades B recibe una gran cantidad de presión es necesaria reforzarla con otra placa para evitar deformaciones o pandeos. Aunque en ocasiones no basta con solo usar la placa de respaldo, sino que también se hacen uso de columnas que refuerzan en gran medida las zonas centrales del porta molde.

Puentes: Son placas paralelas que se colocan detrás de la placa respaldo para proporcionar la altura requerida por el sistema de expulsión. Estas placas paralelas se utilizan también para unir la placa inferior con la placa de respaldo.

Placa de expulsión: Es la placa que almacena a los expulsores o botadores, y es la encargada de trasladarse horizontalmente junto con la placa retenedora a través de unos ejes guía para realizar la expulsión de la pieza.

Placa de retención: Es la placa que se encuentra detrás de la placa de expulsión y es la encargada de impedir la salida de los botadores a la hora de expulsar la pieza. El método de unión entre la placa de expulsión y la placa retenedora se realiza a través de tornillos sin cabeza llamados "allen", lo que permite que ambas placas se deslicen horizontalmente a través de los ejes guía.

Placa inferior: Es la placa que se encarga de soportar la otra mitad del molde a la platina móvil de la máquina, el sistema de sujeción se realiza por medio de sujetadores (clamps). Esta placa cuenta con un barreno en la zona central para permitir que una barra de botado pase a través de ella y pueda empujar la placa retenedora para realizar el proceso de botado de la pieza.

En la figura 19 se puede observar un esquema de los elementos antes mencionados.

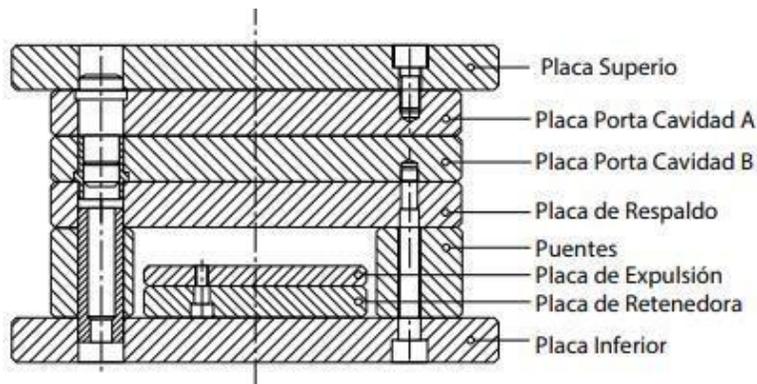


Figura 19 Diagrama de porta molde estándar.

## 2.4 Importancia del diseño en los plásticos

Al diseñar piezas de plástico, los diseñadores consideran tres factores importantes para una pieza, la estética, la funcionalidad y el método de fabricación. El diseño final de la pieza debe satisfacer los requisitos en cada uno de estos factores, aunque en el mayor de los casos estas se encuentran en conflicto entre sí. Para el desarrollo de piezas plásticas existen diferentes enfoques que se pueden tomar para desarrollar una nueva pieza, las principales características a considerar durante la etapa de diseño son: factores de contracción, factores de seguridad, líneas de partición, refuerzos mediante costillas, redondeo de zonas agudas, espesores y ángulos de salida mostradas en la figura 20, es importante tener presente todas estas características antes de desarrollar el diseño de una pieza [33].

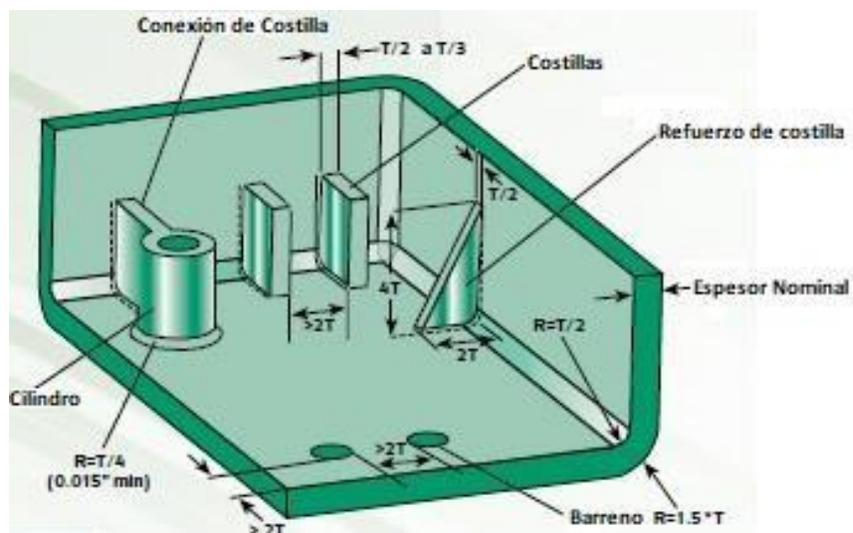


Figura 20 Pieza representativa de la aplicación de reglas de diseño para piezas plásticas<sup>28</sup>.

<sup>28</sup> Obtenido de: RTP imagineering plastics, Part Design Guidelines For Injection Molded Thermoplastics, rtp company.

### **2.4.1 Herramientas de diseño**

Las herramientas de diseño son recursos utilizados mediante el manejo de ordenadores y softwares, que sirven de apoyo a diseñadores e ingenieros que permiten diseñar, simular y analizar las características estéticas, mecánicas y de fabricación a partir de datos técnicos obtenidos de libros, manuales o catálogos. Con el fin de acelerar el desarrollo de un producto, se ha optado por realizar análisis previos a la fabricación que implica gastos innecesarios y tiempos perdidos [33].

#### **Análisis de diseño y manufactura computacionales**

El Diseño asistido por computadora CAD es una herramienta computacional que permite generar modelos tridimensionales, a partir de los cuales se pueden obtener diferentes vistas en dos y tres dimensiones, otra característica importante de este módulo es la creación de planos a partir de modelos 3D, cuya finalidad es la de generar diferentes vistas del modelo en donde se asocia la medida de cada sección.

Otra herramienta computacional importante en la fase de desarrollo de un producto es la manufactura asistida por computadora (CAM), la cual permite realizar simulaciones de manufactura, entre las que se encuentran procesos como el torneado, barrenado, taladrado y careado. El objetivo de estos análisis es identificar complicaciones durante el maquinado, y corregirlos antes de ser trabajados en máquinas, cabe señalar que para efectuar dichos análisis se debe tener conocimientos sobre el tipo de herramienta que se requiere, los parámetros que interfieren en el proceso tales como (velocidad de corte, revoluciones de husillo, profundidad de desbaste y paso diametral) contar con la información técnica de los cortadores a utilizar proveniente de catálogos tales como (número de filos, velocidad de giro, tipo de material y profundidad de corte) todo es para poder realizar la programación adecuada.

El software que comúnmente se utiliza para generar el proceso de maquinado es el Mastercam, debido a las grandes ventajas que ofrece, entre las que se encuentran una gran cantidad de herramientas de corte precargadas en el programa, a diferencia de NX Siemens, en donde se tiene que colocar los datos técnicos para generar la herramienta, generando tiempos largos durante la programación; presenta una interfaz de simulación 3D en donde se observa cómo se está llevando a cabo el proceso de maquinado, esto ayuda en gran medida a identificar las zonas que no pudieron ser maquinadas, evaluar la calidad de corte que se requiere y determinar e identificar el desplazamiento del cortador.

### **2.5 Conectores estructurales**

En la actualidad se encuentran una gran cantidad de medios de unión que van desde simples amarres, pasando por bambús rellenos de mortero, hasta llegar a conectores universales [8]. Sin embargo, los Arquitectos decidieron utilizar uniones de bambúes mediante nodos de conexión.

Los conectores son parte fundamental de los sistemas estructurales reticulados, son empleados en la unión de dos sistemas (barras) fijándose mediante tornillos, soldadura, chavetas especiales y encastre.

En la actualidad el uso de nodos es muy común en estructuras ligeras, debido a su rapidez de instalación, su rehusó y su capacidad de carga. Entre los nodos más utilizados se encuentran:

Nodo Kieffer: Sistema de unión que consta de un cilindro central que hace de pasador en el nodo, rodeado por dos cilindros a los que se suelda nervaduras encargadas de sostener los tubos acopladores, este anclaje es complicado de fabricar, además al estar solamente unido por tornillos pasados anclado a unas placas metálicas no presenta una firmeza en su conexión, este tipo de unión presentaría movimiento en presencia de peso [8] figura 21.

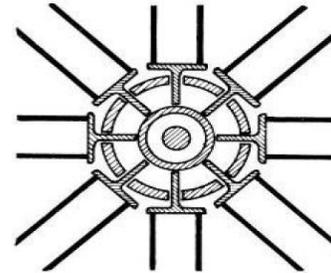


Figura 21 Nodo Kieffer (Estructuras de grandes luces).

Nodo Mero: Sistema de unión estructural que se emplea en estructuras de tipo provisional o fijo, este sistema consta de un poliedro de 18 caras roscados, este sistema es capaz de unir 18 tubos atornillados a la misma vez, por lo que es un sistema bastante practico [8]. Este sistema debido a su gran cantidad de caras puede llegar a cubrir una cantidad de posiciones de los tubos, en diferentes ángulos [15] figura 22.



Figura 22 Nodo Mero (Estéreo estructuras Universidad de La Plata).

Nodo Triodetic: Sistema de colocación estructural que no hace uso de soldadura, pernos o tornillos, el medio de funcionamiento consiste en un tubo cilíndrico que se aplasta al ser unido con un disco también cilíndrico, los tubos se aplastan en los extremos para poder introducirla en las hendiduras dentadas del tubo ubicadas perimetralmente, este tipo de conectores permite únicamente ángulos de 45° y 90° [15] figura 23.

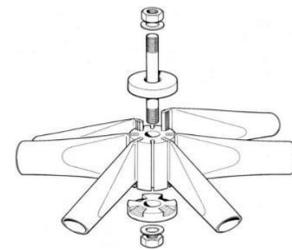


Figura 23 Nodo Triodetic (Estructuras ligeras prefabricadas).

Nodo Segmo: Son sistemas de acero, compuestos de una parte esférica y otra prismática. El método de unión se realiza por pernos o soldadura. Al ser un sistema que puede utilizar soldadura se vuelve peligrosa y pesada al ser de acero [8] figura 24.

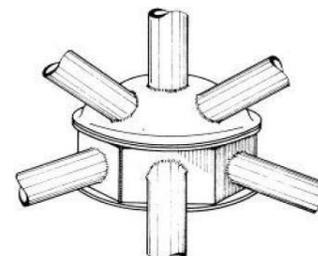


Figura 24 Nodo Segmo (Estructuras de grandes luces).

Nodo Tipo C: En el año de 1983 el Dr. Juan Gerardo Oliva Salinas perteneciente a la Facultad de Arquitectura de la Universidad Nacional Autónoma de México patentó un sistema de unión para estructuras ligeras de Bambú llamado Nodo tipo C [48], este medio de unión consiste en un sistema esférico formado por dos secciones circulares de 5" de diámetro con espesores de 1/2" y 1" llamado conector, ensambladas a través de una abertura de 1" que posee cada uno, el sistema de unión entre secciones se realiza mediante un esparrago de 3/8" que pasa a través de cada una de ellas por la parte central, siendo atornillada por tuercas en los extremos, como se observa en la figura 25.



Figura 25 Vista explosiva del nodo tipo C (Facultad de Arquitectura UNAM).

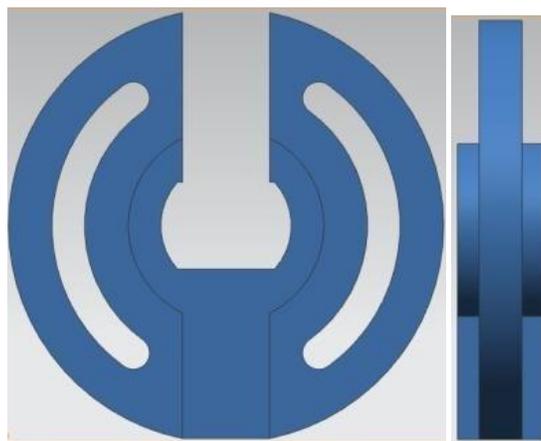
El nodo tipo C fue diseñado y patentado en material metálico, aunque nunca se llevó a producción masiva; este nodo ofrece grandes beneficios en cuanto elementos de sujeción, pues es el que cuenta con menos elementos de unión a los multi-bambúes. Además, debido a la creciente ola de desarrollos en infraestructuras sustentables que involucran a las estructuras ligeras hechas de bambú en los últimos años, se decidió retomar el proyecto.

Dado que cada día, se busca desarrollar estructuras con soluciones que busquen aligerar el peso y reducir el gasto económico, es que se decide realizar el diseño adaptativo del conector realizado inicialmente en acero cambiándolo por un material ligero como lo es la poliamida, dado que los procesos de fabricación por los que se obtienen los conectores en la actualidad se realizan mediante mecanizado por arranque de viruta, forja o extrusión y considerando el tiempo de maquinado que se requiere para la elaboración de cada uno de ellos, además de considerar que muchas de ellas requieren de soldadura durante el montaje de la estructura, es que se decidió escoger el proceso de moldeo por inyección de plásticos como medio de fabricación de los conectores estructurales debido a la gran producción de piezas que se puede obtener en poco tiempo.

## **CAPITULO 3. Propuesta de diseño para la elaboración de un conector estructural**

### **3.1. Diseño del conector estructural**

Como ya se ha mencionado el diseño del conector tipo C, desarrollado en la Facultad de Arquitectura, tiene como material principal el acero; sin embargo, el pensar en una producción masiva de este material implica costos elevados y al igual elevados tiempos de fabricación. Por lo antes mencionado, se considera el método de fabricación de moldeo por inyección de plásticos, una alternativa que contrarreste estos inconvenientes, con la salvedad de que es necesario rediseñar el conector, ya que este, originalmente, posee características no apropiadas para el proceso de inyección de piezas plásticas, entre las que se encuentran zonas agudas, espesores gruesos a lo largo de toda la pieza, sin ángulos de salida y sin considerar algún factor de contracción. De esta manera, se recurre al uso de análisis estructural por medio de elemento finito (FEM), así como análisis de moldeabilidad apoyado con el software Moldflow Adviser. La finalidad de los análisis realizados es de gran apoyo para encontrar una buena relación entre la capacidad de carga, un llenado eficiente y los tiempos cortos de ciclo. La figura 26 muestra la configuración geométrica original del conector en acero. La propuesta de material a utilizar fue dada por los usuarios basado en poliamida 6/6 con 30% de fibra de vidrio. De acuerdo con Albert Dietz [35], los plásticos utilizados como elementos primarios de carga o como elementos secundarios de transmisión usados en estructuras, se encuentran los plásticos reforzados con fibra de vidrio. Aunque es sabido que las poliamidas son materiales poco tolerables a la intemperie, esto se tomó en cuenta considerando que se utilizará en estructuras de corta duración.



*Figura 26 Conector diseñado en acero.*

### **Análisis estructural del conector original**

Un análisis estructural se realiza para comprender el comportamiento mecánico de algún elemento, que está sometido a cargas, enfocando los resultados a esfuerzos, desplazamientos y deformaciones.

Para el análisis estructural se consideró un análisis estático lineal, debido a que el conector no debe presentar deformación plástica al estar sometido a las cargas propuestas por el usuario y descritas más adelante, al ser un análisis estático lineal se desprecian las fuerzas inerciales y de amortiguación.

Con respecto al material, para el análisis se considera una poliamida 6/6 reforzada con fibra de vidrio al 30% (PA66–GF30-02) de la marca Celstran® de Celanese. La tabla 2 muestra las propiedades mecánicas, utilizadas para llevar a cabo el análisis estructural.

*Tabla 2 Propiedades mecánicas del Nylon 66 (PA-GF30-02) obtenidas de la base de datos de propiedades mecánicas de Autodesk Moldflow Adviser Ultimate 2017.*

NYLON 66 (PA66–GF30-02)	
Material	Ortotrópico
Densidad	1394 (Kg/m <sup>3</sup> )
1 <sup>st</sup> Módulo de Young (E1)	9569 (MPa)
2 <sup>nd</sup> Módulo de Young (E2)	6491 (MPa)
3 <sup>rd</sup> Módulo de Young (E3)	6491 (MPa)
1 <sup>st</sup> Coeficiente de Poisson (V1)	0.369
2 <sup>nd</sup> Coeficiente de Poisson (V2)	0.406
3 <sup>rd</sup> Coeficiente de Poisson (V3)	0.406
1 <sup>st</sup> Módulo de Corte (G1)	2320 (MPa)
2 <sup>nd</sup> Módulo de Corte (G2)	2320 (MPa)
3 <sup>rd</sup> Módulo de Corte (G3)	2320 (MPa)
Esfuerzo de ruptura (Anexo A1)	172 (MPa)

Para comenzar el análisis fue necesario conocer las cargas a las que estaría sometido el conector, dicho valor fue calculado y proporcionado por el usuario, siendo de 2066 [N]. Considerando el factor de seguridad de 1.2, se obtuvo una fuerza de 2407 [N]. Este último valor es con el que se trabajó en todos los análisis de esfuerzos siguientes.

Para entender como es el comportamiento mecánico del conector, se comenzó por posicionar las cargas en 4 zonas diferentes (zona superior, zona media, zona baja y zona mixta) mostradas en la figura 27 realizando un análisis de esfuerzos por cada una de ellas, esto con la finalidad de identificar las zonas en donde se concentrarán la mayor cantidad de esfuerzos, permitiendo identificar las zonas más propensas a la ruptura (zona crítica), la elección de estas zonas fue debido a que son las posiciones más utilizadas en la estructura.

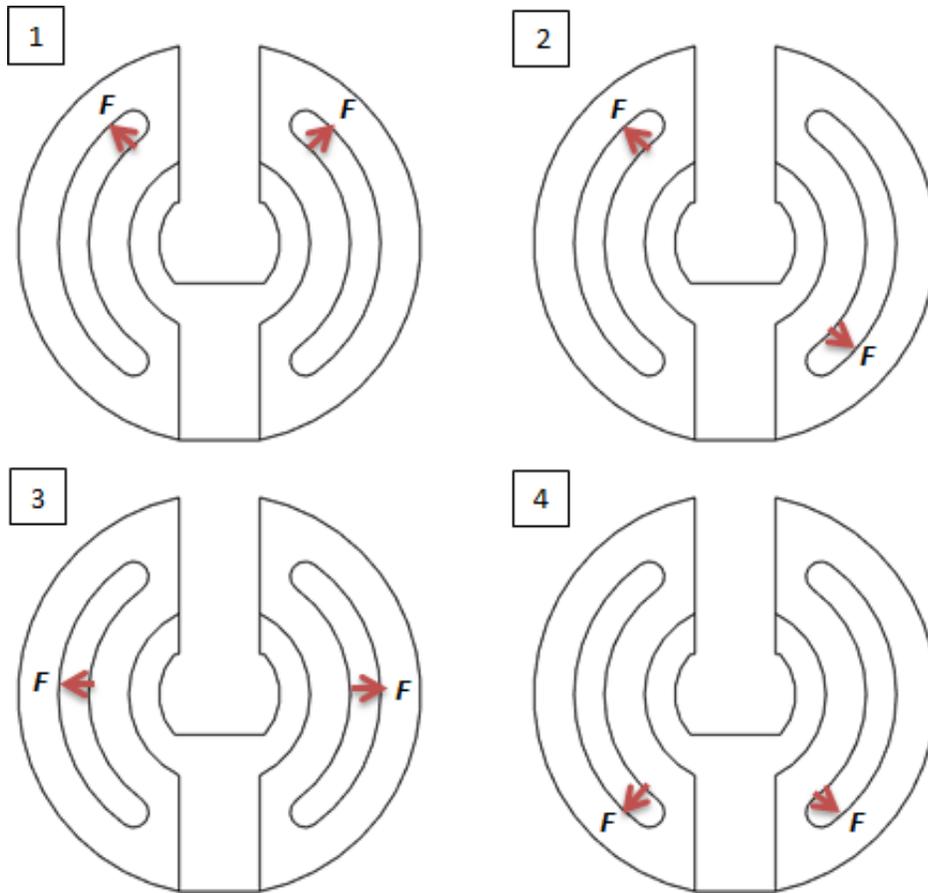
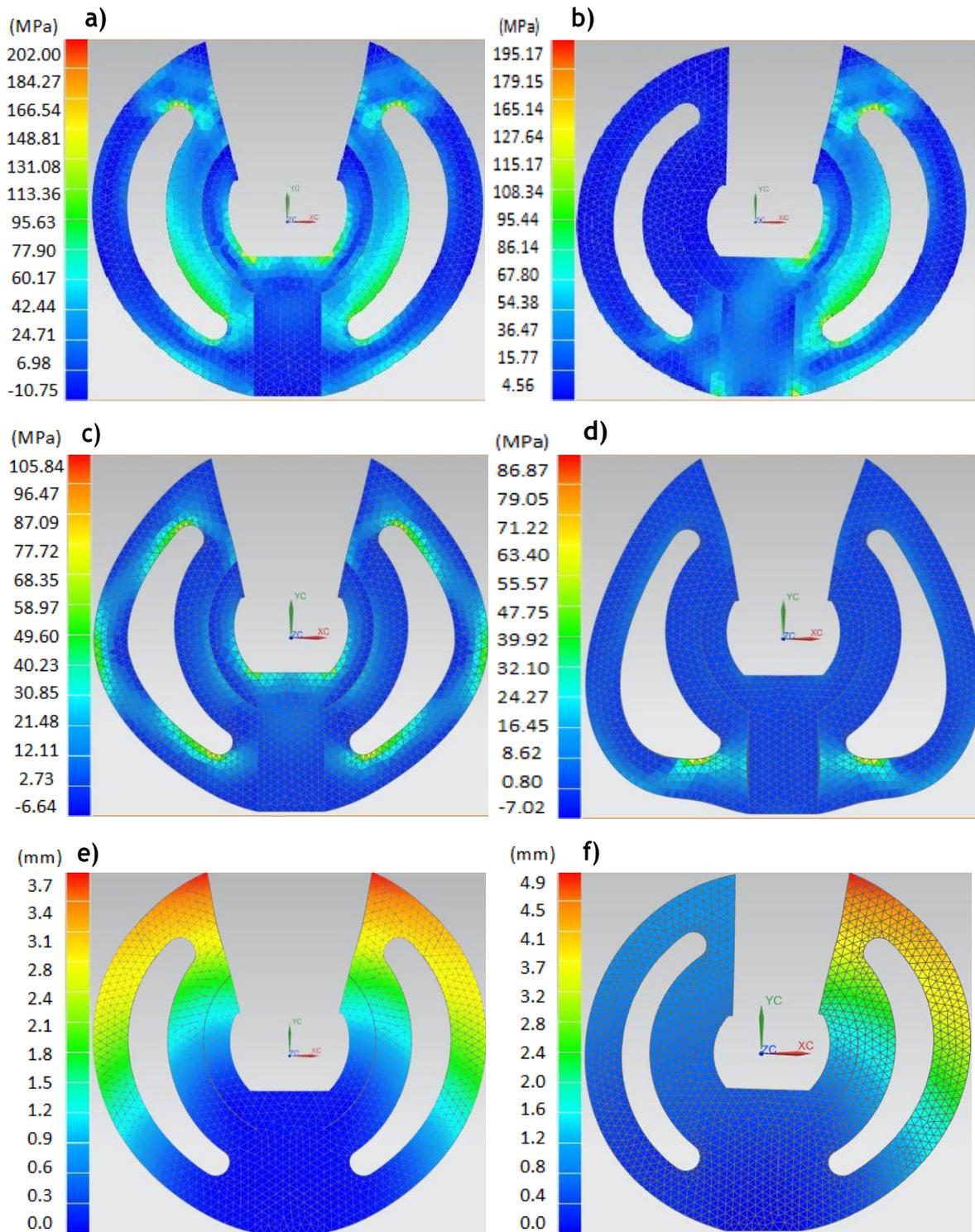


Figura 27 Diagrama de cuerpo libre del conector estructural en distintas posiciones de carga [(1) zona superior, (2) zona mixta, (3) zona media y (4) zona baja].

Para llevar a cabo el análisis estructural, se utilizaron elementos tetraédricos, con la finalidad de obtener análisis rápidos [46]. Dentro de la librería NX se tomaron en cuenta dos tipos de elementos tetraédricos correspondientes a 10 y 4 nodos, para fines de estos análisis se trabajaron con el elemento tetraédrico 10 (ctetra10).

Continuando con el análisis esfuerzos, se consideró un área de  $9 \text{ mm}^2$ , que representa el área de contacto de un perno de  $9.52 \text{ mm}$  ( $3/8''$ ), encargado de la unión entre el conector y el acoplador, en donde se aplicarán las fuerzas de  $2407 \text{ [N]}$  en las cuatro zonas antes mencionadas, para finalizar se consideró un sistema de empotramiento en la parte inferior del sistema circular.

La figura 28 muestra los esfuerzos y desplazamiento generados en las 4 zonas antes mencionadas, los cuales están resumidos en la tabla 3.



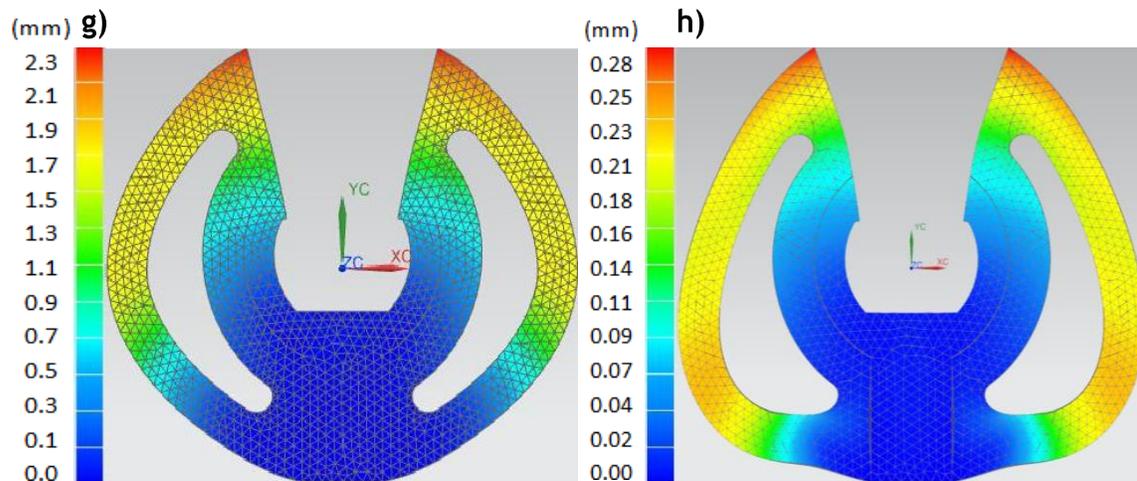


Figura 28 Esfuerzos máximos principales obtenidos en la zona a) superior, b) mixta, c) media, d) inferior y desplazamientos obtenidos en la zona e) superior, f) mixta, g) media, h) baja del conector original.

Tabla 3 Análisis de esfuerzos en distintas zonas del conector.

Zonas	Esfuerzo máximos principales [MPa]	Desplazamientos [mm]
Superior	202.00	3.7
Media	105.84	2.3
Inferior	86.87	0.28
Mixta	195.17	4.9

Es importante mencionar que, al trabajar con una poliamida reforzada, los esfuerzos de Von Mises, no son los adecuados para analizarlo, esto debido a que este criterio de falla es ocupado cuando se analizan materiales dúctiles, y debido a la presencia de fibras de vidrio como refuerzo, el nylon se considera como material rígido, lo que, para este trabajo, se ocupó el criterio de falla de esfuerzos máximos principales.

Como puede observarse en la tabla 3, el esfuerzo más significativo que se generó en el conector es el que se encuentra en la zona superior, siendo esta la zona más importante de todo el sistema circular, por lo que en los siguientes análisis solo se efectúan las observaciones pertinentes en esta zona. De acuerdo con la figura 28, los desplazamientos máximos se encuentran en la región superior del conector indicados de color rojo, sin importar la zona de aplicación de las cargas, aunque si se presenta un mayor desplazamiento cuando las cargas son aplicadas en la zona mixta, configuración 2 de la figura 27.

Los esfuerzos máximos principales obtenidos en la zona crítica del conector fueron de 202 [MPa], este valor superó el esfuerzo de ruptura de la poliamida 6/6 reforzada que es de 172 [MPa], comparando estos dos valores se determina que el conector presentará una ruptura cuando está sea sometida a las cargas máximas dado que supera el esfuerzo de ruptura del material.

## Análisis de moldeabilidad

Con el fin de conocer con anticipación las condiciones del comportamiento de la masa fundida durante la fase de llenado, fue indispensable realizar un análisis de moldeabilidad. Dada la importancia que tiene el tiempo de ciclo, la resistencia estructural y la calidad para este trabajo, es que se consideran los resultados del tiempo de inyección, la presión de inyección, la temperatura de masa fundida, la presencia de líneas de soldadura y el tiempo de enfriamiento.

El análisis de moldeabilidad comienza, con la identificación de la mejor zona para colocar el punto de inyección, esto sucede cuando el flujo muestra un patrón de llenado equilibrado, lo que permite que las extremidades de la pieza se llenen simultáneamente y bajo la misma presión.

Para determinar el llenado de las cavidades, se estableció el tiempo de inyección, la temperatura del molde y la temperatura de la masa fundida a través de obtener la ventana de proceso. La importancia de determinar el tiempo de inyección, radica en encontrar un balance en el llenado a lo largo de toda la pieza, para asegurar que las zonas de los bordes de la pieza se llenen al mismo tiempo o en su defecto con una diferencia de llenado entre los bordes menor a 1 [s]<sup>30</sup>, de lo contrario, es probable que exista una sobre compactación en la zonas de los bordes que se llenan primero, lo que puede provocar un exceso de peso en la pieza así como probables deformaciones. Además, si se consideran tiempos de inyección cortos, se reduce el ciclo de inyección.

Por otro lado, dado que la pieza considerada es estructural, las líneas de soldadura toman un papel importante debido a que la presencia de estas puede provocar fallas en su funcionalidad. Como la pieza presenta costillas que refuerza sus propiedades, es difícil evitar las líneas de soldadura ocasionando choque de flujos en varios puntos.

Dado que es difícil de saber si las líneas de soldadura debilitarán a la pieza es necesario realizar una evaluación de las zonas en donde se presentan, a continuación, se describe el criterio de evaluación utilizado:

**Temperatura de masa fundida:** La calidad de una línea de soldadura depende de la temperatura a la que se forma, así que es indispensable asegurar que la temperatura de la masa fundida ubicada en la zona donde se encuentran las líneas de soldadura no se encuentre por debajo de 20°C en comparación con el de la masa fundida indicada por la ventana de proceso.

---

<sup>30</sup> Obtenido de: Asesor de análisis de resultados de Moldflow Adviser 2017.

**Análisis de esfuerzos:** Considerando que las zonas de líneas de flujo son puntos débiles, es pertinente considerar el análisis con material de nylon sin refuerzo, dado que éste último presenta menores propiedades que el considerado para este trabajo. Además, durante este análisis es importante prestar atención a los esfuerzos generados en estas zonas para verificar que los esfuerzos se encuentren por debajo del esfuerzo de ruptura del material sin refuerzo.

### Análisis de moldeabilidad del conector original

A pesar de ser una pieza que no soporta las cargas a las que estará sometida, el análisis de moldeabilidad identifica las zonas que presentan posibles problemas de llenado dado que como restricción se tiene que la pieza no debe de cambiar de geometría por lo que servirá de punto de partida para elegir las modificaciones a lo largo del rediseño de la pieza.

Como se mencionó en párrafos anteriores el análisis de moldeabilidad se comienza por identificar la mejor zona para colocar el punto de inyección, en la figura 29, se observa de color azul la mejor zona para colocar el punto de inyección, siendo esta la cara perpendicular a la superficie.

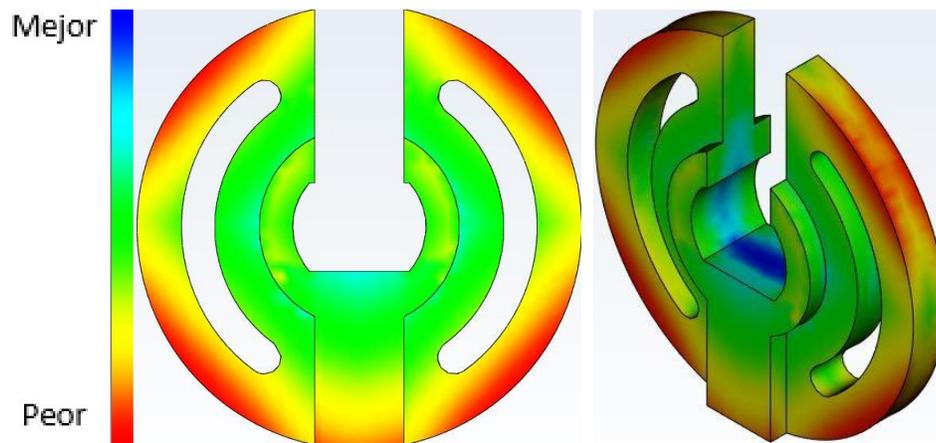


Figura 29 Ubicación de la mejor zona para color el punto de inyección en el conector original.

En la figura 30 se observa el punto de inyección, ubicado en la cara perpendicular a la superficie del conector, el punto de inyección se colocó exactamente a la mitad de la pieza, esto debido a que se está considerando un molde de dos cavidades, en donde la línea de partición se encuentra exactamente a la mitad de la pieza.



Figura 30 Ubicación del Punto de Inyección en el conector original.

Los datos obtenidos de la ventana de proceso se muestran en la tabla 4.

Tabla 4 Datos obtenidos de la ventana de proceso para el conector original.

Parámetros	Valores
Temperatura de Molde	111.1 [°C]
Temperatura de masa fundida	303.3 [°C]
Tiempo de inyección	11.02 [s]

Tomando en cuenta los parámetros preliminares de la tabla 4 obtenidas de la ventana de proceso, se procedió a realizar el análisis de moldeabilidad para la Poliamida 6/6 con 30% de fibra de vidrio.

En el resultado de tiempo de inyección mostrada en la figura 31, se observa que a lo largo de la periferia de la pieza existe una variación en el tiempo de llenado de 5 [s], en donde la zona indicada de color verde es la primera en llenarse con un tiempo de 6 [s], por ser la zona más cercana al punto de inyección, mientras que la zona de color rojo tarda en llenar 11 [s], esta diferencia de tiempo de llenado en la periferia de la pieza es causante de sobre compactación ocasionando un peso excesivo y una posible deformación.

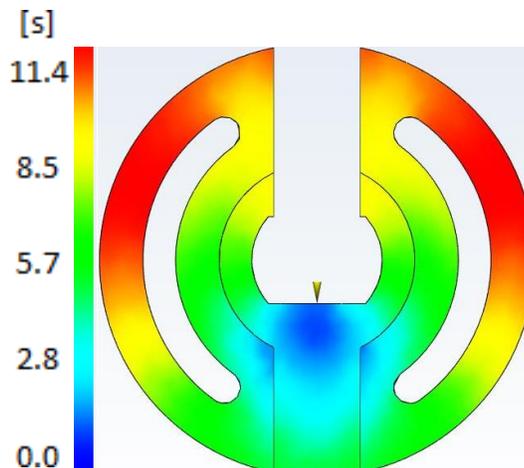


Figura 31 Resultado de tiempo de llenado del conector original.

En la figura 32 se observan las líneas de soldadura que arroja el software moldflow adviser. Como puede verse, estas líneas se ubican en donde la funcionalidad de la pieza es crítica.

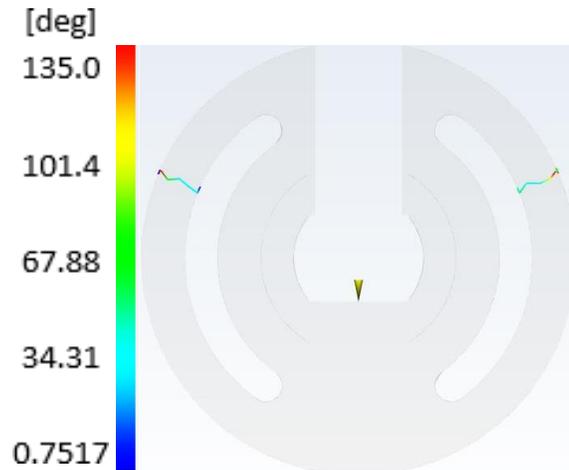


Figura 32 Resultado de análisis de ubicación de líneas de soldadura.

De acuerdo a la figura 33, existen variaciones de temperatura considerables que van desde los 303°C a los 272°C en algunas secciones de la pieza, aunque la variación en otras secciones de la pieza, según la tonalidad naranja-rojiza, la temperatura es cercana a los 303°C, la cual es un indicio de la mejor temperatura para procesar al material, dado que existirá una buena unión entre los frentes de flujo.

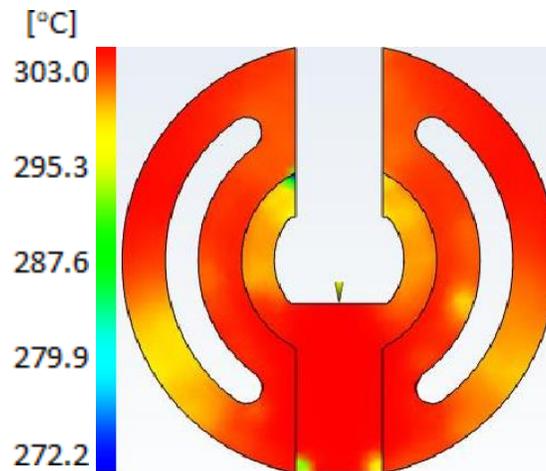


Figura 33 Resultado de temperatura de masa fundida del conector original.

El análisis anterior proporcionó de manera aproximada la calidad de la pieza en la zona crítica; es decir bajo la presencia de líneas de soldadura. Por ello, es necesario verificar su resistencia mediante un análisis estructural similar al realizado anteriormente para corroborar si las líneas de soldadura muestran un comportamiento mecánico similar al de un material sin refuerzo, considerando los mismos parámetros que el análisis estructural anterior con la única diferencia de cambiar de material por una poliamida sin refuerzo, es importante prestar atención a los esfuerzos que se generan en las zonas en donde se presentan las líneas de soldadura, ya que los esfuerzos deben de permanecer por debajo del esfuerzo de ruptura del material sin refuerzo que es de 85 [MPa] (este valor fue obtenido de la base de datos de material de NX Siemens).

En la figura 34, se observan las líneas de soldadura indicadas de color negro y ubicadas en la superficie del conector, a partir de la escala de colores ubicada en la misma figura se observa que los esfuerzos se encuentran por debajo de los 6 [MPa], menor al esfuerzo de ruptura de la poliamida sin refuerzo, por lo que se puede asegurar que las líneas de soldadura no pondrán en riesgo el desempeño mecánico del conector.

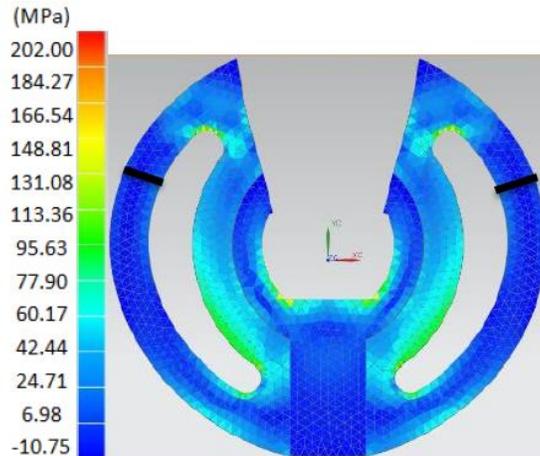


Figura 34 Análisis de los esfuerzos máximos principales del conector original considerando una poliamida sin refuerzo.

Es importante verificar, que la presión de inyección obtenida del análisis de moldeabilidad mostrada en la figura 35, no sobrepase la presión de inyección real de la máquina que es de 194.6 [MPa] (1946 [bar]), ya que si esto llega a suceder significa que se necesita más presión para mover el husillo y alcanzar así el tiempo de inyección, indicado por el resultado de tiempo de llenado, lo cual no es posible dado que existe una presión límite en la máquina que no puede ser modificada. Para este análisis se observa que la presión es mínima en comparación con la presión de la máquina de inyección por lo que no se tendrá problemas en alcanzar el tiempo de inyección.

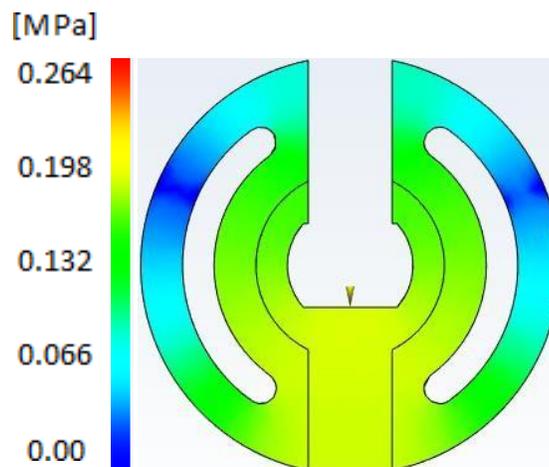


Figura 35 Resultado de presión de inyección del conector original.

El tiempo de enfriamiento que se muestra en la figura 36 indica que en la zona de mayor espesor es excesivo; lo que podría ocasionar tiempos largos del ciclo, situación inconveniente durante la etapa de enfriamiento que es la más larga del ciclo de inyección.

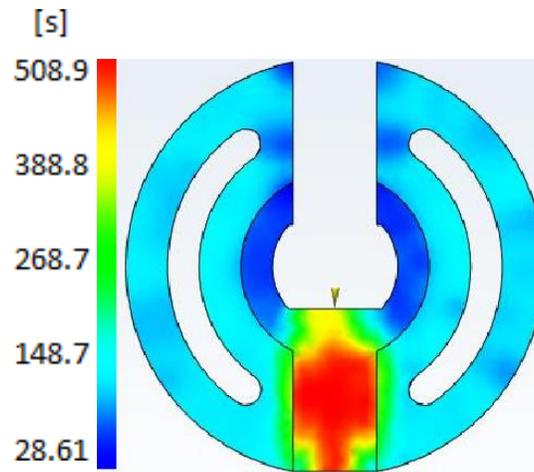


Figura 36 Resultado de tiempo para alcanzar el enfriamiento.

Como puede observarse el conector original hecho en poliamida 6/6 no soporta las cargas a las que estará sometido, y de acuerdo con los planteamientos anteriores se observan las siguientes desventajas:

- Llenado desbalanceado lo que ocasiona una sobre compactación en las zonas que se llenan primero.
- Tiempos largos de llenado.
- Tiempos largos de expulsión.
- Uso de post maquinado, para generar el barreno que servirá como sistema de unión.
- Presenta zonas agudas (a 90°), que complican el maquinado del molde.
- El modelo no considera algún factor de contracción correspondiente a la resina que se utilizará.
- El modelo no posee ángulos de salida, lo que complica la expulsión de la pieza.

Por lo anterior; a continuación, se harán varias propuestas de mejora para el desarrollo del conector, de acuerdo a los parámetros de diseño de piezas de plástico que aseguren la funcionalidad del componente.

### 3.2 Propuesta de diseño para el conector (llamado conector 2)

Con la finalidad de reducir el exceso de tiempo de enfriamiento y balancear el flujo en el conector, se decide hacer una ranura en la parte central del conector, para hacer el recorrido de flujo más largo y así poder balancear el llenado, dichas modificaciones se muestran en la figura 37, así como el ensamble entre conectores.

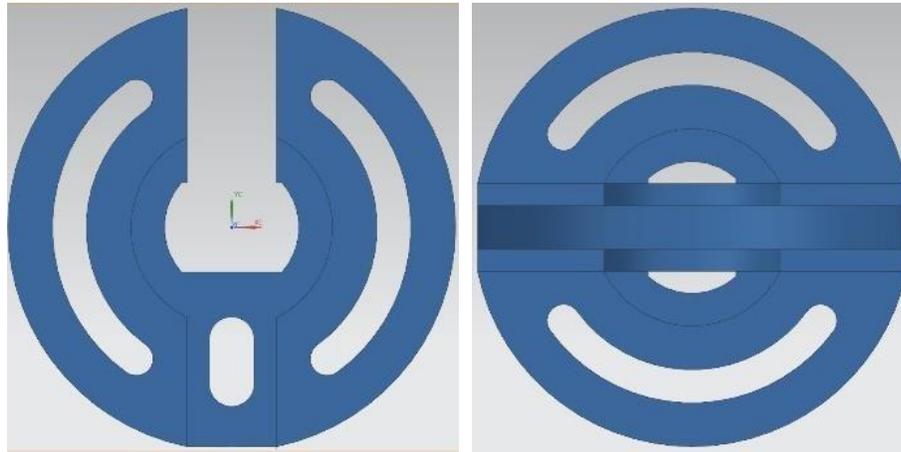


Figura 37 (Izquierda) Vista frontal de conector 2, (derecha) Ensamble de conector 2.

Tras realizar lo anterior, el modelo es nuevamente sometido a un análisis de esfuerzos considerando los mismos parámetros que para el conector original, de este análisis se obtuvo un esfuerzo de 148.9 [MPa], el que se muestra en la figura 38, este valor se encuentran por debajo del esfuerzo de ruptura de la poliamida reforzada, lo que indica que el conector no se deformará plásticamente al estar sometida a las cargas de la estructura, mientras que presenta un desplazamiento en la zona superior de 3.8 [mm], similar al desplazamiento obtenido en el análisis del conector original.

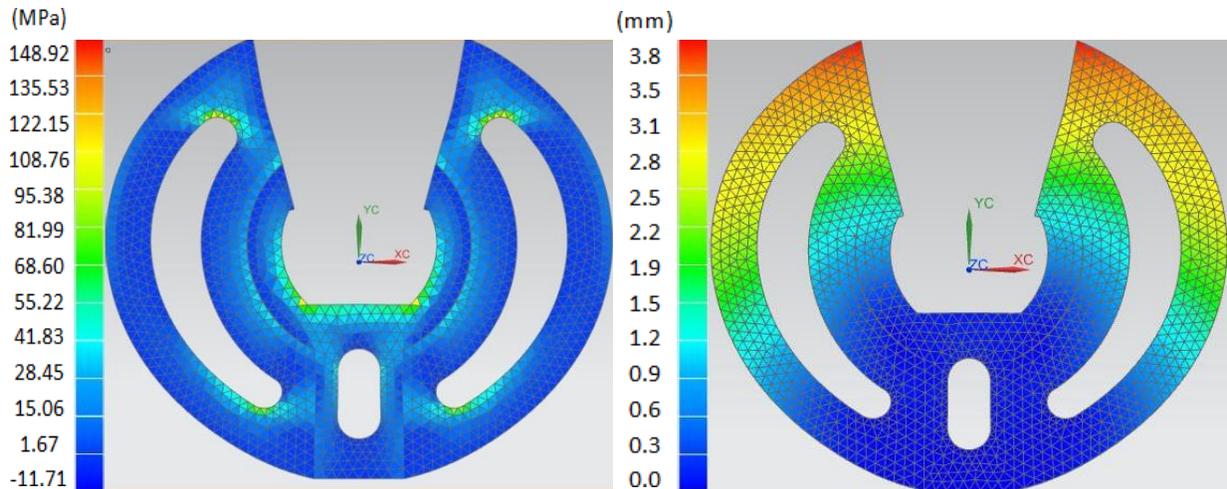


Figura 38 Análisis de esfuerzos máximos principales (izquierda) y de desplazamientos (derecha) del conector 2.

### Análisis de moldeabilidad del conector 2

Al igual que con el conector original se realizó un análisis de moldeabilidad, dado que la configuración geométrica tuvo modificaciones que alteran los parámetros de llenado; de aquí que para cualquier modificación geométrica se realizará tanto análisis estructurales como de moldeo. Como puede observarse en la figura 39, la mejor zona para colocar el punto de inyección fue identificada como la misma que para el conector original, la coloración azul en la figura 39 lo indica. En la figura 40 se representa la ubicación del punto de inyección en forma triangular.

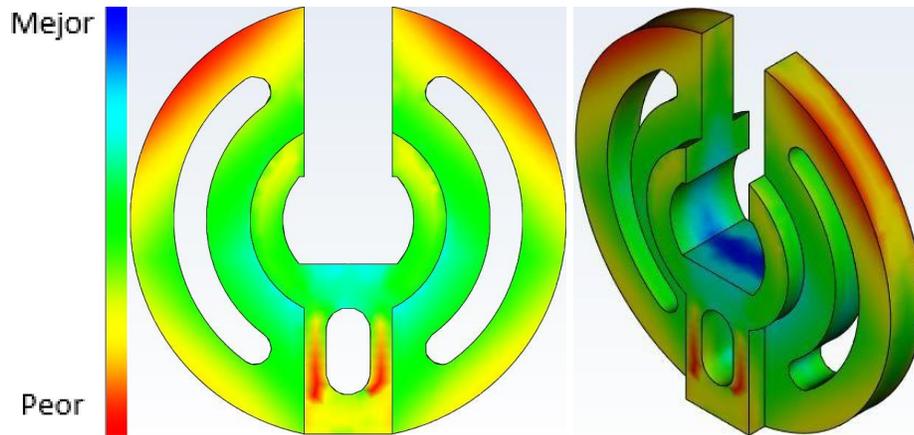


Figura 39 Ubicación de la mejor zona para color el punto de inyección en el conector 2.

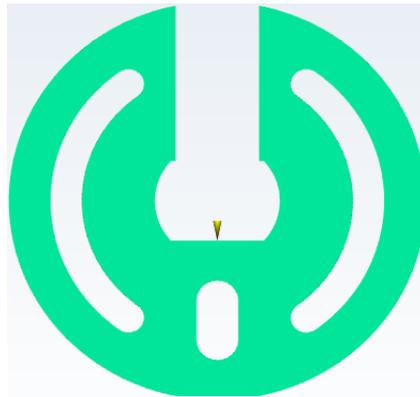


Figura 40 Ubicación del Punto de Inyección en el conector 2.

Para realizar al análisis de moldeabilidad de esta nueva configuración, se obtuvieron los datos de temperatura de masa fundida y molde, así como tiempo de inyección a partir de la ventana de proceso, tabla 5.

Tabla 5 Datos obtenidos de la ventana de proceso para el conector 2.

Parámetros	Valores
Temperatura de Molde	111.1 [°C]
Temperatura de masa fundida	303.3 [°C]
Tiempo de inyección	7.963 [s]

En la figura 41 se muestran los resultados de tiempo de inyección. Como puede observarse, se presenta una mejoría debido a que, ahora, se necesita 8 [s] para llenar por completo la pieza, aunque al analizar el balance de flujo se nota nuevamente una sobre compactación en la parte inferior mostrada de color verde, al igual que el conector anterior, aunque el tiempo de compactación disminuyó a 4 [s], aun se considera ese tiempo excesivo.

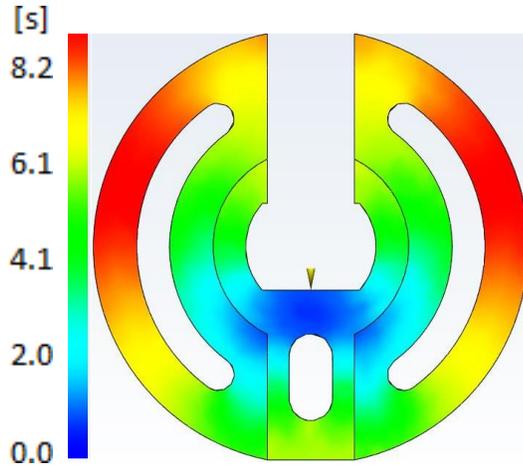


Figura 41 Resultado de tiempo de inyección del conector 2.

La figura 42 muestra la ubicación de las líneas de soldadura presentes en el nuevo conector, que debido a la ranura realizada, se presentó una tercera línea en la parte inferior de la pieza.

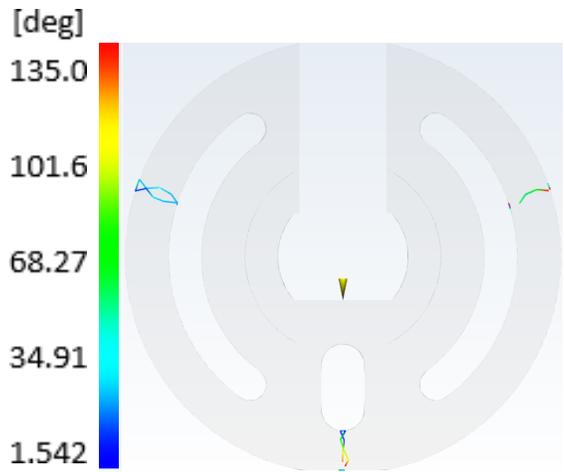


Figura 42 Resultado de ubicación de líneas de soldadura del conector 2.

Analizando las zonas en donde se presentan las líneas de soldadura respecto a la temperatura, muestran un color de tonalidad naranja – rojizo que de acuerdo con la escala de colores de la figura 43, indica que la temperatura se encuentra cercana a los 303 °C, temperatura que la ventana de proceso indicó como la mejor para procesar el material, esto ayuda a mejorar la unión entre los frentes de flujo.

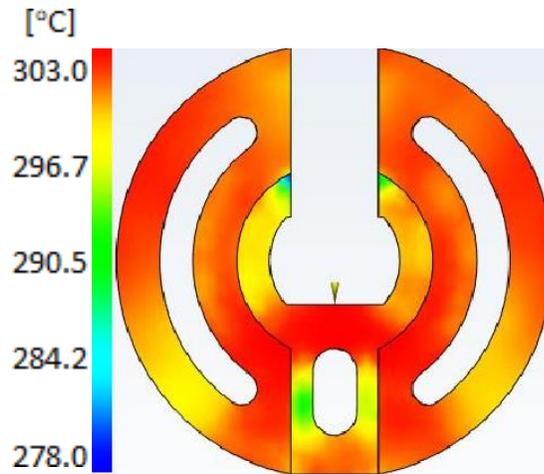


Figura 43 Resultado de temperatura de masa fundida del conector 2.

En la figura 44, se observan las líneas de soldadura indicadas por las líneas negras ubicadas en la superficie del conector, a partir de la escala de colores ubicada en la misma figura se determina que los esfuerzos se encuentran por debajo de los 15 [MPa], valor que se encuentra por debajo del esfuerzo de ruptura de la poliamida sin refuerzo, por lo que se puede asegurar que las líneas de soldadura no podrán en riesgo el desempeño mecánico del conector.

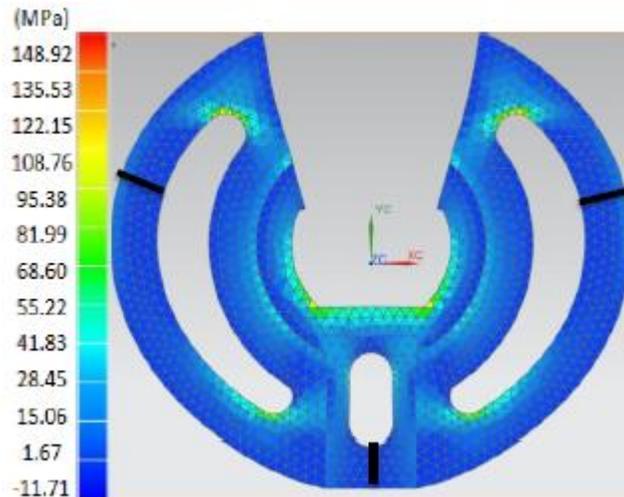


Figura 44 Análisis de los esfuerzos máximos principales del conector 2 considerando una poliamida sin refuerzo.

Es importante verificar, que la presión de inyección obtenida del análisis de moldeabilidad mostrada en la figura 45, no sobrepase la presión de inyección límite de la máquina. Para este caso se observa que la presión máxima es de 2.94 [bar], una presión pequeña en comparación con la presión de la máquina de inyección por lo que no se tendrá problemas en alcanzar el tiempo de inyección.

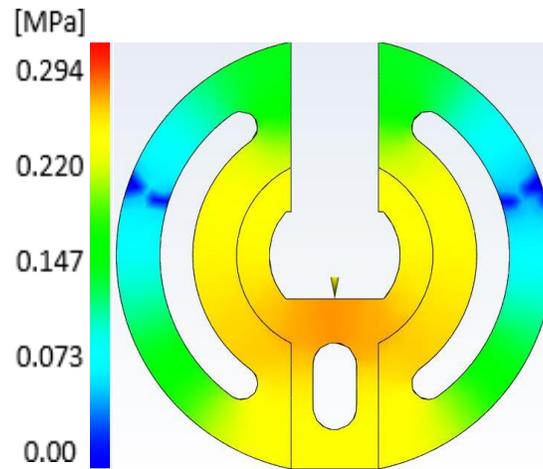


Figura 45 Resultado de presión de inyección del conector 2.

El resultado del tiempo para alcanzar el enfriamiento mostrado en la figura 46 indica una gran disminución en comparación con el conector original al eliminar el exceso de material, reduciendo de los 508 s a los 118.6 s, esto es de gran importancia, ya que con el resultado se obtienen tiempos de ciclos cortos.

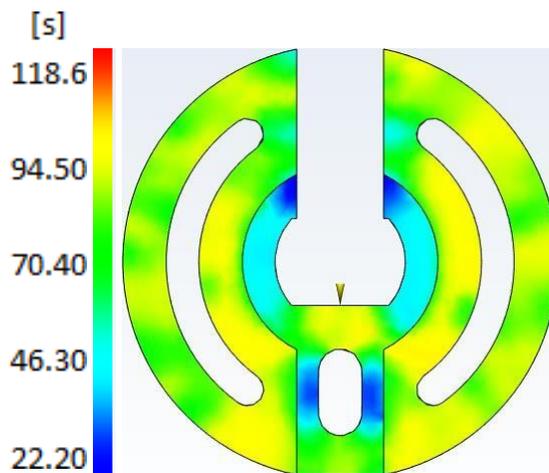


Figura 46 Resultado de tiempo para alcanzar el enfriamiento del conector 2.

De acuerdo a los tiempos de enfriamiento se lograron reducir en comparación con el primer modelo; aunque el desbalance durante el llenado de flujo prevalece, dado que aún no se han realizado las modificaciones correspondientes al diseño para piezas de plástico, por lo que es importante llevarlas cabo, con la intención de ver la mejora que ofrecen sobre la moldeabilidad y la resistencia del conector.

A continuación, se describen las modificaciones que se realizaron al conector tomando como base las reglas de diseño para piezas de plástico.

## Modificación del conector a partir de reglas de diseño

Las reglas de diseño para piezas de plástico han sido dadas por diversas fuentes de información de empresas basadas, en su mayor parte, en la experiencia; por ello, para la realización de este tema se recurrió a buscar la información más representativa en este ámbito. De ahí que con base en las recomendaciones de diseño de moldes de RTP imagineering plastics [38] se comenzó por reducir la sección transversal de la pieza en estudio que medía  $\frac{1}{2}$ " a 5mm (a esta sección de aquí en adelante se le llamará alma de la pieza), pensando en la conveniencia de mantener un espesor de pared de menos de 5 mm, bajo la consideración de que las paredes gruesas pueden conducir a tiempos de ciclo largos. Aunque esta disminución en el espesor de la pieza también implica una disminución en su resistencia mecánica. Por lo que se implementaron secciones transversales tipo costilla para crear un sistema de refuerzos en la pieza sin abusar del exceso de grosor en el espesor. La figura 47 muestra un corte transversal de la pieza en estudio con la implementación de la reducción de pared y sus correspondientes refuerzos.

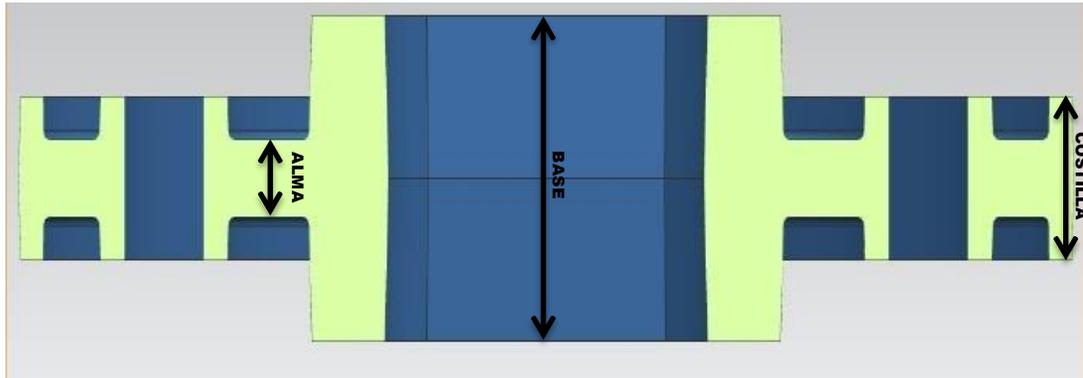


Figura 47 Zonas del conector (Alma, Costilla, base).

El tamaño de las costillas fue determinado mediante la ecuación [38]

$$T = 0.6 * W$$

Dónde:

T = espesor de la costilla

W = espesor de la pared

Partiendo de un espesor de pared de 5 mm que es el espesor que marcan las reglas de diseño en piezas plásticas se tiene que:

$$T = 0.6 * 5 \text{ [mm]}; \quad T = 3 \text{ [mm]}$$

En la figura 48 se muestra la configuración descrita anteriormente.



Figura 48 Haciendo uso de costillas para disminuir espesor de pieza y rigidizar al nodo.

Como es sabido que, para facilitar la expulsión de la pieza, es necesario determinar el ángulo de salida de las cavidades de las piezas; aunque el ángulo de  $1^\circ$  es el más empleado, la literatura marca que para piezas con materiales reforzados con fibra de vidrio el ángulo es de  $2^\circ$  [10]. La figura 49 muestra una posición de canto de la pieza, donde se denota el ángulo de salida justo en la línea de partición.



Figura 49 Nodo con ángulo de salida de  $2^\circ$  en la cara exterior.

Al mismo tiempo, se consideró eliminar cualquier concentrador de esfuerzos entre la cara y la costilla, que, de acuerdo a las reglas de diseño, el ángulo de  $90^\circ$  entre la cara y costilla fue eliminado bajo la siguiente relación:

$$R = T / 4$$

$$R = 3 / 4$$

$$R = 0.75 \text{ mm}$$

Además, tomando en cuenta el herramental que formaría a la cavidad del molde, y considerando las reglas de diseño como lo muestra la figura 50, el cálculo de los radios pertinentes se obtuvo como:

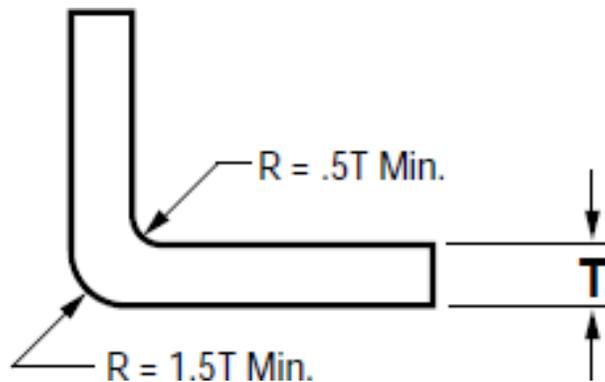


Figura 50 Redondeo en zonas agudas (Imagen BASF Design Solutions Guide).

- El radio externo ( $R_e$ ):

$$R_e = 1.5 * T$$

$$R_e = 1.5 * 3$$

$$R_e = 4.5 \text{ mm}$$

- Mientras que el radio interno ( $r_i$ ):

$$r_i = 0.5 * T$$

$$r_i = 0.5 * 3$$

$$r_i = 1.5 \text{ mm}$$

En la figura 51 se observan los cambios dimensionales ya descritos considerando los llamados redondeos.



Figura 51 Uso de redondeos en zonas agudas.

Con el fin de obtener las piezas con las dimensiones trabajadas en el modelo 3D, es necesario hacer uso de un factor de contracción, este valor depende del tipo de resina a utilizar, al trabajar con una poliamida reforzada el factor a ocupar es de 1.005 [41].

### 3.3 Propuesta de diseño para el conector (llamado conector 3)

En la figura 52 se muestra el conector rediseñado utilizando los criterios de reglas de diseño para piezas de plástico, así como el ensamble entre los conectores formando un nodo.

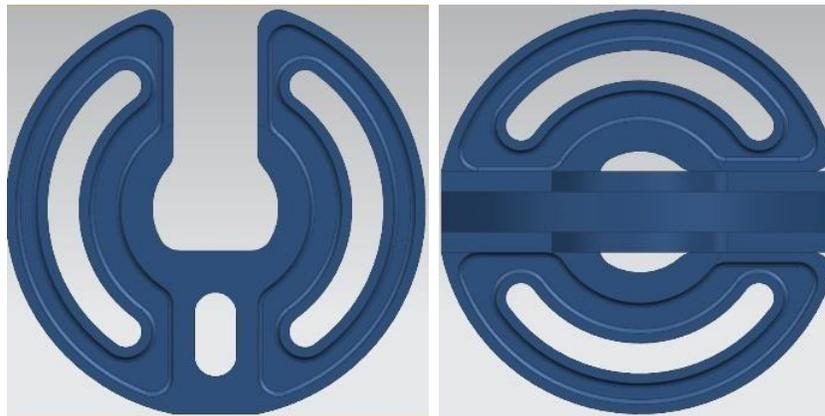


Figura 52 (Izquierda) Vista lateral de conector 3, (derecha) Ensamble de conector 3.

Tras realizar el rediseño, es claro que la disminución del espesor en el conector afectó tanto el desplazamiento como la resistencia mecánica. En la figura 53 se muestra que el esfuerzo máximo es de 228.20 [MPa], esto implica que el conector sufrirá deformaciones plásticas cuando esté sometido a las cargas de 2406 [N], mientras que los desplazamientos aumentaron a 5.6 [mm].

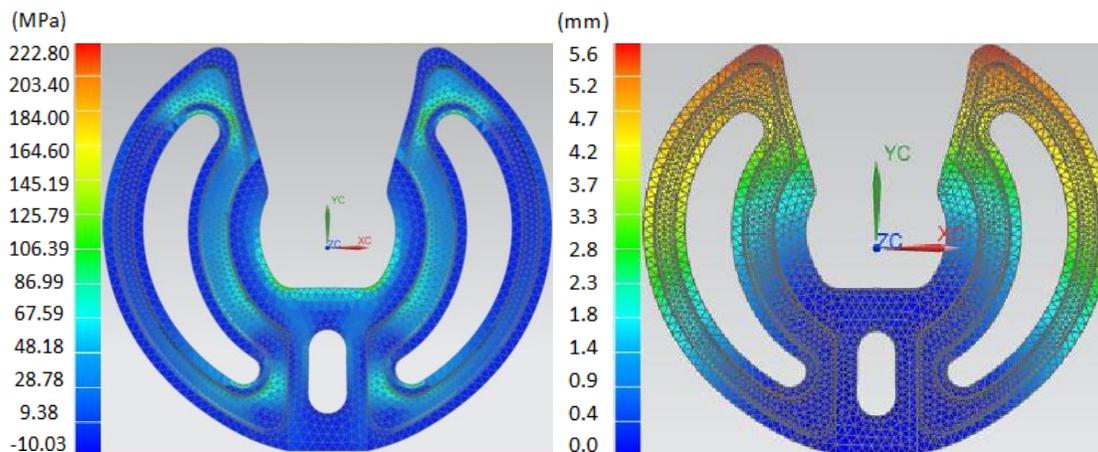


Figura 53 Análisis de esfuerzos máximos principales (izquierda) y de desplazamientos (derecha) del conector 3.

A pesar de que el conector 3 no soporta las cargas a las que estará sometida, es importante revisar como repercutieron las modificaciones realizadas a partir de las reglas de diseño para

piezas de plástico en la moldeabilidad del conector. Recordando que en el diseño anterior existía un desbalance en el llenado.

### Análisis de moldeabilidad del conector 3

Siguiendo la metodología de los análisis anteriores se comienza por realizar un estudio de moldeabilidad, dado que el modelo sufrió modificaciones, que alteran los parámetros de llenado. Es importante identificar la mejor zona para colocar el punto de inyección, con el objetivo de encontrar un buen balance de llenado así como una misma presión a lo largo de toda la pieza, dicha zona está representada de color azul mostrada en la figura 54.

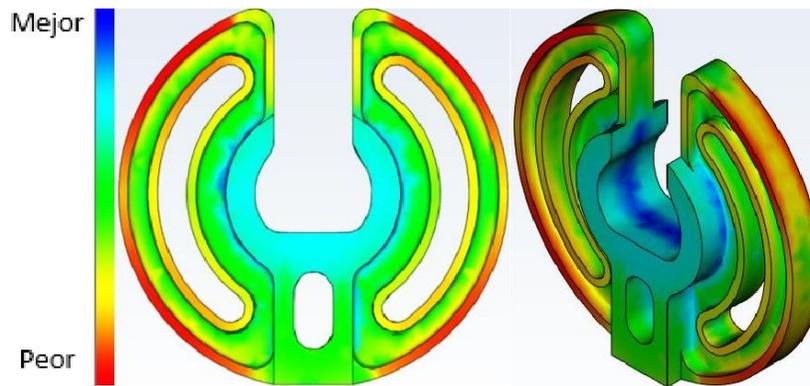


Figura 54 Ubicación de la mejor zona para color el punto de inyección en el conector 3.

En la figura 55 se observa el punto de inyección, ubicado en la cara perpendicular a la superficie de la pieza, el punto de inyección se colocó exactamente a la mitad de la pieza, como en las ocasiones anteriores, en donde la línea de partición se encuentra exactamente a la mitad de la pieza.

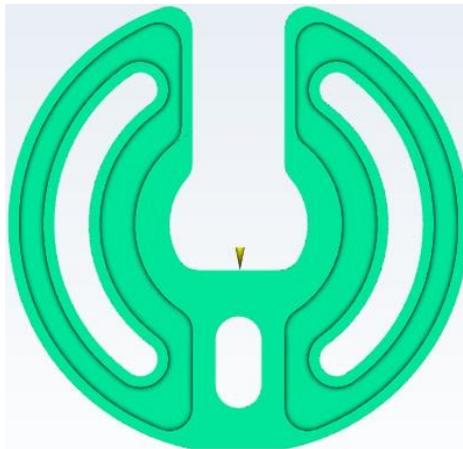


Figura 55 Ubicación del Punto de Inyección en el conector 3.

Los nuevos datos de la ventana de proceso se muestran en la tabla 6.

Tabla 6 Datos obtenidos de la ventana de proceso para el conector 3.

Parámetros	Valores
Temperatura de Molde	111.1 [°C]
Temperatura de masa fundida	303.3 [°C]
Tiempo de inyección	1.7 [s]

Con respecto al tiempo de llenado (inyección), se presenta el mejor resultado con 1.7 [s] para llenar por completo la pieza, esto debido a la disminución de espesores que se realizaron durante el rediseño de la pieza, además el conector presenta un buen balance de llenado, mostrado en la figura 56, ya que a pesar de que existe una diferencia entre las tonalidades de color verde y color rojo como en los análisis anteriores la diferencia numérica entre ambos valores es menor a 1 [s], un valor aceptable según los criterios mencionados.

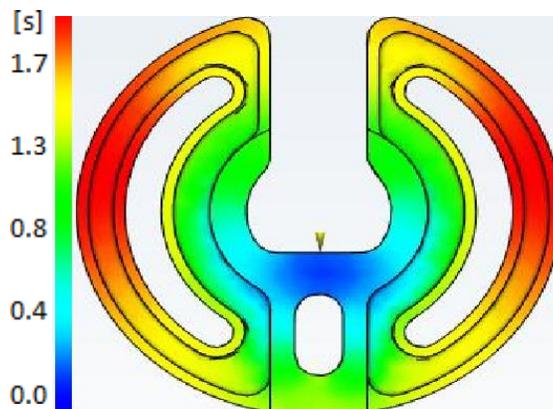


Figura 56 Resultado de tiempo de llenado del conector 3.

La figura 57 muestra la ubicación de las líneas de soldadura presentes en el conector, es importante identificarlas para poder realizar la evaluación y determinar qué tan débil se vuelve la pieza con la aparición de las líneas.

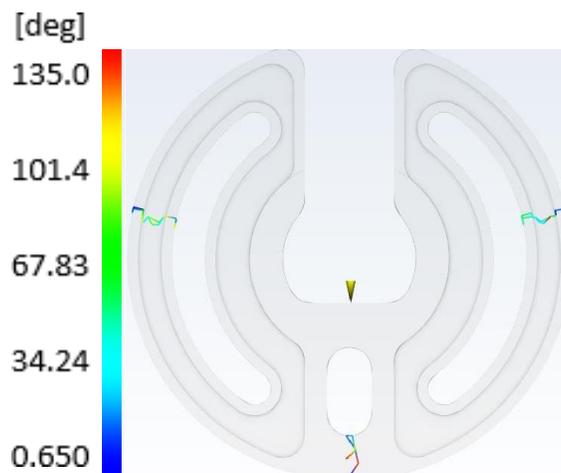


Figura 57 Resultado de ubicación de líneas de soldadura del conector 3.

Las zonas en donde se presentan las líneas de soldadura muestran un color de tonalidad amarilla respecto a las temperatura; que de acuerdo a la escala de colores que aparece en la

figura 58 muestra que la temperatura en esa zona se encuentra entre un intervalo de 301.5 °C y 303 °C, valores aun aceptables de acuerdo a la temperatura para la masa fundida obtenida de la ventana de proceso, esta temperatura según los criterios de evaluación indican que aún existen una buena unión entre los frentes de flujo permitiendo obtener una línea de soldadura de buena calidad.

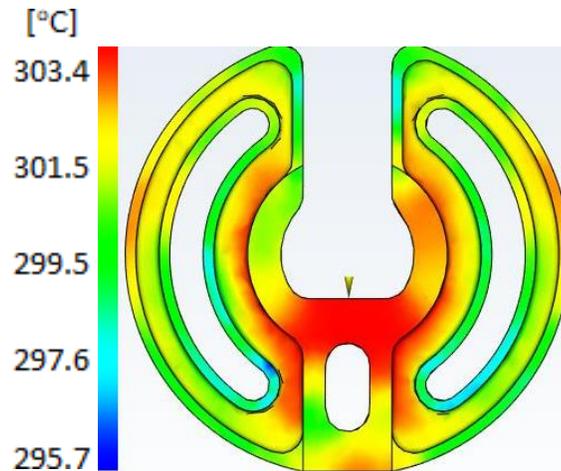


Figura 58 Resultado de temperatura de masa fundida del conector 3.

En la figura 59, se observan las líneas de soldadura indicadas por las líneas negras ubicadas en la superficie del conector, a partir de la escala de colores ubicada en la misma figura se determina que los esfuerzos obtenidos son menores a los 9.3 [MPa], valores que se encuentran por debajo del esfuerzo de ruptura de la poliamida sin refuerzo, por lo que se puede asegurar que las líneas de soldadura no pondrán en riesgo el desempeño mecánico del conector.

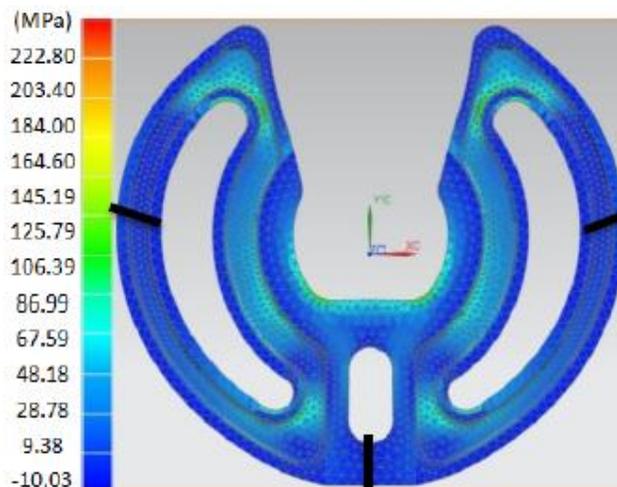


Figura 59 Análisis de los esfuerzos máximos principales del conector 3 considerando una poliamida sin refuerzo.

Es importante verificar, que la presión de inyección obtenida del análisis de moldeabilidad mostrada en la figura 60, no sobrepase la presión de inyección límite de la máquina. Para este análisis se observa que la presión máxima es de 3.53 [MPa] (35.3 [bar]), la presión más alta obtenida hasta este momento, pero que en comparación con la presión máxima de inyección sigue siendo pequeña, por lo que no habrá problemas en alcanzar el tiempo de llenado.

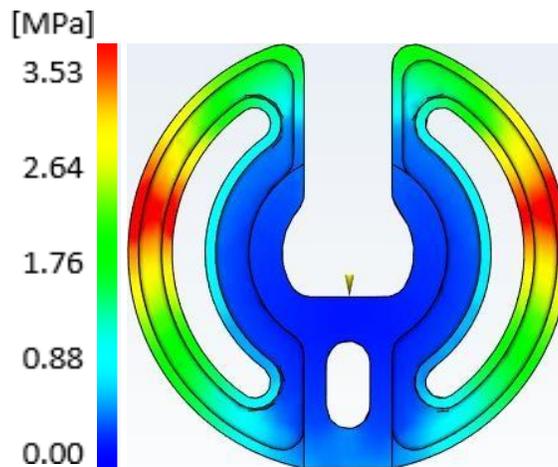


Figura 60 Resultado de presión de inyección del conector 3.

En el resultado del tiempo para alcanzar el enfriamiento mostrada en la figura 61, presenta una mejoría con respecto al análisis anterior presentando un enfriamiento homogéneo en las regiones en donde se disminuyeron los espesores, aunque existe una gran variación de enfriamiento con respecto a los espesores de sección gruesa.

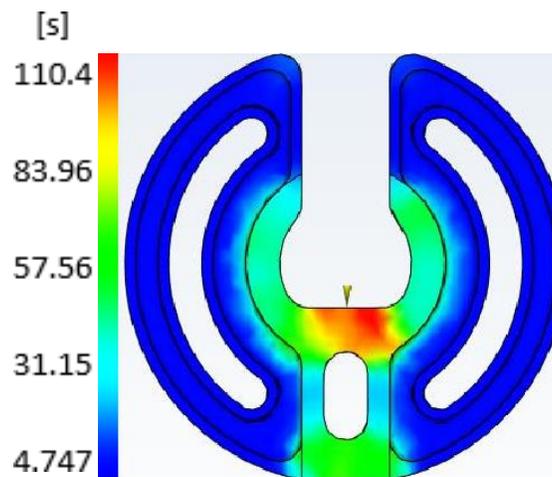


Figura 61 Resultado de tiempo para alcanzar el enfriamiento del conector 3.

### Diseño de costillas para mejorar la rigidez de la pieza

Debido a los delgados espesores en la sección del alma del conector junto con la ranura en la sección gruesa, se provocó una disminución en la resistencia mecánica del conector, haciendo la pieza más propensa a sufrir deformaciones plásticas al exponerlo a las cargas requeridas.

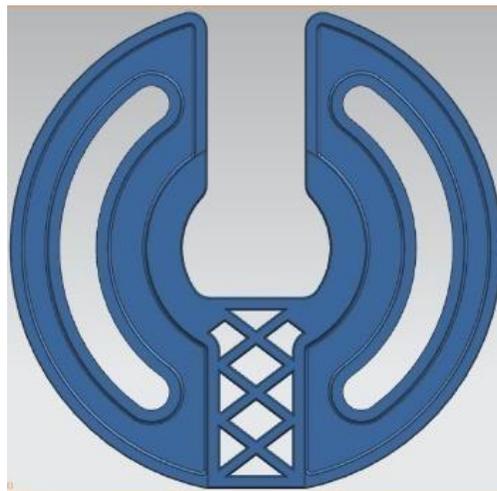
Las reglas de diseño sugieren que para mejorar la resistencia mecánica de algún elemento esta puede ser reforzada mediante costillas, a continuación, se describen los pasos que se siguieron para colocar las costillas en el conector.

Como primer paso fue necesario eliminar las zonas gruesas en donde se presentaban los problemas de exceso de material y tiempo de enfriamiento como se muestra en la figura 62.



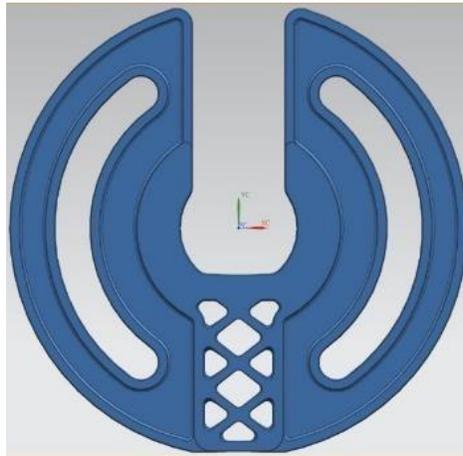
*Figura 62 Zona gruesa eliminada por posibles defectos.*

Esta eliminación de material fue sustituida por las costillas de refuerzo de 3 [mm] de ancho colocadas a 45°, tal como se muestra en la figura 63.



*Figura 63 Uso de costillas de 3 mm de ancho, como sistema de refuerzo.*

Recordando que la presencia de zonas agudas implica complicaciones de maquinado, se realizó un redondeo de 1.5 [mm] en las secciones esquinadas en donde convergen las intersecciones entre las costillas, figura 64.



*Figura 64 Redondeo de esquinas a 1.5 mm.*

La idea inicial era la de generar barrenos para el sistema de sujeción mediante un proceso de post maquinado, `pero como este proceso implica un gasto innecesario además de trabajo excesivo dada la cantidad de piezas que se requieren para construir la estructura arquitectónica. Es por ello que, con la finalidad de evitar el post maquinado, Protolabs<sup>31</sup> propone una solución para este tipo de problemas, y es el de hacer uso de insertos metálicos en el proceso de moldeo por inyección, a este proceso se le conoce como moldeo por inserción.

Dado que el moldeo por inserción no es un proceso nuevo, existen en el mercado una gran cantidad de empresas que se encargan de producir los insertos metálicos, que van desde simples tubos, hasta insertos roscados con textura en el exterior. En un principio se consideró realizar la compra de los insertos metálicos, pero debido al costo y a la cantidad de insertos que se requieren se consideró otra alternativa, la que consistió en comprar tubos de aluminio de 6 [m] de largo con un diámetro de 12.54 mm (1/2") para después ser cortada, con una medida de 5.5 [cm] de largo tal como se muestra en la figura 65, se escogió este material debido al bajo costo que presenta, además de la facilidad con la que se puede cortar, es importante mencionar que el uso de insertos metálicos en piezas de plástico, además de evitar el uso de post maquinados en la pieza, sirve como elementos para mejorar la resistencia mecánica de la pieza de plástico.



*Figura 65 Representación esquemática de un Inserto de aluminio.*

<sup>31</sup> Protolabs: Empresa dedicada a la fabricación de moldes de inyección simple y de sobre moldeo.

### 3.4 Propuesta de diseño para el conector (llamado conector 4)

En la figura 66 se muestra el conector con la presencia de las costillas en su sección gruesa, así también se muestra el ensamble entre los conectores formando un nodo.

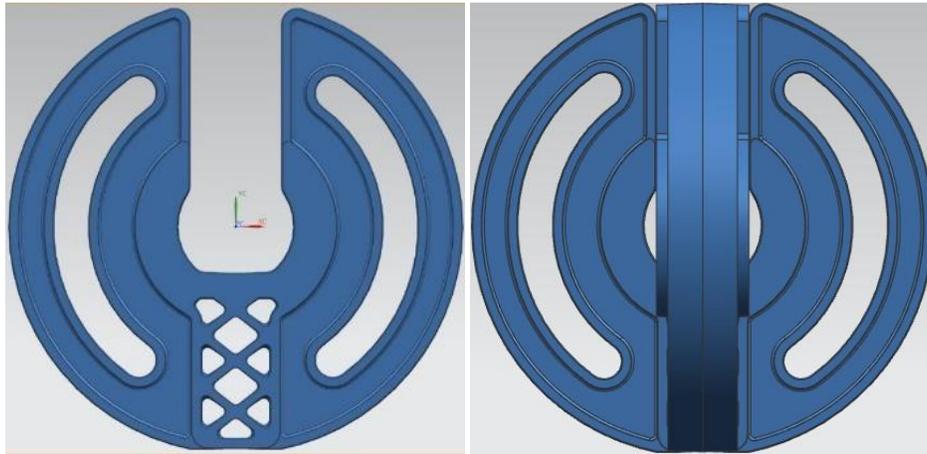


Figura 66 (Izquierda) Vista frontal del conector 4, (derecha) Ensamble del conector 4 formando un nodo.

### Análisis estructural del conector 4

Con el diseño anterior se logró aumentar la resistencia mecánica del conector al valor de 173 [MPa] como se muestra en la figura 67, aunque esto no fue suficiente ya que los esfuerzo obtenidos aún siguen superando al esfuerzo de ruptura de la poliamida con refuerzo, esto implica que el conector sufrirá deformaciones plásticas cuando sea sometido a las cargas de 2407 [N]. Con respecto a los desplazamientos, el uso de costillas en el conector logró disminuir a 3 [mm] de los 5.6 [mm] que se obtuvieron del conector 3.

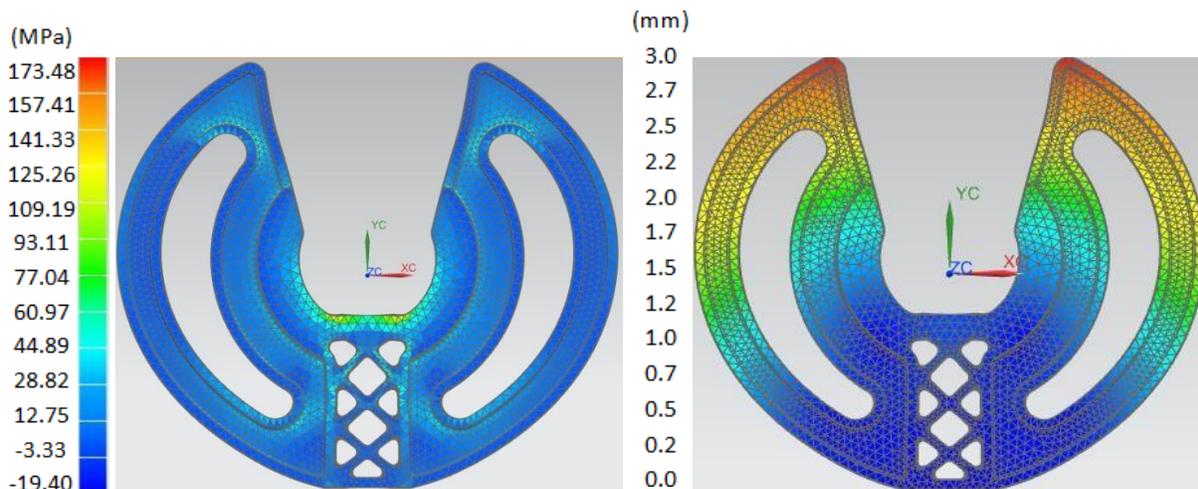


Figura 67 Análisis de esfuerzos máximos principales (izquierda) y de desplazamientos (derecha) del conector 4.

A pesar de que el conector 4 no soportó las cargas a las que estará sometido, se consideró de gran importancia la repercusión del uso de costillas durante el llenado de la pieza.

### Análisis de moldeabilidad del conector 4

El problema que se genera al hacer uso de insertos metálicos es que se ve afectada la posición del punto de inyección, ya que en todos los análisis anteriores se había colocado un solo punto de inyección en la parte central del conector, generando una buena distribución del flujo a lo largo de las cavidades.

El uso de un inserto metálico, ocasionó mover el punto de inyección a otra posición; sin embargo, debido a la geometría del conector, cualquier otra posición diferente a la que se estaba trabajando en un principio, genera un desbalance en el llenado, pudiendo ocasionar problemas como, deformaciones en la pieza, sobre compactación o llenado ineficiente; para evitar lo antes mencionado se decidió colocar dos puntos de inyección.

Al igual que con los análisis anteriores, se identificó la mejor zona para colocar los puntos de inyección con el propósito de encontrar un buen balance de llenado, así como una misma presión a los largo de toda la pieza, dicha zona está representada de color azul mostrada en la figura 68.

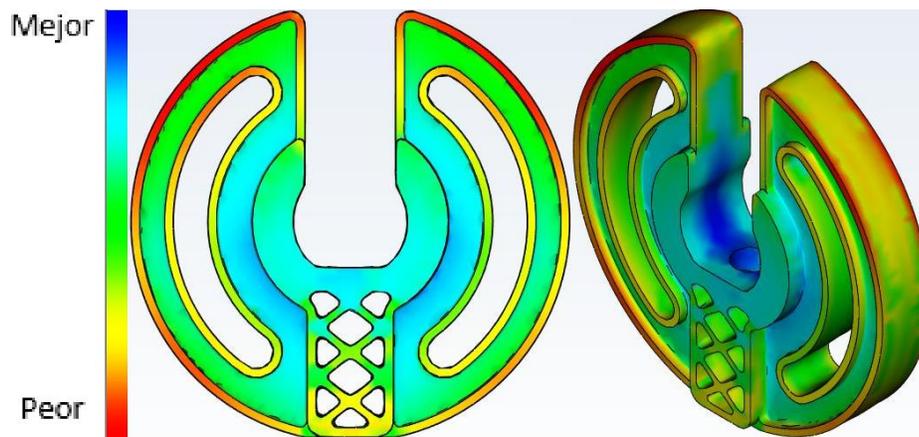


Figura 68 Ubicación de la mejor zona para color el punto de inyección en el conector 4.

En la figura 69 se observan los dos puntos de inyección, ubicados en la cara perpendicular de la superficie de la pieza, el punto de inyección se colocó exactamente a la mitad de la pieza, esto debido a que se está considerando un molde de dos cavidades, en donde la línea de partición se encuentra exactamente a la mitad de la pieza.

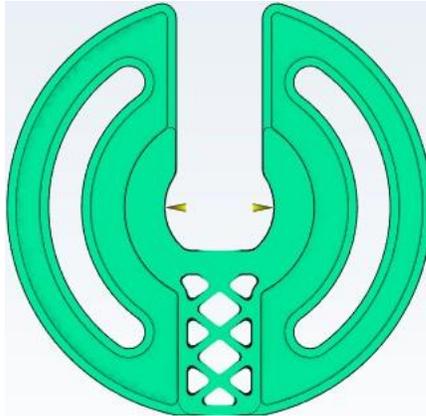


Figura 69 Ubicación de dos puntos de Inyección en el conector 4.

De esta manera, y obteniendo los resultados de la ventana de proceso, se realizó el análisis de moldeabilidad, los datos se presentan en la tabla 7.

Tabla 7 Datos obtenidos de la ventana de proceso para el conector 4.

Parámetros	Valores
Temperatura de Molde	111.1 [°C]
Temperatura de masa fundida	303.3 [°C]
Tiempo de inyección	1.7 [s]

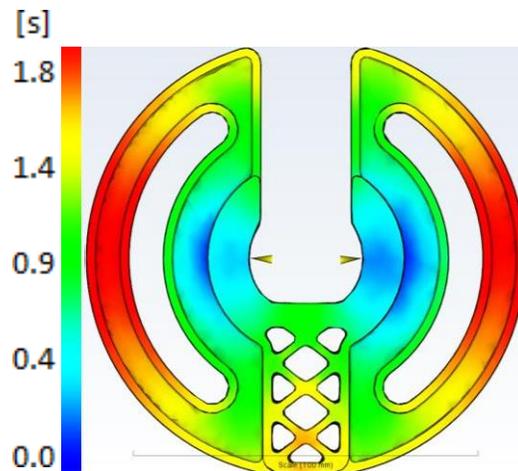


Figura 70 Resultado de tiempo de llenado del conector 4.

El tiempo de llenado mostrado en el mapa de coloración de la figura 70, muestra una disminución en el tiempo de inyección, además de presentar un buen balance durante el llenado de la cavidad; en él se observa que la zona de color amarilla tarda en llenarse 1.4 [s] mientras que los extremos de color rojo indicados como las últimas zonas en llenarse marcan un tiempo de 1.8 [s].

Dada la configuración que presenta el conector y el cambio de posición de los puntos de inyección se presenta una gran cantidad de líneas de soldadura en la zona inferior como se observa en la figura 71.

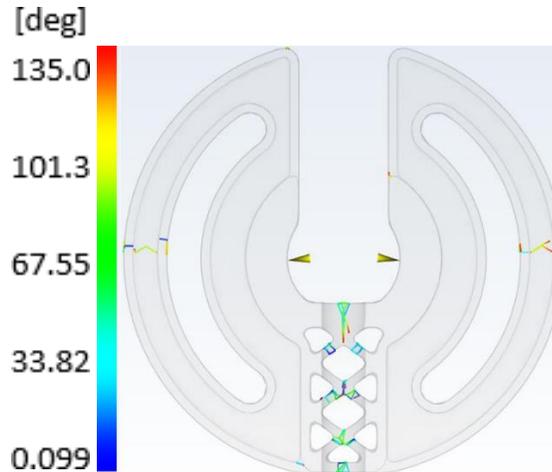


Figura 71 Resultado de ubicación de líneas de soldadura del conector 4.

La presencia de las líneas de soldadura hace más propenso a que la pieza falle en esas secciones, por lo que es importante analizar dichas líneas bajo los criterios mencionados. Se comenzó por revisar la temperatura en las zonas que presentan las líneas de soldadura, se notó que la temperatura no estaba por debajo de 6 °C permitiendo una buena unión durante el choque de flujo figura 72.

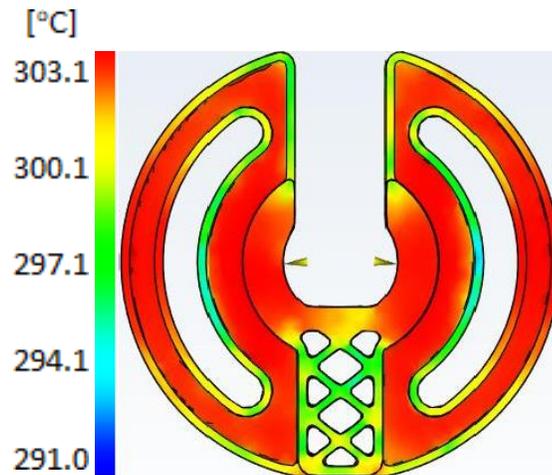


Figura 72 Resultado de temperatura de masa fundida del conector 4.

En la figura 73, se observan las líneas de soldadura indicadas por las líneas negras ubicadas en la superficie del conector, a partir de la escala de colores que se encuentra en la misma figura se determina que los esfuerzos generados en las líneas de soldadura son menores a los 81 [MPa], estos esfuerzos son menores al esfuerzo de ruptura de la poliamida sin refuerzo.

Durante este análisis no se está considerando el inserto que se coloca exactamente en la zona de las costillas; esto significa que el desempeño mecánico del conector mejorará al colocarlo.

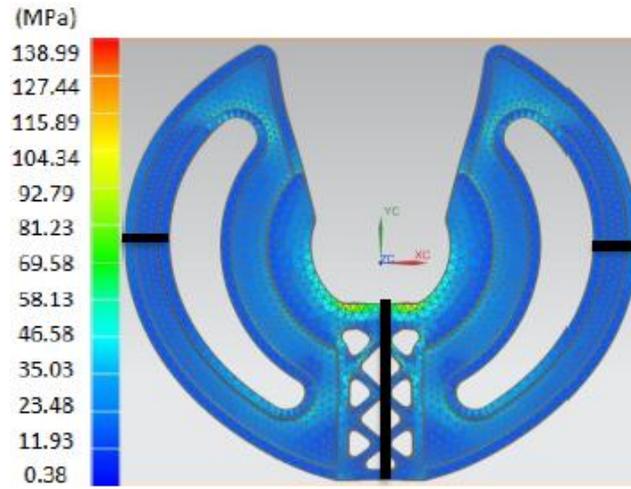


Figura 73 Análisis de los esfuerzos máximos principales del conector 4 considerando una poliamida sin refuerzo.

La presión de inyección obtenida del análisis de moldeabilidad mostrada en la figura 74, presenta una presión máxima de 10 [bar], siendo esta muy pequeña debido a los grandes espesores que posee la pieza, por lo que no habrá problemas con alcanzar el tiempo de inyección obtenida de la ventana de proceso.

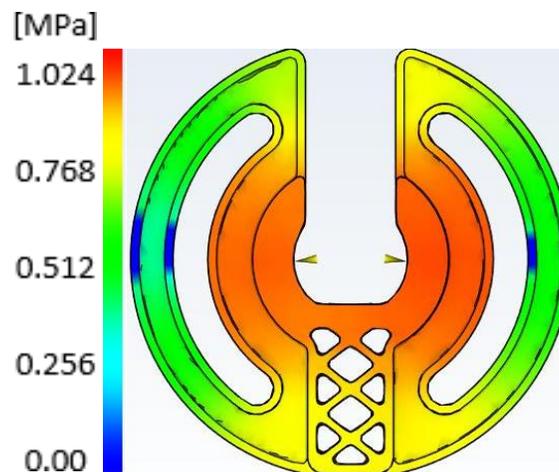


Figura 74 Resultado de presión de inyección del conector 4.

Al conocer el tiempo de enfriamiento en una pieza de plástico, se pueden identificar las zonas de mayor temperatura, lo que da pauta a poder ubicar los sistemas de refrigeración durante la fase de diseño del molde; el resultado de tiempo de enfriamiento se muestra en la figura 75.

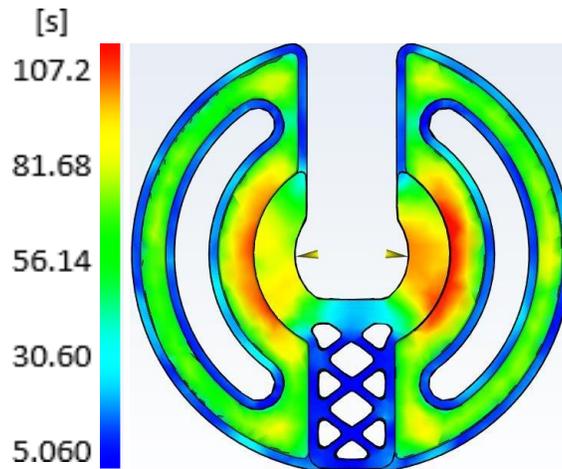


Figura 75 Resultado de tiempo para alcanzar el enfriamiento del conector 4.

### 3.5 Propuesta de diseño para el conector (llamado conector 5)

Con la finalidad de mejorar la rigidez a lo largo de toda la pieza, se hace uso de costillas radiales distribuidas en el conector como se puede ver en la figura 76.

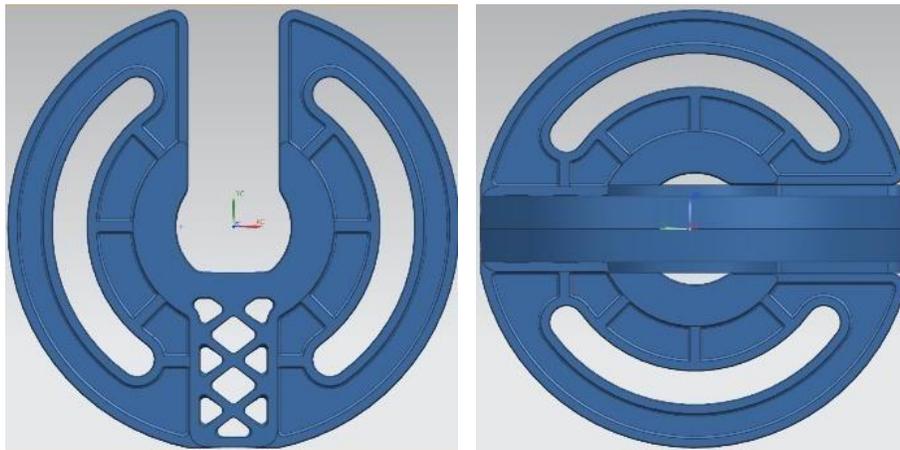


Figura 76 (Izquierda) Conector con costillas radiales (derecha) Ensamble del conector.

Para asegurar que la resistencia mecánica del conector no se viera afectada por el uso de costillas radiales se realizó el análisis estructural correspondiente, de donde se obtiene que los esfuerzos máximos soportados por la pieza son de 169.40 [MPa], figura 77, valor que se encuentra por debajo del esfuerzo de ruptura de la poliamida reforzada.

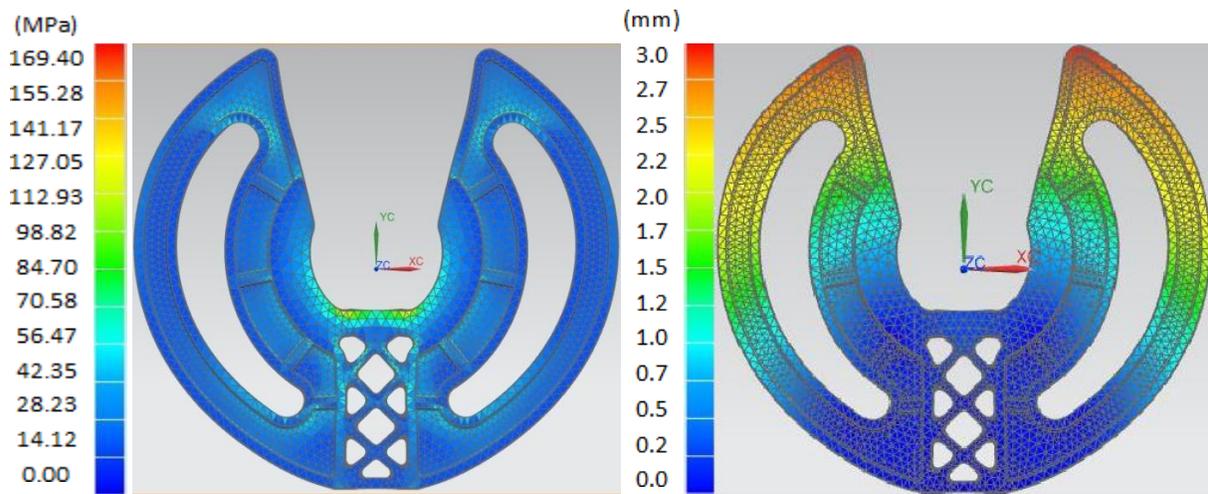


Figura 77 Análisis de esfuerzos máximos principales del conector 5.

### Análisis de moldeabilidad del conector 5

Durante el análisis de moldeabilidad se reafirmó la mejor zona para colocar los puntos de inyección, el buen balance de llenado y se encontró una misma presión a los largo de toda la pieza, dicha zona está representada de color azul mostrada en la figura 78.

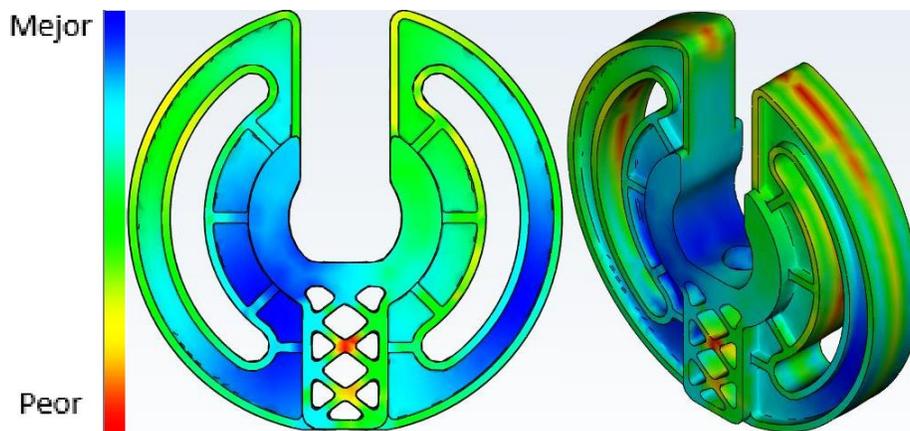


Figura 78 Ubicación de la mejor zona para color el punto de inyección en el conector 5.

En la figura 79 se observan los puntos de inyección, ubicados en la cara perpendicular de la superficie de la pieza. La tabla 8 muestra los resultados del análisis antes descrito.

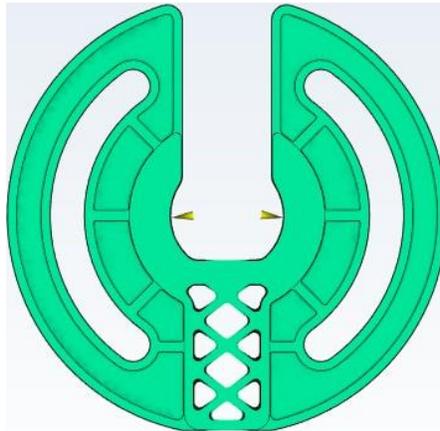


Figura 79 Ubicación de dos puntos de Inyección en el conector 5.

Tabla 8 Datos obtenidos de la ventana de proceso para el conector 5.

Parámetros	Valores
Temperatura de Molde	111.1 [°C]
Temperatura de masa fundida	303.3 [°C]
Tiempo de inyección	2.3 [s]

Con respecto al tiempo de llenado, se presenta un aumento a 2.4 [s] para llenar por completo la pieza, el conector presenta un buen balance de llenado, mostrado en la figura 80, ya que a pesar de que existe una diferencia entre las tonalidades de color verde y color rojo como en los análisis anteriores la diferencia numérica entre ambos es de 0.6 [s] valor aceptable según los criterios antes mencionados.

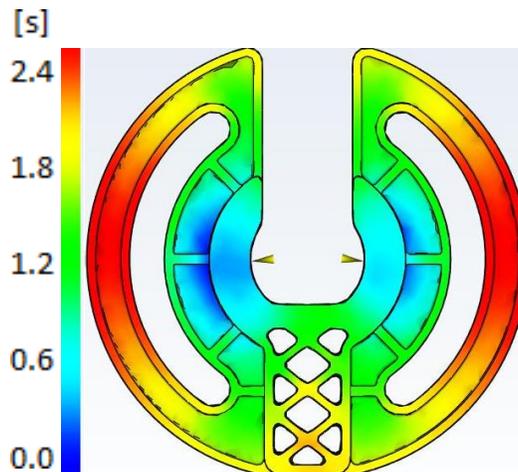


Figura 80 Resultado de tiempo de llenado del conector 5.

Al igual que en los análisis anteriores, la figuras 81 y 82 muestran la presencia de líneas de soldadura y la temperatura de la masa fundida respectivamente. En ésta última, se hace notar que en las zonas de línea de soldadura la temperatura de la masa fundida no tiene una diferencia mayor a 10<sup>a</sup>C, lo que indica que habrá una buena unión entre los frentes de flujo.

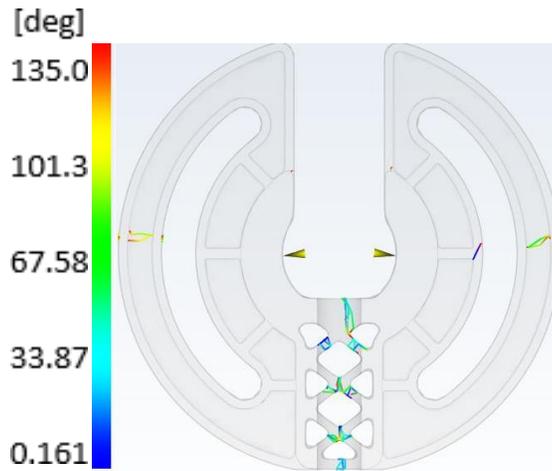


Figura 81 Resultado de ubicación de líneas de soldadura del conector 5.

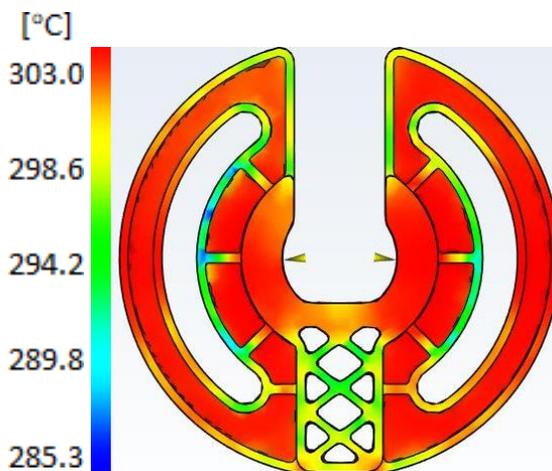


Figura 82 Resultado de temperatura de masa fundida del conector 5.

Como en los análisis anteriores, en la figura 83 se observa las líneas de soldadura indicadas en color oscuro. A partir de la escala de colores ubicada en la misma figura se determina que los esfuerzos se encuentran alrededor de 80 [MPa], siendo estos menores al esfuerzo de ruptura de la poliamida sin refuerzo, recuérdese que durante este análisis no se está considerando el inserto que se colocará exactamente en la zona de las costillas lo que mejorará el desempeño mecánico del conector.

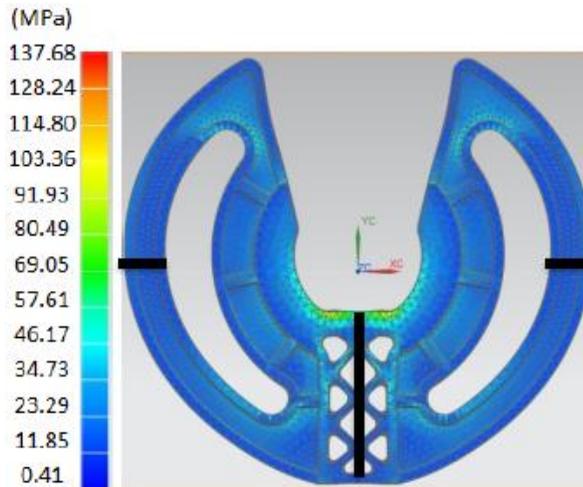


Figura 83 Análisis de los esfuerzos máximos principales del conector 5 considerando una poliamida sin refuerzo.

La presión de inyección obtenida del análisis de moldeabilidad fue de 8.2 [bar] mostrada en la figura 84, esto indica que no se tendrán problemas de llenado, siendo un valor de presión muy pequeño no se tendrán problemas para alcanzar el tiempo de inyección obtenida de la ventana de proceso.

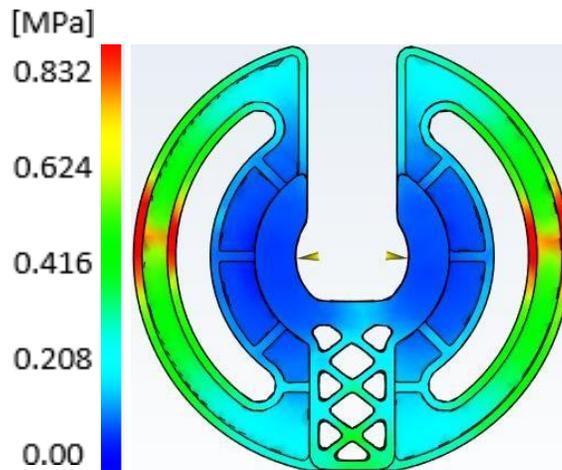


Figura 84 Resultado de presión de inyección del conector 5.

Con respecto al tiempo para alcanzar el enfriamiento, hubo un aumento de 2 s más en comparación con el conector 4, obteniendo un tiempo de enfriamiento de 109 segundos en las secciones en donde se presenta el mayor grosor de la pieza, este tiempo de enfriamiento se puede considerar aceptable considerando que se puede mejorar durante el diseño de los sistemas de refrigeración dentro del molde.

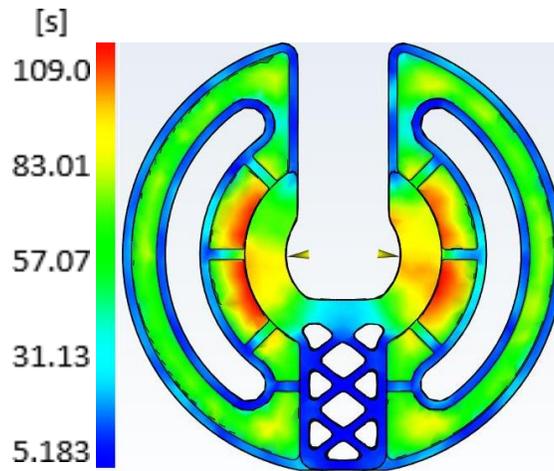


Figura 85 Resultado de tiempo para alcanzar el enfriamiento del conector 5.

De acuerdo con los análisis anteriores, este último modelo, es el que presenta la mejor relación entre las características mecánicas, de proceso y de maquinado. Por lo que esta última opción se consideró como el modelo final, necesario para la elaboración del molde de inyección que se describirá en el siguiente capítulo.

A continuación, se presenta un resumen de los resultados de los análisis descritos para cada uno de los conectores desarrollados en este trabajo.

Tabla 9 Resumen de resultados.

Evolución de Conector	Tiempo de llenado [s]	Temperatura de masa fundida [°C]	Presión de inyección [MPa]	Tiempo de expulsión [s]	Esfuerzos máximos principales [MPa]
<b>Conector 1</b>	11.4	303	26.4	508.9	202.0
<b>Conector 2</b>	8.2	303	29.4	118.6	148.9
<b>Conector 3</b>	1.7	303.4	35.3	110.4	222.8
<b>Conector 4</b>	1.8	303.1	10.2	107.2	173.9
<b>Conector 5</b>	2.4	303	8.32	109.0	169.4

Se considera que el conector 5 es el mejor respecto a los demás, ya que presenta un tiempo de inyección bajo, muestra un buen balance de flujo durante el llenado, resiste las cargas de 2406[N] a las que estará sometida durante su uso, además de que con esta configuración se eliminó la posibilidad de hacer un post maquinado para generar la ranura de ensamble incorporando un inserto metálico a la pieza.

Habiendo encontrado la configuración correcta del conector, se procedió a determinar la cantidad de cavidades que tendría el molde; se comenzó por conocer la cantidad de plastificación de la máquina que es el volumen máximo de material que se puede dosificar dentro del barril de la máquina de inyección. Este valor es de gran importancia ya que permite conocer si es posible obtener más cavidades con base en el volumen a inyectar.

Utilizando el software NX Siemens se determinó el volumen del conector siendo esta de 138.92 cm<sup>3</sup>, mientras que la cantidad de plastificación de la máquina de inyección de 442 cm<sup>3</sup>, a partir de lo anterior se determinó que era posible obtener otro conector en el mismo disparo,

considerando la colada, los canales de inyección y los conectores se obtuvo un volumen de 293.57cm<sup>3</sup>, a través de esto se corrobora llevar a cabo el molde con dos cavidades. Para verificar la capacidad de cavidades máxima que puede haber en el molde se buscó su cantidad en base a la relación volumétrica entre la capacidad de la máquina (en volumen) y el volumen del conector tal que:

**Número de cavidades:**

$$Nc = Vp / Vc$$

Nc=Número de cavidades

Vc= Volumen de conector = 138.92 cm<sup>3</sup>

Vp= Volumen de plastificación = 442 cm<sup>3</sup>

$$Nc = 442 \text{ cm}^3 / 138.92 \text{ cm}^3$$

$$Nc = 3 \text{ cavidades}$$

El análisis arrojó una cantidad de 3 cavidades, obteniendo de estas un volumen de 416.76 cm<sup>3</sup>, es importante hacer notar que el volumen del conector no incluye las coladas ni los canales de inyección, por lo que el valor real aumentaría a 432.49 cm<sup>3</sup>, este valor aún se encuentra por debajo del volumen de plastificación, aunque en el proceso siempre es indispensable dejar un cojín de masa para evitar daños en la válvula check y el husillo; por lo que la cantidad de masa a desplazar sería muy cercana al valor máximo de la capacidad de la máquina. De esta manera se decidió hacer un molde con dos cavidades como ya se había visualizado con anterioridad.

Haciendo uso del asesor de coladas de Moldflow Adviser, se determinó la configuración para el sistema de canales de inyección en el molde mostradas en la figura 86. Con ello, en el siguiente capítulo se planteará el diseño y la fabricación del molde para este conector.

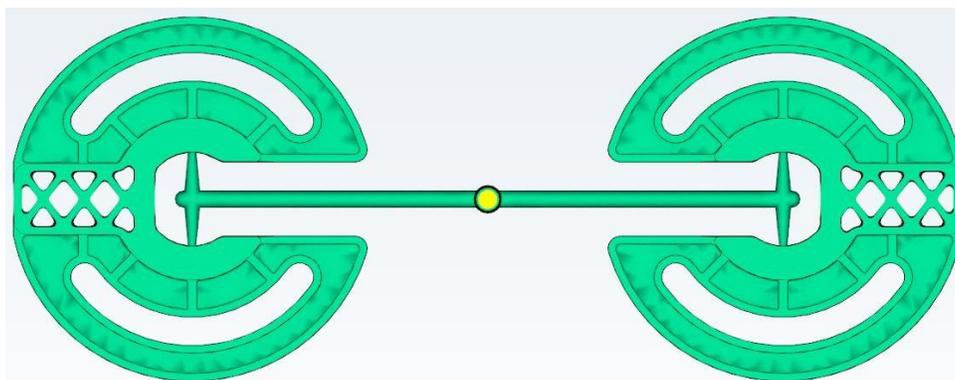


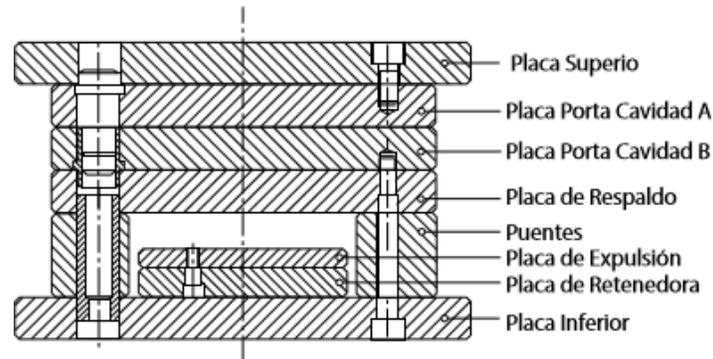
Figura 86 Configuración, para el sistema de canales de inyección.

## **CAPITULO 4. Diseño y fabricación del molde para un conector estructural**

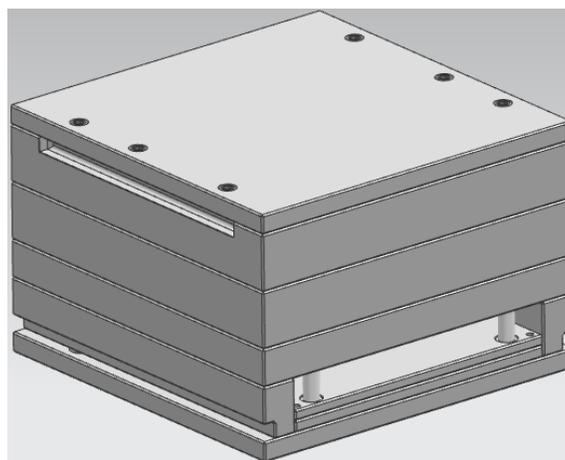
Una vez definida la propuesta de las cavidades para las placas del molde, y haciendo uso del software de diseño asistido por computadora, se creó el diseño a detalle del molde para la fabricación de los conectores estructurales.

### **4.1 Diseño preliminar del molde**

El diseño del molde para la fabricación de los conectores, partió de un porta molde marca Henksa serie A; el que está conformado por 9 placas como se observa en la figura 87, además de 4 recuperadores y 12 tornillos allen de 1/2" que sirven como sujeción entre las placas inferior y los puentes, así como la sujeción entre la placa superior y la placa porta cavidad A, en la figura 88 se observa el modelo tridimensional con las medidas obtenidas del portamoldes.



*Figura 87 Placas que conforman al porta molde serie A.*

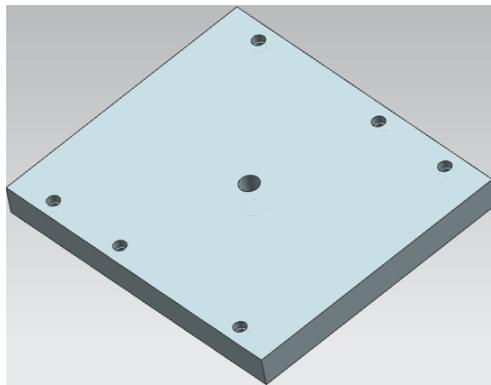


*Figura 88 Modelo 3D del porta molde Henksa serie A.*

### **Placa respaldo**

Dado que el porta molde tenía un espesor total de 306.5 [mm], fue necesario incorporar una placa adicional que sirviera de respaldo para aumentar el espesor del molde, esto debido a que la máquina de inyección permite un espesor mínimo de molde de 340 [mm].

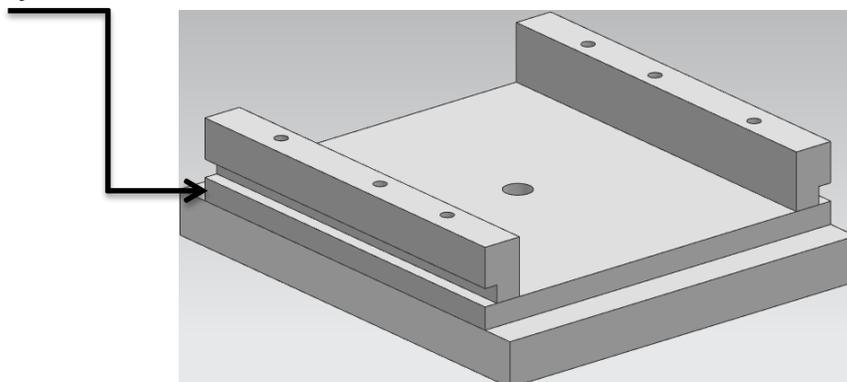
La placa de acero adquirida tuvo las dimensiones de 530 [mm] x 530 [mm] con un espesor de 50 [mm], haciendo un incremento del molde a 356.5 [mm] de espesor total; dado que es una parte añadida que se incorpora al porta molde fue necesario realizar 6 barrenos de  $\frac{1}{2}$ " para sujetarlo a la placa inferior, además de realizar un barreno en la parte central de la placa para permitir el desplazamiento del perno guía para el sistema de expulsión, figura 89.



*Figura 89 Placa respaldo.*

En la figura 90 se observa la colocación de la placa de respaldo con la placa inferior del porta molde. Debido a que las dimensiones de la placa eran superiores a las del porta molde, se maquinó la placa para su coincidencia con el portamoldes y dejando en dimensiones adicionales dos costados de la placa con el propósito de definir la zona de colocación de las grapas sujetadoras, tal como se observa en la figura 90.

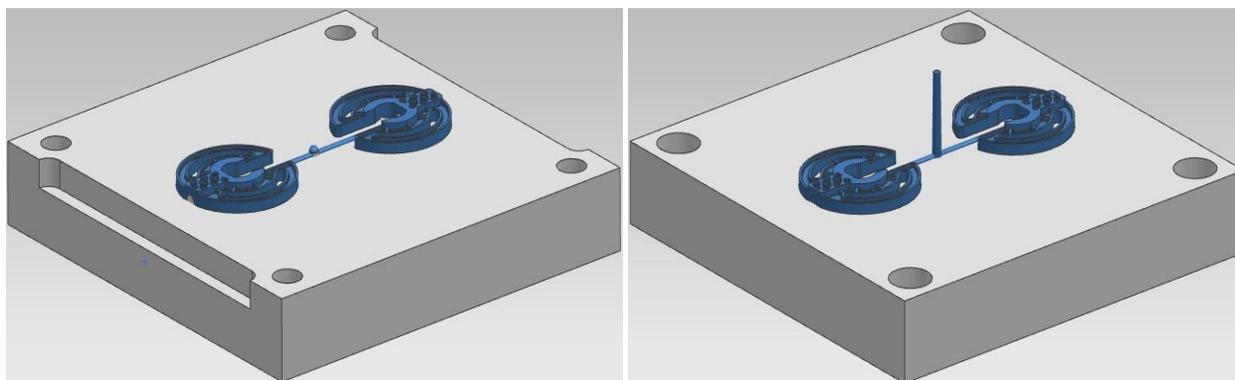
Zona para colocar grapas  
de sujeción



*Figura 90 Placa respaldo y placa inferior.*

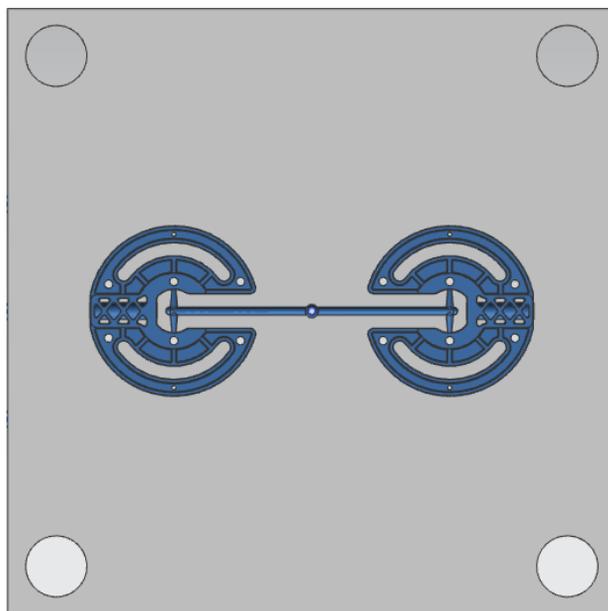
### ***Pasos a seguir para el diseño del molde***

Para proceder a diseñar el molde, se comenzó por ubicar el diseño de dos cavidades generado en el capítulo anterior al centro de las placas A y B dentro de un área de trabajo de 452 [mm] x 450 [mm] y un espesor de 73 [mm], medidas que se determinaron en base a la presencia de los cuatro barrenos presentes, figura 91.



*Figura 91 Posicionamiento de las piezas diseñadas en la placa A (izquierda) y placa B (derecha).*

Una vez posicionadas las piezas diseñadas sobre las placas, se procedió a determinar el número y posición de los pernos expulsores. E la figura 92 se observa que, dada la geometría circular que poseen los conectores se decidió colocar 6 botadores sobre la circunferencia de cada conector (4 de un diámetro de 12.54 mm (1/2") y 2 de 3.175 mm (1/8")), esto de acuerdo a las medidas de la configuración geométrica de los conectores; además se colocaron 2 expulsores de 12.54 mm (1/2") de diámetro cercanos a los puntos de inyección y uno más de 12.54 mm (1/2") en la zona del pozo frío, tal como se ve en la figura 92.



*Figura 92 Posicionamiento de los expulsores*

Habiendo ubicado la cantidad y la posición de los expulsores se procedió a determinar los barrenos que irían en la placa de respaldo interna del molde (figura 87), tal como se observa en la figura 93. En la figura 94 se observa la placa de respaldo interna en vista lateral, como puede apreciarse los barrenos se abocardaron con la finalidad de alojar los expulsores en la placa.

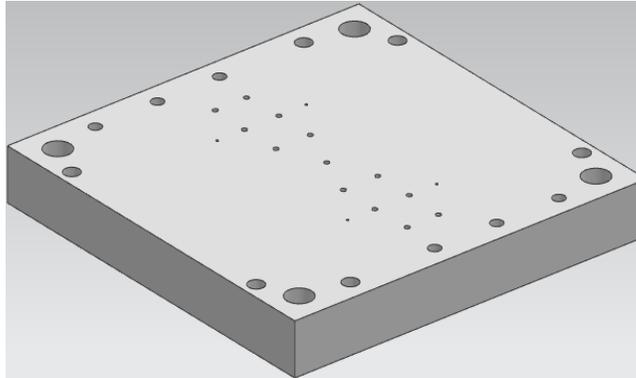


Figura 93 Barrenos para expulsores en la placa de respaldo interna.



Figura 94 Vista lateral de la placa de respaldo interna considerando el alojamiento de los expulsores

### **Ubicación del sistema de atemperamiento**

Para el sistema de refrigeración y calefacción ubicada en la placa porta cavidad A (placa ubicada del lado de la platina fija) y la placa porta cavidad B (placa ubicada del lado de la platina móvil), respectivamente. Para el sistema de calefacción se colocaron 4 barrenos pasados de 9.52 mm (3/8") colocados en posición vertical a una distancia de 6 cm del centro mientras que los segundos canales se encuentran a 14 cm del centro, mientras que para el sistema de refrigeración los canales de 9.52 mm (3/8") fueron colocados a 5 cm del centro mientras que los dos canales restantes se encuentran a 8 cm del centro figura 95.

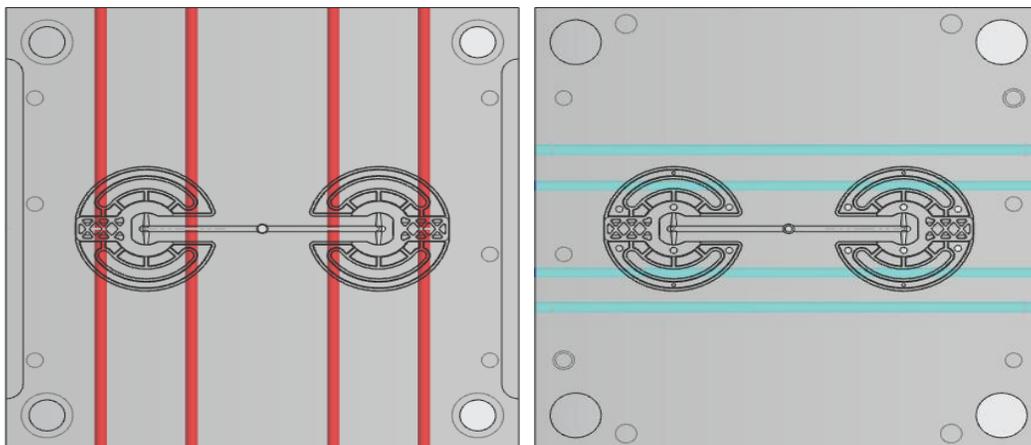
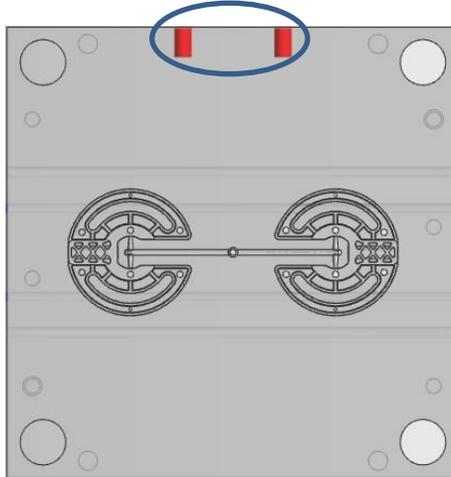


Figura 95 Sistema de calefacción de la placa porta cavidad A (izquierda) y sistema de refrigeración de la placa porta cavidad B (derecha).

### **Sistema de sujeción y transporte**

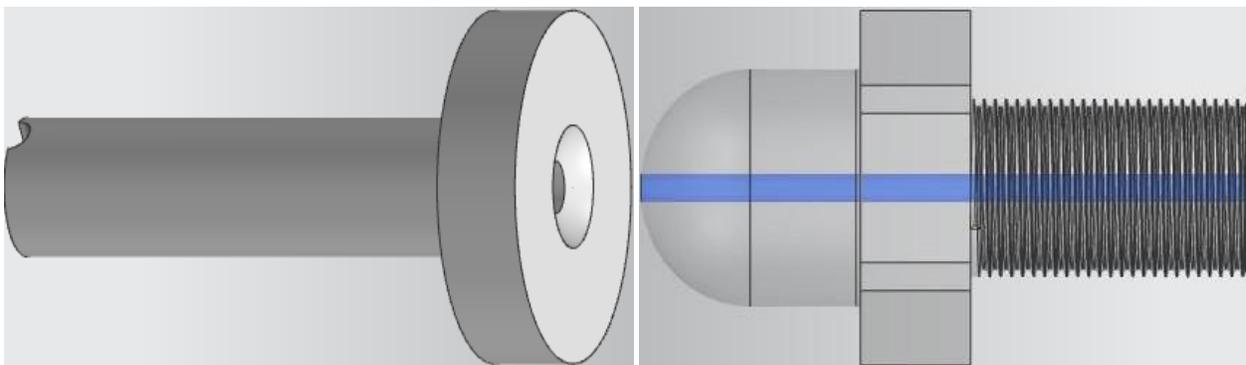
Para el sistema de sujeción se colocaron dos barrenos para una cuerda tipo M20 con 25.4 mm (1") de profundidad figura 96, indispensable para realizar el montaje, desmontaje y traslado del molde.



*Figura 96 Barrenos para cáncamos M20 ubicados de color rojo.*

### **Bebedero**

Se consideró un bebedero estándar de la marca CEPACSA serie SR – 750, la selección del bebedero se realizó con base en el diámetro del canal interno de la boquilla de la máquina de inyección, siendo de 3 [mm] de diámetro representado de color azul en la figura 97, por lo que el diámetro del bebedero es mayor, los tamaños de diámetro estándar que se manejan en el catálogo de CEPACSA son de 3.9 mm (5/32"), 5.5 mm (7/32") y 7.14 mm (9/32"), seleccionando el bebedero de diámetro 3.9 mm (5/32").



*Figura 97 Bebedero serie SR-750 (izquierda), boquilla de máquina de inyección (derecha).*

### **Anillo centrador**

El anillo centrador a ocupar es de 16 cm de diámetro externo, mientras que diámetro interno es de 10 cm, con 4 barrenos para tornillos de 9/32 encargados de fijar el anillo centrador al molde figura 98.

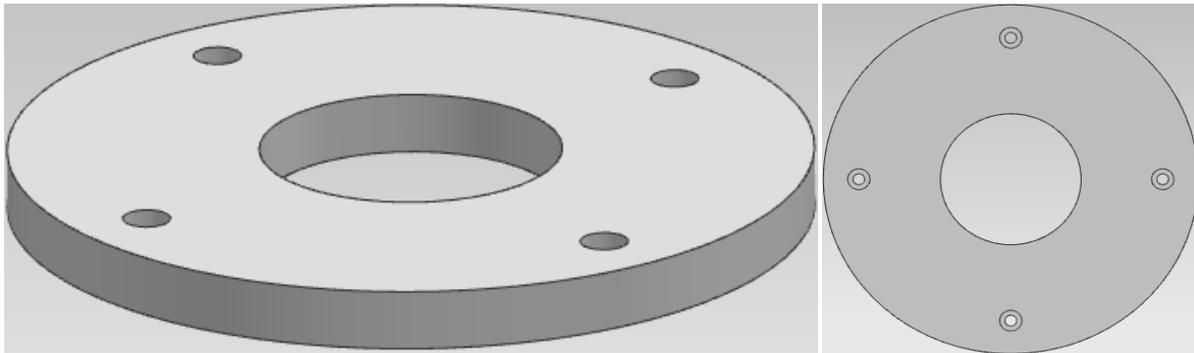


Figura 98 Anillo centrador.

Con la incorporación del bebedero, es necesario realizar un barreno de 9.52 mm ( $\frac{3}{8}$ " ) en la zona central de la placa porta cavidad para poder ensamblar el bebedero cómo se observa en la figura 99.

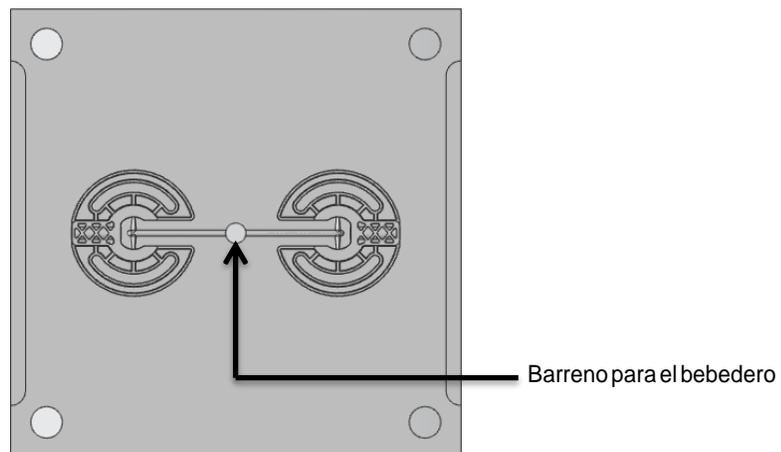


Figura 99 Barreno para bebedero en el centro de la placa porta cavidad A.

De la misma manera que ocurre con la placa porta cavidad A, a la placa inferior también es necesario realizarle un barreno de 19.05 mm ( $\frac{3}{4}$ " ) para ensamblar parte del bebedero, además de un barreno abocanado de 25.4 mm (1" ) para introducir la cabeza del bebedero. A esta placa también se le agrega 4 barrenos de 6.54 mm ( $\frac{1}{4}$ " ) para colocar tornillos de sujeción, que permitan unir el anillo centrador a la placa inferior como se observa en la figura 100.

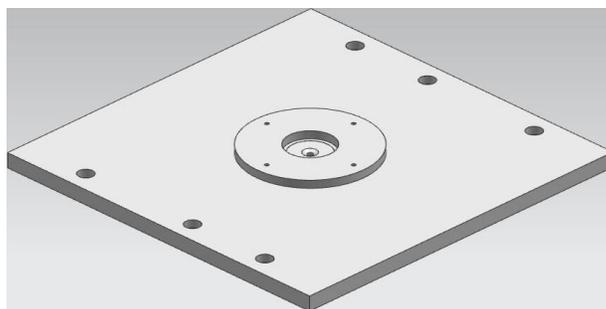


Figura 100 Bebedero y anillo centrador ensamblado a la placa inferior.

En la figura 101 se muestra el molde final, considerando botadores, sistemas de refrigeración y calefacción, sistemas de sujeción, placa respaldo, bebedero y anillo centrador.

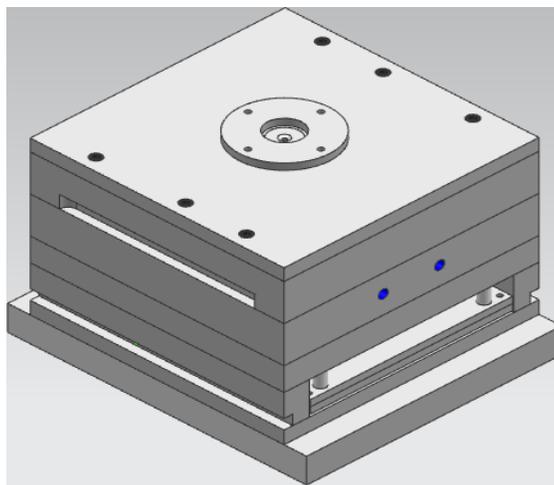


Figura 101 Molde preliminar.

Para efectuar el maquinado de las placas que conforman el porta molde, se buscó una empresa que pudieran realizar el maquinado, ya que tras evaluar las dimensiones de las placas se determinó que la Universidad no contaba con el herramental ni la maquinaria necesaria para llevar a cabo el maquinado de cada una de las placas.

Dadas las dimensiones de las placas que conforman el porta moldes, la falta de equipo y herramienta, así como la difícil disponibilidad para ocupar las máquinas de control numérico es que se decidió buscar una empresa que fuera la encargada de realizar el maquinado de cada una de las placas.

Dado que el diseño preliminar del porta moldes, fue realizado con base en investigaciones realizadas en libros especializados en el diseño de moldes<sup>33</sup>, videos y el estudio de los moldes disponibles en el laboratorio, fue necesario que la empresa realizara una evaluación para identificar partes faltantes o en su defecto partes sobrantes, a continuación, se describe la evaluación realizada al porta molde.

#### 4.2 Evaluación del porta molde preliminar

Durante el proceso de evaluación del porta molde, se detectó la ausencia de algunos componentes necesarios para mejorar la calidad y evitar daños a futuro en el porta molde, así como componentes presentes pero que son insuficientes para cumplir con su trabajo.

---

[1] <sup>33</sup>E.A. Ocampo, *THE COMPLETE PART DESIGN HANDBOOK FOR INJECTION MOLDING OF THERMOPLASTICS*, Hanser, USA.

[2] H. Gastrow, *MOLDES DE INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS 100 CASOS PRÁCTICOS*, Hanser, 2da Ed., España, 1998

Entre los componentes incorporados en el molde se encuentran:

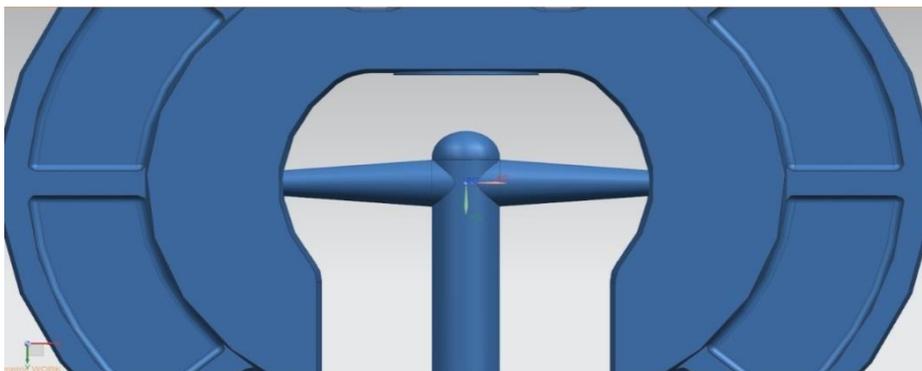
- Resorte de retroceso de botadores.
- Guías de botadores.
- Columnas de respaldo.
- Bujes.
- Botadores.
- Tornillos allen de sujeción.

Al incorporar los elementos faltantes en el porta molde se asegura el buen funcionamiento de este, las modificaciones se enfocaron en los sistemas de sujeción entre placas, el tipos de colada y punto de inyección, el mejoramiento de los canales de enfriamiento, así como la introducción de un sistema de vacío para insertos.

### 4.3 Reconsideraciones para el maquinado del molde

#### Canales de alimentación

El desarrollo de un sistema de canales de inyección se comenzó a partir de las dimensiones ya antes obtenidas mediante Moldflow Adviser y adaptándolas a dimensiones de cortadores comerciales. Como resultado de lo anterior se obtuvo el canal primario de inyección mostrado en la figura 102 en forma cilíndrica de 4.7 mm (3/16”), valor próximo a los 5 mm, con respecto al canal secundario de inyección se había obtenido un canal cónico de 3mm de diámetro en la sección que desemboca el canal primario y de 1 mm en el punto de inyección, debido a que el maquinado de canales de inyección cónicos, implica tiempos largos e innecesarios, por necesitar de varias trayectorias de corte para generar ese tipo de geometría se optó por cambiar el canal a uno tipo cilíndrico cuya dimensión fue de 3.1 mm (1/8”). Además, para tener un buen desprendimiento entre los canales de inyección y la pieza fue necesario efectuar una disminución en el diámetro de la sección que se encuentra entre el punto de inyección y el canal de inyección secundario, con geometría cilíndrica y una dimensión de 5 mm de longitud y 1.5 mm (1/16”) de diámetro, como se muestra en la figura 103.



*Figura 102 Canal primario, canal secundario y punto de inyección obtenidos a partir de Moldflow.*

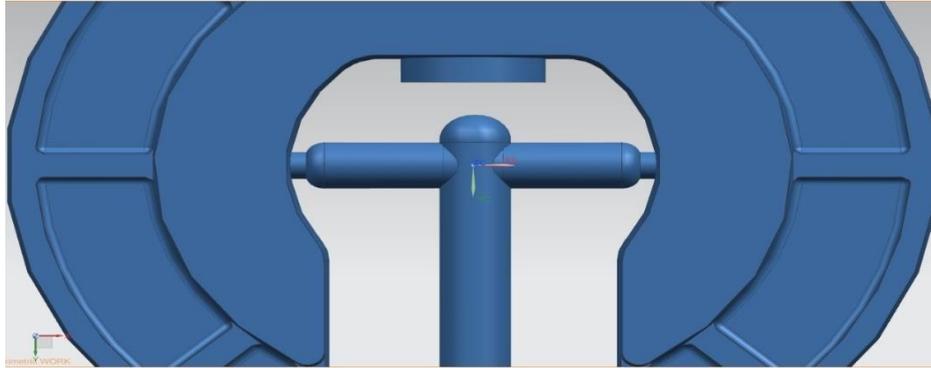


Figura 103 Canal primario, canal secundario y punto de inyección considerando las herramientas de corte.

### Sistema de Retroceso

Al contar con un sistema de expulsión por golpe, fue necesario contar con algún mecanismo o dispositivo de retroceso al posicionamiento inicial para los botadores, junto con la placa respaldo y la placa botadora, después de expulsar la pieza. Los resortes son los dispositivos comúnmente utilizados para este fin, el uso de 4 resortes colocados en los ejes de expulsión (recuperadores) ayuda en gran medida a tener un desplazamiento totalmente horizontal de las placas respaldo y de botado, evitando que durante la etapa de expulsión de la pieza los botadores queden atrapados dentro de la cavidad ocasionando daños en el porta molde y a los mismo expulsores.

La selección de los expulsores se debe realizar bajo las siguientes consideraciones [9]:

- El diámetro interno del resorte debe ser de 0.7 mm (1/32") más grande que el diámetro de los recuperadores.
- La longitud del resorte debe permitir el desplazamiento de las placas (respaldo y retenedora) para poder expulsar la pieza de forma correcta, siempre y cuando se evite el choque con la placa respaldo, teniendo en cuenta que la deformación máxima de los resortes es del 30% de su longitud total.

De acuerdo con lo anterior, el resorte adecuado para el sistema de botado es un resorte para carga media de 25.4 mm (1") de longitud basándonos en el catálogo de resortes de la empresa CPACSA (ver A3); de acuerdo con la escala de tipos de colores en relación al tipo de carga, el resorte de color rojo es el adecuado para el porta molde.



Figura 104 Resortes para sistema de botado CEPACSA.

## Sistema de refrigeración

En un principio se consideró un sistema de refrigeración conformado por dos líneas de flujo paralelas a 5 cm de distancia con un diámetro de 3 cm, pero analizando la geometría del conector se determinó que ese sistema no cumplía en su totalidad con su objetivo, por lo que se realizó la modificación del sistema de refrigeración a uno que rodeara la periferia del conector, los beneficios que presentan este tipos de canales de refrigeración es la de adecuar el sistema lo más próximo al diámetro del conector permitiendo un enfriamiento homogéneo.

El procedimiento para generar este tipo de enfriamiento consiste en hacer 2 barrenos en 3 de las 4 caras perpendiculares a la línea de partición, dos de estos barrenos tienen una profundidad de 305 mm (11 13/16") que servirá para unir los canales de flujo, estos dos barrenos al final se sellarán para impedir la salida del refrigerante por esa zona, mientras que los otros 4 barrenos tendrán una profundidad de 210 mm (8 3/16") que es por donde circulará el refrigerante.

Para este sistema de refrigeración se consideraron conectores estándar para tubería, por lo que se realizaron barrenos de 11 mm (7/16") para poder generar una cuerda con un machuelo de ¼ - 18 NPT. En la figura 105 se observa el cambio en el sistema de refrigeración comparado con el sistema propuesto.

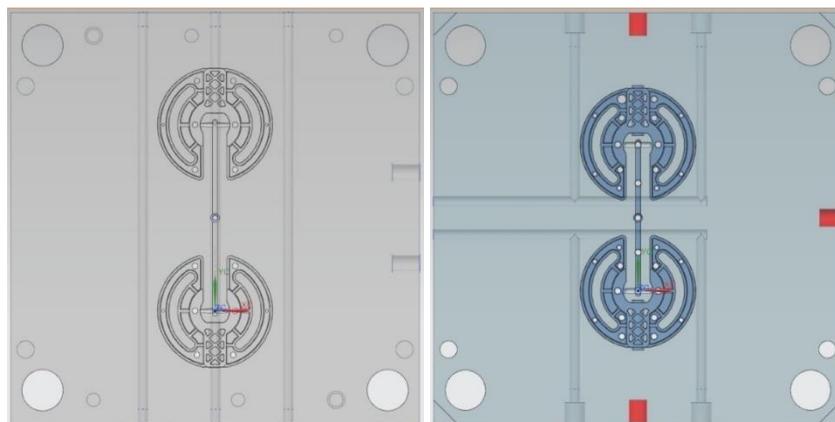


Figura 105 Sistemas de refrigeración pasado.

## Sistema de expulsión

En un inicio para el sistema de expulsión, se habían considerado la cantidad de 17 expulsores, pero tras evaluar la geometría de la pieza se determinó que esa cantidad era insuficiente para expulsar la pieza y el sistema de canales, la evaluación se realizó con base en las dimensiones y espesores del conector así como la proximidad que tenían los botadores entre sí, se consideró también que el material al tener fibra de vidrio tenía posibilidades de quedar pegado a la cavidad del molde haciendo muy difícil de expulsar la pieza con 17 botadores, haciendo énfasis en lo anterior se colocaron expulsores cerca de los canales de inyección en donde no se les había considerado, además de colocar botadores en la periferia del conector y cerca de los puntos de inyección para mejorar la expulsión, esta modificación ocasiono que los botadores se incrementarán a 33, de los cuales 20 son de 6.3 mm (¼") y 13 de 4.7 mm (3/16").

En la figura 106 se puede observar el aumento de botadores distribuidos de manera uniforme en ambos conectores, incluyendo los canales de alimentación.

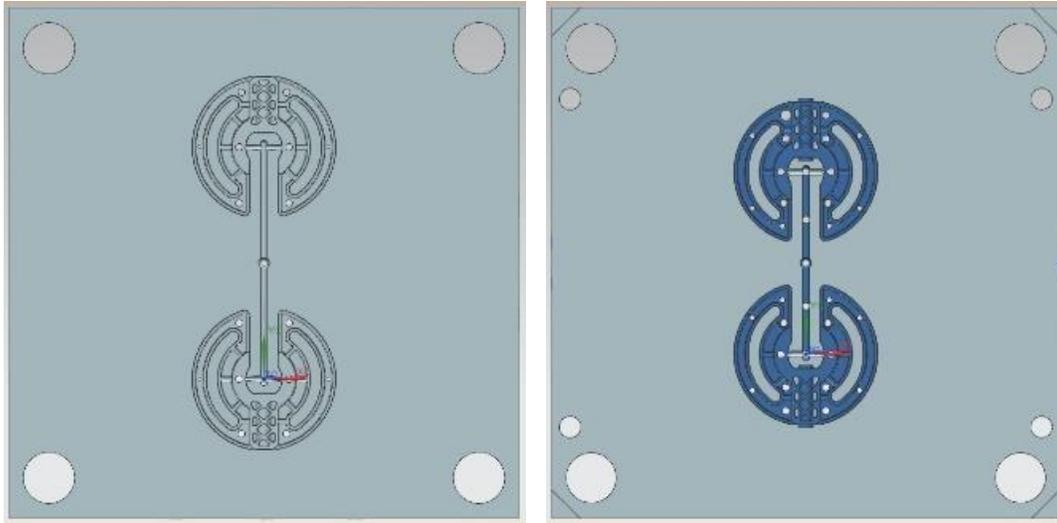


Figura 106 Aumento de botadores de acuerdo con la evaluación realizada.

La importancia de evitar un atrapamiento de los botadores durante la etapa de expulsión y evitar la fuga de material, hace desarrollar un método de diseño especial para los barrenos de botado, este diseño implica tener una holgura en el barreno de los botadores, holgura que normalmente es de 1.5 mm (1/16") arriba del diámetro del botador. Con ello se permite el paso correcto del botador a la hora de expulsar la pieza, a esto también se le conoce como desahogo, este desahogo es aplicado a la placa de botado, la placa de respaldo y parte de la placa porta cavidad A, y es que la holgura no puede presentarse en su totalidad en esta última placa debido a que existiría una fuga de material. Por ello, para este caso se considera un barreno con una profundidad de 25.4 mm (1") antes de que el botador toque la superficie de la pieza, dicho barreno tendrá el mismo diámetro que el botador para evitar la salida del plástico fundido durante la fase de llenado a través de los barrenos de botado, a este tipo de barreno se le conoce como (barreno rimado). En la figura 107, se muestra el desahogo descrito.



Figura 107 Desahogo de botadores a 1" antes del choque de botadores y la cara de la pieza.

## Cavidades para herramental manual

Durante la etapa de desensamble del porta molde, se notó la importancia de tener una sección en donde introducir herramental para poder despegar las placas más pesadas, por lo que fue necesario realizar cavidades en las esquinas de las placas más pesadas para la introducción de herramental como desarmadores o cuñas que permitan abrir el molde durante el mantenimiento, reparación o ajuste del molde, las medidas comerciales para generar estas cavidades son de 25.4x 25.4x6.3 mm (1" x 1" x 1/4"). Como se ve en la figura 108.

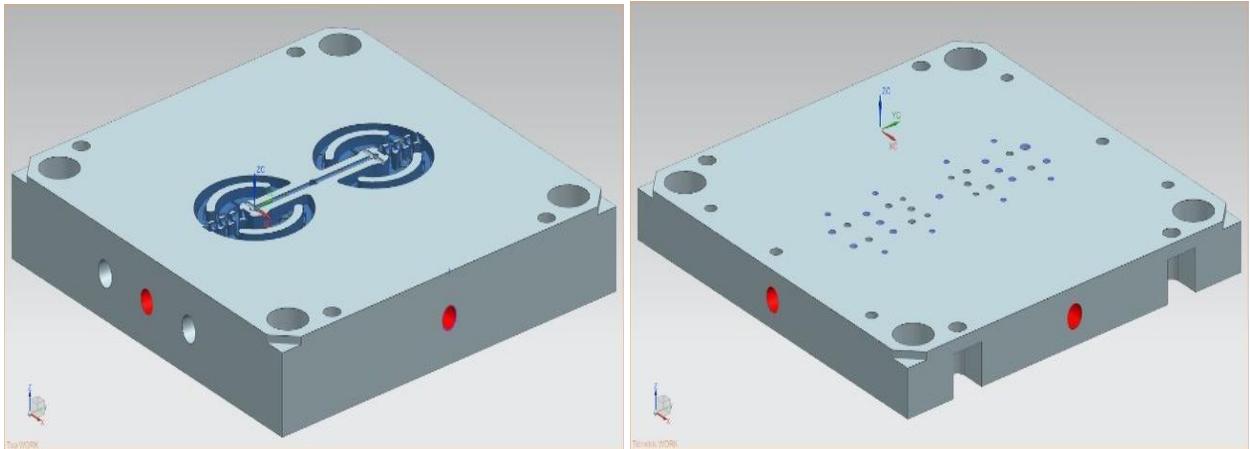


Figura 108 Cavity para herramientas ubicada en las esquinas de cada placa.

## Sistemas de Sujeción:

El uso de pernos de sujeción o cáncamos, durante el montaje o traslado del porta molde de un lugar a otro hace a este elemento imprescindible, la idea inicial consistía en generar únicamente dos barrenos con cuerda de 6.3 mm (1/4") x 10 para colocar los cáncamos ubicados en la parte superior de las placas porta cavidades A y B, pero durante el traslado de las placas se determinó que es necesario realizar los barrenos en las placas más pesadas, que son la placa respaldo inferior, placa porta cavidad A y B y la placa central de respaldo ya que estas placas superan los 50 Kg con el fin de evitar un desbalance en el molde al generar 1 solo barreno fue necesario colocar 4 barrenos por placa, además de evitar el desbalance el uso de 4 cáncamos en cada placa ayuda en gran medida durante el traslado del molde para mantenimiento o limpieza en donde es imprescindible poder rotar las placas del molde haciendo uso de 2 grúas para fines de seguridad. Como se ve en la figura 109.

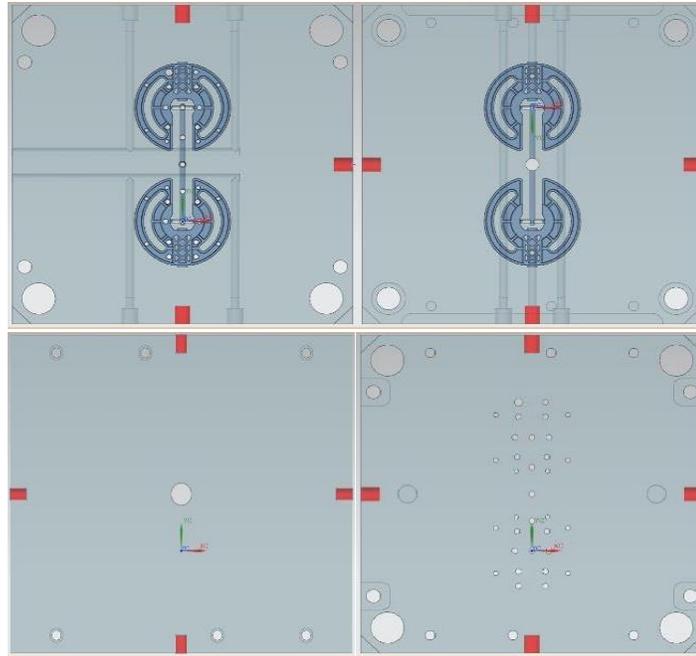


Figura 109 Barrenos indicados con color rojos realizados en las 4 caras de las placas a excepción de la placa porta cavidad B.

### Columnas respaldo

Debido a las altas presiones que se generan en el centro del molde durante la etapa de inyección, (dichos cálculos se muestran en la siguiente página), fue necesario colocar un refuerzo cerca de esa zona para poder evitar pandeos en las placas porta cavidades y de respaldo, por tal motivo, es común colocar columnas lo más cercanos al centro del molde, la cantidad de columnas dependerá del tamaño de molde, considerando las dimensiones de este porta molde se decide colocar únicamente dos columnas de 50.8 mm (2") de diámetro, mientras que su longitud siempre deba ser la misma que la longitud de los puentes; es decir, 63.2 mm (2.5"). Para verificar lo anterior, se realizó el análisis de deflexión de la placa respaldo apoyada en dos puntos (placas puente) y aplicando una carga puntual (Fuerza de cierre), así como en cuatro puntos (placas puente y columnas) con la misma carga anterior. El medio de sujeción que se utilizó fue por medio de tornillos Allen, unidos a la placa inferior del molde. Como se ve en la figura 110.

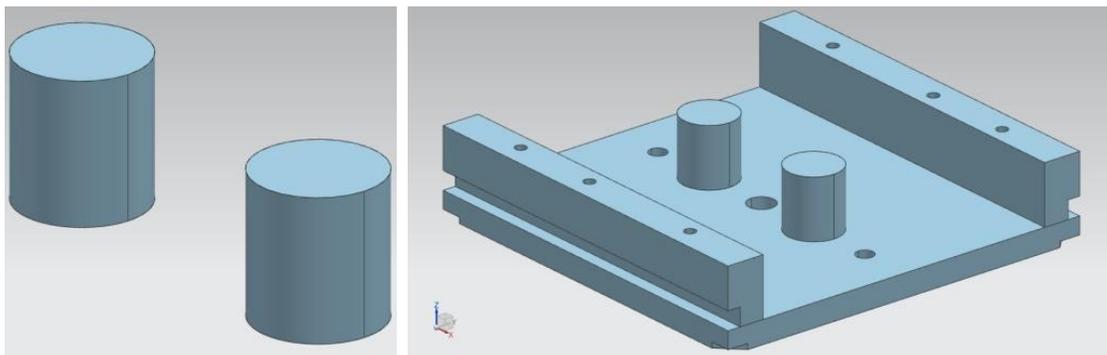


Figura 110 Columnas respaldo.

### Cálculo de la fuerza de cierre

$$F_c = A_p \times P_i$$

Para calcular el área proyectada ( $A_p$ ) fue necesario dividir la pieza en 3 secciones (conector, canales de inyección y canales de punto de inyección) como se observa en la figura 76:

$$A_p = A_{conector} + A_{pi} + A_{canales}$$

Para encontrar el área del conector se dividió en 5 secciones como se muestra en la figura 111.

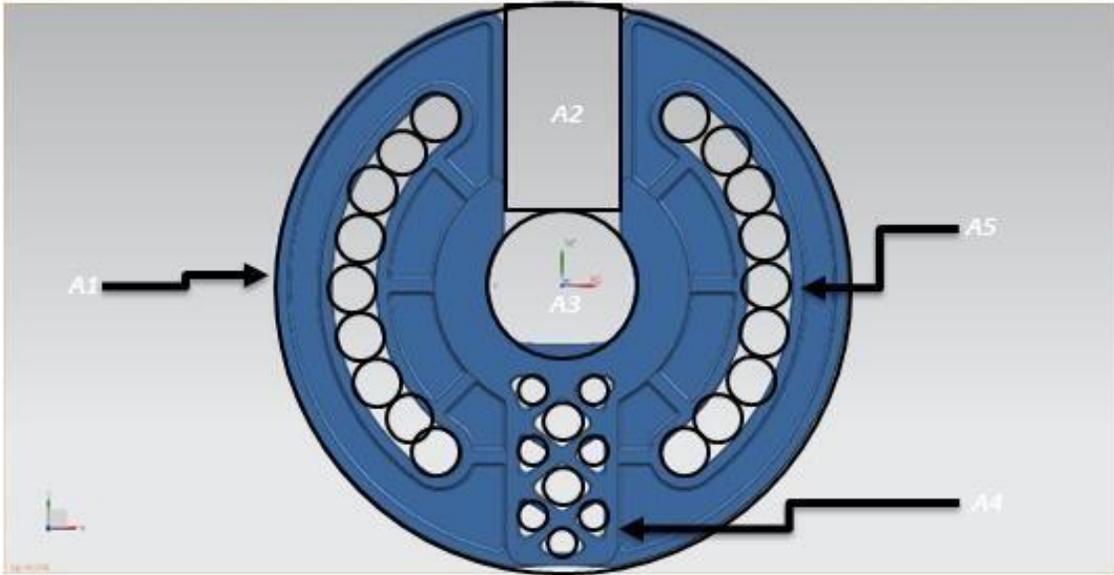


Figura 111 División de secciones del conector para calcular el área proyectada.

$$A_{conector} = A_1 - A_2 - A_3 - A_4 - A_5$$

$$\begin{aligned} A_1 &= (\pi (d/2)^2) \times 2 \\ A_1 &= (\pi (127\text{mm} / 2)^2) \times 2 \\ A_1 &= 25335 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_2 &= (L \times L) \times 2 \\ A_2 &= (46.73 \text{ mm} \times 25.4\text{mm}) \times 2 \\ A_2 &= 2374 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

$$\begin{aligned} A_3 &= (\pi (d/2)^2) \times 2 \\ A_3 &= (\pi (33.08 \text{ mm} / 2)^2) \times 2 \\ A_3 &= 1719 \text{ mm}^2 \end{aligned}$$

Debido a la geometría y sus costillas que presenta la sección con mayor espesor, fue difícil calcular el área proyectada, por lo que se recurrió a utilizar 9 circunferencias con diámetro de 10 mm, para encontrar el área aproximada como se muestra a continuación:

$$A_4 = 9 \times (\pi (d/2)^2) \times 2$$

$$A_4 = 9 \times (\pi (10 \text{ mm} / 2)^2) \times 2$$

$$A_4 = 1145 \text{ mm}^2$$

De la misma manera, para encontrar el área en esta sección fue necesario hacer uso de una circunferencia de diámetro 9.52 mm, y desplazarlo a lo largo de la cavidad para encontrar el área aproximada como se muestra a continuación:

$$A_5 = 20 \times (\pi (d/2)^2) \times 2$$

$$A_5 = 20 \times (\pi (9.52 \text{ mm} / 2)^2) \times 2$$

$$A_5 = 2847 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{conector}} = 25335 \text{ mm}^2 - 2374 \text{ mm}^2 - 1719 \text{ mm}^2 - 1145 \text{ mm}^2 - 2847 \text{ mm}^2$$

$$A_{\text{conector}} = \underline{16850 \text{ mm}^2}$$

$$A_{pi} = \theta \times L$$

$$A_{pi} = 4 \times (6.35 \text{ mm} \times 13 \text{ mm})$$

$$A_{pi} = \underline{330 \text{ mm}^2}$$

$$A_{\text{canales}} = \theta \times L$$

$$A_{\text{canales}} = 2 \times (6.35 \text{ mm} \times 82.71 \text{ mm})$$

$$A_{\text{canales}} = \underline{1050 \text{ mm}^2}$$

$$A_p = 16850 \text{ mm}^2 + 330 \text{ mm}^2 + 1050 \text{ mm}^2$$

$$A_p = \underline{18230 \text{ mm}^2} = \underline{182.30 \text{ cm}^2}$$

### **Para calcular la presión de inyección (Pi):**

#### **Recorrido de flujo ( $R_{\text{flujo}}$ )**

$$R_{\text{flujo}} = L_{\text{colada}} + L_{\text{canales}} + L_{\text{pieza}}$$

$$R_{\text{flujo}} = 76 \text{ mm} + 13 \text{ mm} + 47 \text{ mm}$$

$$R_{\text{flujo}} = \underline{218 \text{ mm}}$$

#### **Relación de flujo ( $R_f$ )**

$$R_f = \text{Recorrido} / \text{Espesor}$$

$$R_f = 218 \text{ mm} / 12.7 \text{ mm}$$

$R_f = 17.16$  -> 17:1 Revisando la gráfica de la figura 112 se observa que no existe algún valor correspondiente al espesor de 12.7 mm, por lo que el valor de la presión se obtendrá del análisis de moldeabilidad correspondiente al último conector, siendo esta de

$$P_c = \underline{8 \text{ bar}} = \underline{8.15 \text{ kg/cm}^2}$$

## Presión de inyección ( $P_i$ )

$$P_i = P_c \times F_c$$

$$P_i = 8.15 \text{ Kg/cm}^2 \times 1.4$$

$$\underline{P_i = 11.41 \text{ kg/cm}^2}$$

$$F_c = A_p \times P_i$$

$$F_c = 182.30 \text{ cm}^2 \times 11.41 \text{ kg/cm}^2$$

$$\underline{F_c = 2080.04 \text{ kg} = 2 \text{ Ton}}$$

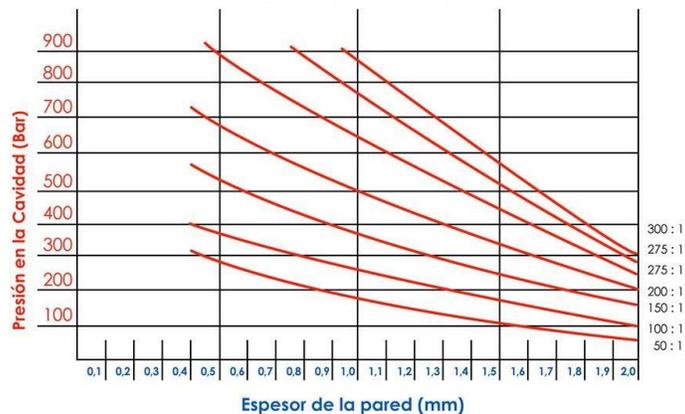


Figura 112 Graficas de relación entre flujo y espesor (cortesía Tecnova).

## Cálculo para la placa de respaldo sujeto a dos y tres puntos

Considerando una viga doblemente empotrada, y partiendo de la ecuación para calcular la deflexión máxima en vigas se obtiene que:

$$Y = ((PL^3) / (48 \times E \times I))$$

$$P = \text{Carga} = 26025.14 \text{ kg}$$

$$L = \text{Longitud} = 45 \text{ cm}$$

$$E = \text{Módulo de elasticidad} = 210000 \text{ [MPa]}$$

$$I = \text{Momento de inercia} = ((m \times (a^2 \times b^2)) / 12)$$

Donde

$$a = 45 \text{ cm}$$

$$b = 45.2 \text{ cm}$$

$$m = 68 \text{ kg}$$

$$I = ((68 \text{ Kg} \times ((45 \text{ cm})^2 \times (45.2 \text{ cm})^2)) / 12)$$

$$I = 23443884 \text{ kg cm}^2$$

$$Y = ((142.76 \text{ kg/cm}^2 (45 \text{ cm})^3) / (48 \times 210000 \text{ [MPa]} \times 23443884 \text{ kg cm}^2))$$

$$Y = 5.50 \times 10^{-8} \text{ cm}$$

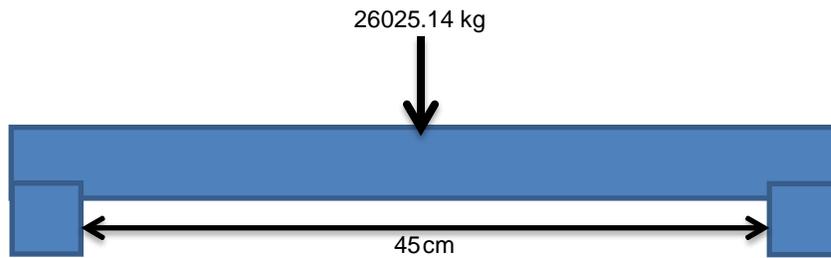


Figura 113 Análisis de carga en placa respaldo utilizando el método de vigas apoyada en dos puntos.

$$Y = ((PL^3) / (48 \times E \times I))$$

$P = \text{Carga} = 26025.14 \text{ kg}$

$L = \text{Longitud} = 16.5 \text{ cm}$

$E = \text{Módulo de elasticidad} = 210000 \text{ [MPa]}$

$I = \text{Momento de inercia} = ((m \times (a^2 \times b^2)) / 12)$

Donde

$a = 45 \text{ cm}$

$b = 45.2 \text{ cm}$

$m = 68 \text{ kg}$

$$Y = ((142.76 \text{ kg/cm}^2 (16.5 \text{ cm})^3) / (48 \times 210000 \text{ [MPa]} \times 23443884 \text{ kg cm}^2))$$

$$Y = 2.71 \times 10^{-9} \text{ cm}$$

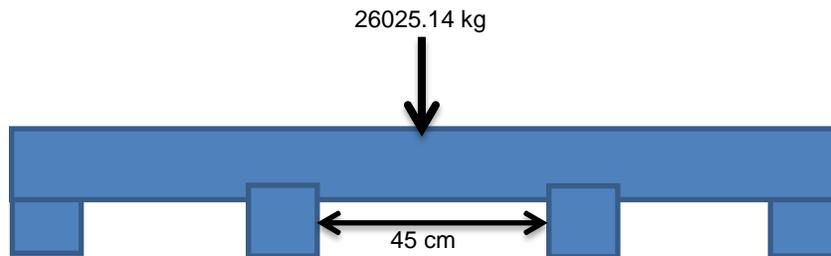


Figura 114 Análisis de carga en placa respaldo utilizando el método de vigas apoyada en cuatro puntos.

### Sistema de vacío

El uso de insertos metálicos conllevó a desarrollar un sistema capaz de retener durante la etapa de cierre del molde los insertos a utilizar, ya que el método de introducir a presión dentro de la cavidad dichos insertos es peligroso, esto debido a que, si no se presta la atención adecuada con las tolerancias, una ligera variación en el diámetro de los insertos puede llevar a la caída o cambio de posición dentro del molde, ocasionando daños en la cavidad. El medio que se desarrolló para la sujeción de los insertos dentro del molde y evitar que pudieran moverse, fue agregar un sistema de vacío.

Para llevar a cabo el sistema de vacío se realizaron dos barrenos de ¼” que conectan las cavidades del molde con el exterior, para poder conectar dos mangueras que adaptadas a un tubo Venturi, se conectarán a un compresor. Como se observa en la figura 115.

Para llevar a cabo el sistema de vacío fueron necesarios incorporar dispositivos externos al molde entre los que se encuentran:

- 1 compresor de 1 hp.
- 1 sistema de vacío Venturi.
- 1 manómetro de diafragma.
- 1 unión en forma de T.

En la figura 116 se muestra el diagrama de conexión del sistema de vacío, incorporado al molde de inyección.



Figura 115 Conexión de sistemas de vacío.

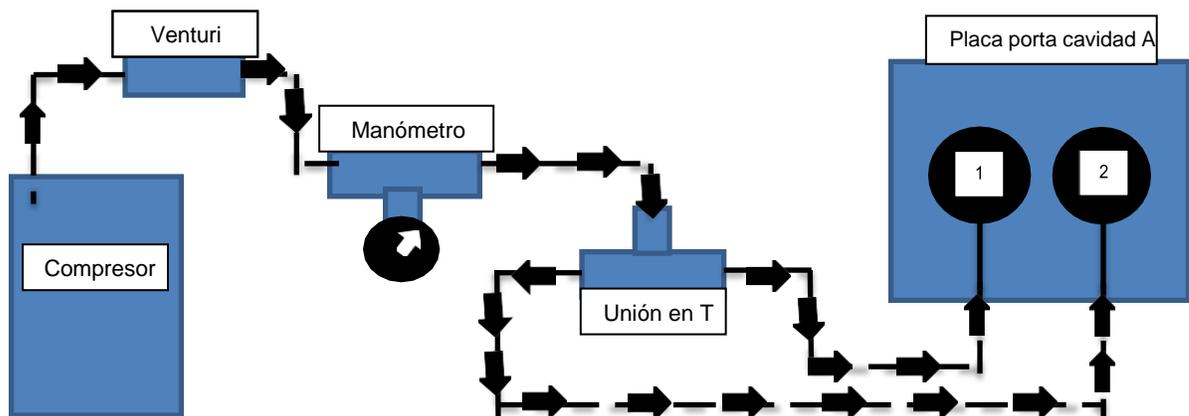


Figura 116 Diagrama de conexión del sistema de vacío.

### Canales de ventilación (venteos)

Los canales de tamaño milimétrico ubicados en la parte frontal de la placa portan cavidades que conectan el exterior del molde con la cavidad, son los encargados de desalojar el aire que se encuentran en el interior de la misma. La profundidad de los canales está asociada al tipo de material polimérico a utilizar, aunque es muy común encontrar una profundidad de canal de 0.015 [mm] para plásticos cristalinos, mientras que 0.030 [mm] para plásticos amorfos [18]. La colocación de los canales de ventilación debe de ser en zonas en donde existan choques de

flujos (líneas de soldadura). Existen dos tipos de canales de ventilación; pasivos, los cuales consisten en maquinarse canales en la superficie de la placa en donde se encuentra la cavidad, mientras que los activos hacen uso de dispositivos como bombas de vacío, para la extracción del aire. Para fines de este trabajo, se consideró un sistema de canales de ventilación de tipo pasivo, por la rapidez que conlleva la manufactura de estos canales, otro beneficio que presenta este sistema es su nulo mantenimiento en comparación con una bomba de vacío. La figura 117 muestra los venteos realizados en la placa porta cavidad.

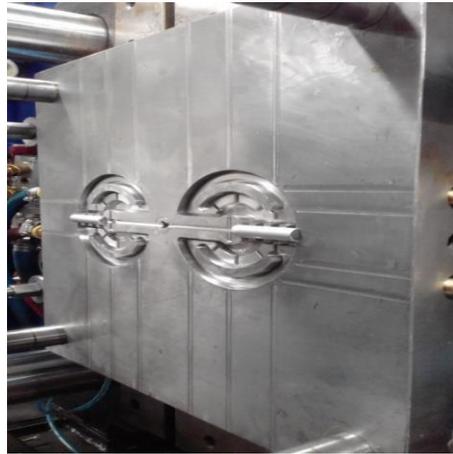


Figura 117 Placa porta cavidades con canales de ventilación y sujeción de insertos.

## Molde Final

Tras incorporarse todos los elementos anteriores se dice que el diseño está congelado, por lo que se puede proceder a realizar los planos de cada placa (ver anexo A9), a continuación se muestra el modelo sólido del molde final.

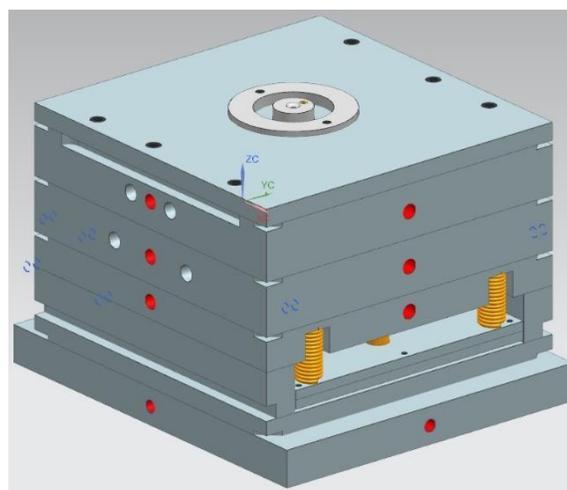


Figura 118 Diseño congelado de Porta molde.

## Posibles complicaciones durante el maquinado del porta molde

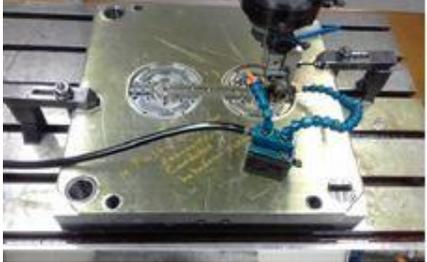
Algunas de las posibles complicaciones que se pueden generar durante un proceso de maquinado, pueden deberse:

Al poco conocimiento que pudieran poseer los diseñadores en el área de maquinado, a veces, los diseñadores plantean soluciones posibles en la computadora pero imposibles en la manufactura, repercutiendo en las horas de trabajo, en paros de producción, en atrasos de entrega, así como en el costo excesivo de piezas.

Otras complicaciones y las más comunes son los errores ocasionados por los técnicos del taller de maquinado, esto debido a una mala capacitación del personal en el taller, distracciones durante el trabajo o presión excesiva debido a la alta demanda en el servicio.

## Maquinado de placas

En este apartado se desglosan los tipos de maquinado que se llevaron a cabo en cada una de las placas, así como el tiempo se dedicó a cada placa esto con la finalidad de contar con la información documentada de las condiciones finales de cada componente del molde fabricado.

Placa	Operación	Maquinado
Placa superior.	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Barreno para desahogo de bebedero de ¾" de diámetro.</li> <li>*Desbaste para alojamiento de anillo centrador.</li> <li>*Barreno para tornillo allen de anillo centrador.</li> <li>*Barreno para sujeción de bebedero.</li> </ul> <p>Horas de trabajo: 3 horas.</p>	
Placa Porta Cavity A.	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Barrenos para canales de enfriamiento.</li> <li>*Barrenos para sistemas de sujeción.</li> <li>*Barrenos para desahogo de bebedero de ¾ de diámetro.</li> <li>*Desbaste de cavidades.</li> <li>*Electroerosión.</li> <li>*Pulido.</li> </ul> <p>Horas de trabajo: 139 horas.</p>	
Placa Porta Cavity B.	<ul style="list-style-type: none"> <li>*Barrenos para sistemas de refrigeración de tipo loop.</li> <li>*Barrenos para sistemas de sujeción.</li> <li>*Barrenos para botadores.</li> <li>*Desbaste de cavidades.</li> <li>*Electroerosión.</li> <li>*Pulido.</li> </ul> <p>Horas de trabajo: 145 horas.</p>	

<p>Placa Respaldo</p>	<p>*Barrenos para sistemas de sujeción.          *Barrenos para botadores.          *Desbaste de caja de almacenamiento de resortes.          *Barreno de desahogo de guías de botadores.</p> <p>Horas de trabajo: 14 horas.</p>	
<p>Puentes.</p>	<p>*Este es el único elemento que no tuvo cambios dimensionales ni de maquinado.</p>	
<p>Placa de Expulsión.</p>	<p>*Barrenos para botadores.          *Barrenos para guías de botadores.          *Barreno para buje de 3/4".          *Desbaste para desahogo de columnas de respaldo de 1 1/2".          *Barrenos para tornillos de fijación.</p> <p>Horas de trabajo: 8 horas.</p>	
<p>Placa Retenedora.</p>	<p>*Barrenos para tornillos de fijación.          *Desbaste para desahogo de columnas.          *Barreno para guías de botadores.</p> <p>Horas de trabajo: 4 horas.</p>	
<p>Placa Inferior.</p>	<p>*Barrenos para tornillos de fijación.          *Barrenos para guías de botadores.          *Desbaste para tornillos de fijación.          *Desbaste para desahogo de perno de botado.</p> <p>Horas de trabajo: 6 horas.</p>	
<p>Placa Respaldo Inferior.</p>	<p>*Barreno para tornillos de fijación.          *Barreno para cáncamos.          *Desbaste para desahogo de perno de botado de 3/4".</p> <p>Horas de trabajo: 6 horas.</p>	

Es importante mencionar que, para la elaboración de las cavidades en ambas placas del porta molde, fueron necesarias varias etapas de maquinado, a continuación se describen cada una de ellas:

- La primera etapa consistió en un desbaste rápido, eliminando la mayor cantidad de material posible, sin importar el acabado de la superficie de la cavidad, dejando a un lado los detalles complicados del molde. Dicho proceso fue realizado en una máquina CNC marca Milltronics 8200.
- La segunda etapa consistió, en electro erosionar cada una de las cavidades, este proceso tiene gran importancia debido a que en ella interfieren: las tolerancias finales que llevará el molde, los ángulos de salida, así como en las secciones más complicadas del molde, este proceso fue realizado en una máquina electro erosionadora tipo CNC modelo HC100.
- La tercera etapa consistió en el acabado que lleva la cavidad del molde, los tipos de acabado utilizados en la industria del plástico son mate u opaco, brillante y acabado espejo, el primero consiste en eliminar únicamente las marcas ocasionadas por los cortadores durante el desbaste, la segunda busca eliminar las líneas más profundas que no pudieron ser eliminadas con anterioridad obteniendo una superficie brillante en la cavidad del molde, mientras que la tercer etapa busca eliminar por completo las líneas de la superficie de la cavidad del molde obteniendo un efecto espejo en la superficie. Para fines de este trabajo se consideró un acabado tipo brillante.

## **CAPITULO 5. Resultados**

Una vez fabricado el molde, se procedió a ensamblar y a realizar la prueba de contacto entre placas (prueba de sello); la prueba se realizó para verificar el buen ensamble entre las placas porta cavidad A y B, el proceso consistió en agregar un colorante (azul de prusia) en alguna de las placas antes mencionadas que estarán en contacto antes de cerrar el molde, unos segundos con el molde cerrado son suficientes para que el colorante cubra la superficie de la otra placa, y así determinar si existen zonas en las que no hay contacto, esto se observa cuando alguna de las zonas de la placa no presenta rastros de pintura. Es común que esta práctica se lleve a cabo debido a que pueden existir ajustes dimensionales de algunos de los elementos involucrados, dada la cantidad de componentes que el molde tiene, la figura 119 muestra una imagen representativa de la prueba de sello de un molde.



*Figura 119 Imagen representativa de una prueba de sello de molde<sup>35</sup>.*

### **5.1 Prueba de molde**

Antes de realizar la entrega del molde, la empresa fabricante realizó una prueba de funcionamiento del molde utilizando una máquina de 200 Toneladas de fuerza de cierre, marca Haitian modelo MA2000/770, la máquina cuenta con un diámetro de husillo de 50 [mm], una cantidad de plastificación de 412 [cm<sup>3</sup>] y una presión y velocidad máxima de inyección de 1870 [bar] y 110 [mm/s] respectivamente, todos los datos anteriores fueron recopilados a pie de máquina a través de la pantalla de optimización de proceso y se pueden verificar en la hoja de datos ubicada en el anexo de este trabajo.

Previo a la prueba del molde, el material había pasado por un proceso de deshumidificación; este proceso consistió en eliminar toda la humedad que pudiera contener el material, de acuerdo con la hoja técnica de la PA66 GF30 02 se necesitó una permanencia del material de 4 horas a 90° C dentro del deshumidificador.

<sup>35</sup> Obtenido de: <http://www.matricesymoldes.com/moldes/moldes-de-caucho.html>

La elección de las temperaturas del barril y la boquilla se obtuvieron a través de la hoja técnica de material, es importante asegurar una temperatura controlada ya que una temperatura excesiva ocasionaría una degradación del material, mientras que por el contrario una temperatura baja, aumentaría la viscosidad y complicaría el proceso de inyección, a continuación se muestra un diagrama con las temperaturas que fueron introducidas en la máquina de inyección, cabe mencionar que esta máquina consta de 4 resistencias a lo largo del barril y una más en la boquilla mostrada en la figura 120.

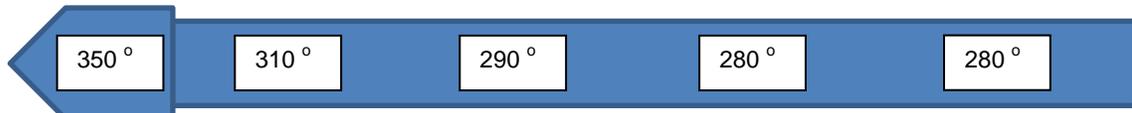


Figura 120 Perfil de temperaturas utilizado en una máquina Haitian modelo MA2000/770.

De acuerdo al análisis obtenido en Moldflow Adviser, se colocó la temperatura del molde a 80°C, para alcanzar este valor y mantener la temperatura, se necesitó de un termostato encargado de distribuir agua caliente a través del sistema de calefacción mencionado en el capítulo anterior, a continuación se muestra el diagrama de conexión de los sistemas de flujo, mostrado en la figura 121.

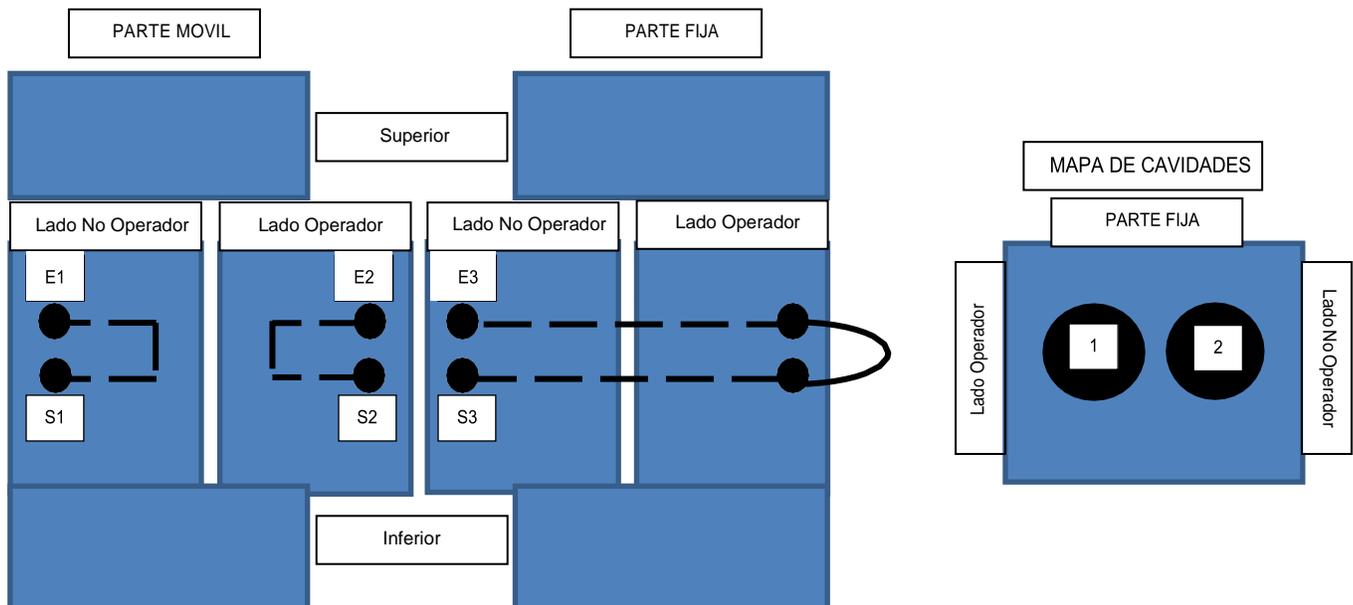


Figura 121 Diagrama de sistemas de refrigeración, calefacción y mapeo de cavidades.

Tras realizar todo lo anterior se comenzó por determinar los parámetros que cumplan con las condiciones para generar un conector de buena calidad. El primer parámetro en determinarse fue la velocidad de inyección.

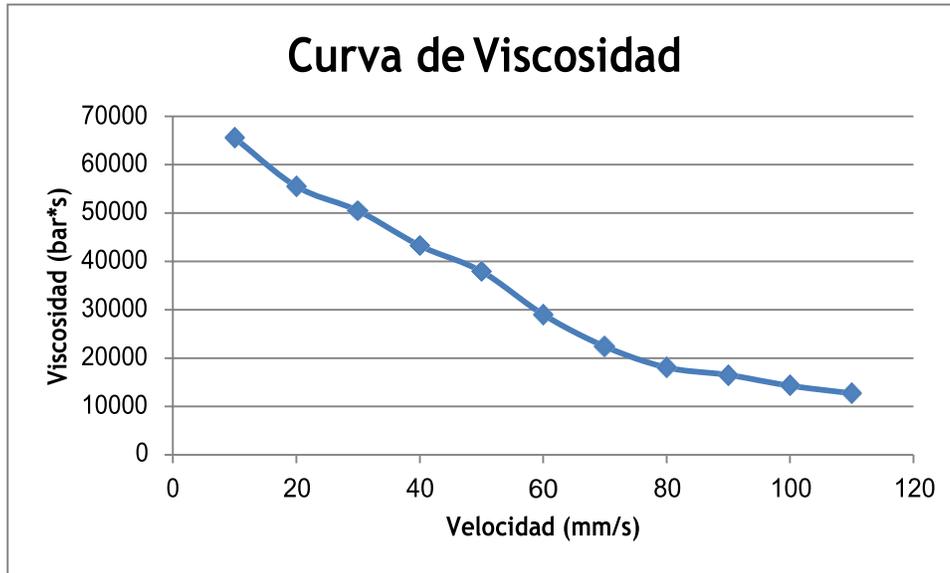
1. El proceso comenzó colocando tanto la presión como el tiempo de mantenimiento en cero.

2. Se colocó la velocidad y la presión de inyección en los valores máximos alcanzados por la máquina de inyección siendo de 110 [mm/s] y 1870 [bar] respectivamente.
3. Se ajustó la parada de dosificación y el punto de transferencia (punto en donde se hace el cambio de presión de inyección a presión de mantenimiento) con la intención de inyectar la pieza al 95%, todo esto se realizó con base en la carrera de husillo, siendo de 165 [mm] la distancia que recorre durante la dosificación, y una descompresión de 10[mm], mientras que el valor del punto de transferencia fue de 24 [mm].
4. Se disminuyó la velocidad de inyección variando de 10 en 10 [mm/s] desde la velocidad máxima hasta la velocidad mínima de inyección permitida por la máquina, por cada disparo se efectuaron tres disparos.
5. De cada tercer disparo se registraron los valores de la presión real de inyección y tiempo de inyección, así como también se analizó visualmente cada una de las piezas (el objetivo de este análisis visual fue identificar la variación de la calidad de la pieza con base a la modificación de la velocidad, el análisis consistió en identificar la presencia de piezas incompletas, piezas con líneas de flujo o con excedente y encontrar el rango de velocidades en donde la pieza no presenta los defectos antes mencionados, lo recomendable es escoger un valor alejado de las velocidades en donde hay presencia de defectos). En este punto se determinaron tres parámetros importantes, que son la velocidad, la presión de inyección y la presión de sostenimiento (recordando que dicha presión es aproximadamente 1/3 de la presión de inyección, aunque para este proceso con 400 [bar] la pieza presentaba rebabas) adecuadas para el proceso. Para este caso la velocidad y la presión de inyección son de 65 [mm/s], 1200 [bar] y 300 [bar] respectivamente.

La tabla 10 muestra la recopilación de presiones, velocidades, tiempos de inyección y viscosidad para realizar la curva de viscosidad mostrada en la figura 122.

*Tabla 10 Recopilación de datos.*

Velocidad de inyección [mm/s]	Tiempo de inyección [s]	Presión de inyección [bar]	Relación de intensificación	Viscosidad [bar * s]
110	1	1435	8.5	12698
100	1.2	1396	8.5	14256
90	1.4	1375	8.5	16477
80	1.6	1315	8.5	18036
70	2	1295	8.5	22364
60	2.8	1250	8.5	28974
50	3.8	1117	8.5	37894
40	4.6	963	8.5	43214
30	5.6	875	8.5	50425
20	6.6	716	8.5	55458
10	7.4	654	8.5	65475



*Figura 122 Curva de viscosidad del conector final.*

#### Obtención del tiempo de sostenimiento

1. Con los parámetros obtenidos en los pasos anteriores, se determinó el tiempo de aplicación de la presión de sostenimiento, para obtener este parámetro fue necesario hacer variaciones en el tiempo de aplicación de la presión realizando variaciones de 1 s; el tipo de análisis que se realizó fue visual; y consistió en revisar la pieza por cada variación de tiempo y encontrar defectos tales como rebabas o deformaciones en la pieza que son defectos asociados a la presión y tiempo de sostenimiento, para esta pieza a los 2 segundos de presión de mantenimiento aparecían rebabas a los costados figura 123, por lo que se determinó que 1 segundo era más que suficiente para compactar el material, sin obtener defectos.



*Figura 123 Pieza con excedentes de material (rebabas).*

## Tiempo de enfriamiento

El tiempo de enfriamiento se realizó mediante una serie de iteraciones, comenzando con un tiempo máximo de 40 segundos esto debido a los grandes espesores que presenta el conector, posteriormente se realizaron variaciones de 2 s en orden decreciente, hasta encontrar el punto en que el conector presentaba zonas blandas, se determinó que, en 25 segundos, la pieza había ya solidificado, por lo que no había problemas para expulsarla. Es importante mencionar que el enfriamiento real de la pieza no se da durante la etapa de refrigeración, si no que el enfriamiento real se considera después de las 24 horas después de ser inyectada [18].

El tiempo que se necesitó para la liberación del molde fue de aproximadamente 2 horas.

A continuación, se muestra en la figura 124 el diagrama de dosificación mientras que en la figura 125 el diagrama de inyección.

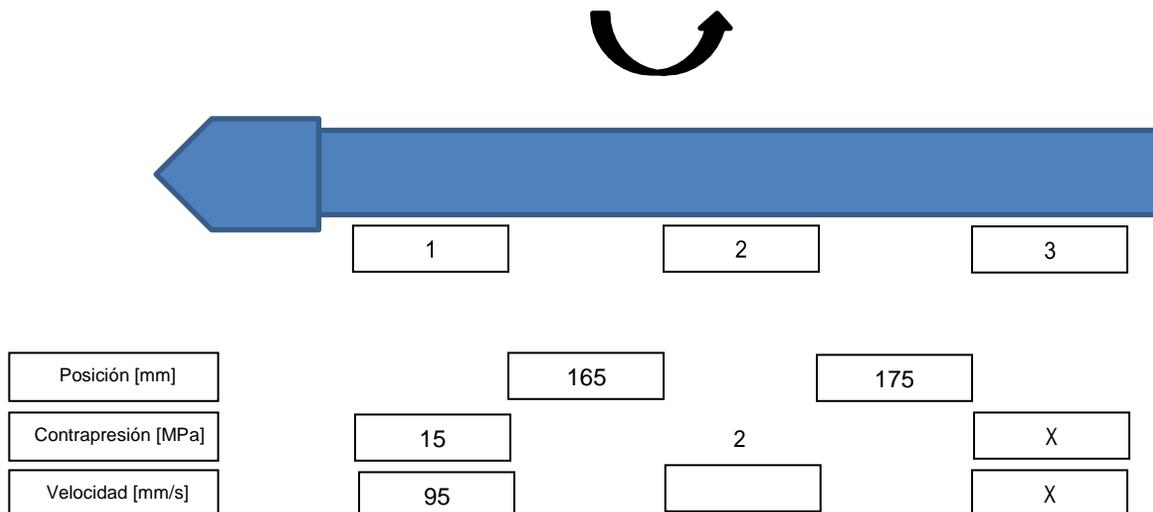


Figura 124 Perfil de dosificación.

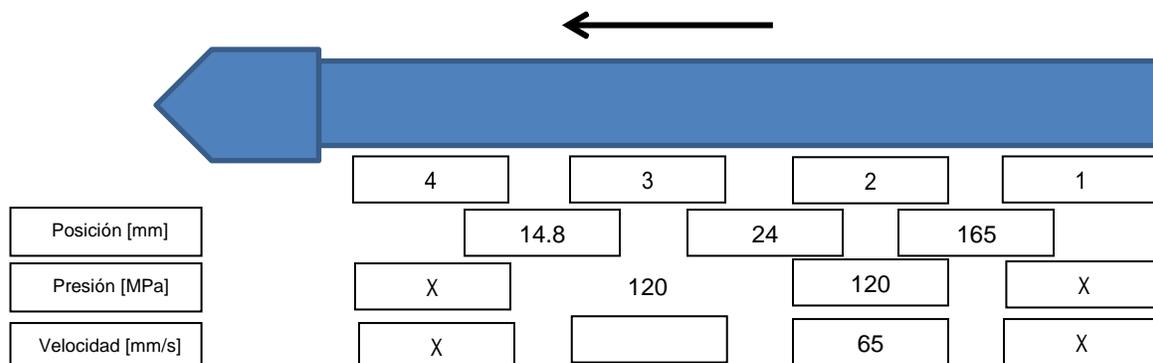


Figura 125 Perfil de Inyección.

La pieza final que se obtuvo al terminal la etapa de liberación del molde se muestra en la figura 126 y 127.



*Figura 126 Pieza durante la apertura del molde (izquierda), conector después de ser expulsado del molde (derecha).*



*Figura 127 Conectores ensamblados (Nodos).*

Durante la etapa de ensamble, se determinó que la unión entre ambos conectores se debe realizar entre los primeros 5 minutos después de ser inyectada, ya que de acuerdo a las mediciones registradas tras realizar el ensamble de un conector tomado como muestra, pasando ese tiempo la apertura de ensamble disminuye de 25.4 mm a 25.1 mm, impidiendo el ensamble entre los conectores, dado que el material a utilizar es muy rígido y la pieza es de gran espesor es difícil realizar el ensamble a presión. Por el contrario si se realiza el ensamble durante los primeros segundos después de la expulsión de la pieza la contracción generará un mejor ensamble.

El tiempo de ciclo obtenido durante la liberación del molde fue de 56 s, esto quiere decir que se podrán obtener aproximadamente 60 nodos por hora.

Tiempo [s]	Distancia [mm]
0	25.4
5	25.1
10	24.7
15	24.4
20	24.2
25	24.0
30	23.8
35	23.6
40	22.5

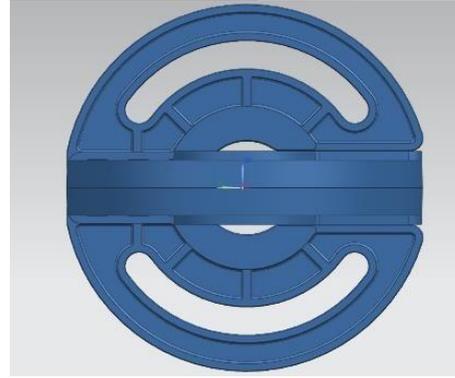


Figura 128 Comparativa entre el Ensamble de conectores (Nodo) de diseño y el real.

## 5.2 Prueba a tracción del conector

Una vez fabricado el conector estructural fue necesario analizar su funcionalidad, por lo que el nodo se sometió a una prueba de tracción, usando una máquina INSTRON modelo 4206 perteneciente al laboratorio de materiales de la facultad de ingeniería de la UNAM, el objetivo de esta prueba fue determinar las cargas reales que soporta el conector antes de llegar a la fractura, debido a que los análisis estructurales solo sirvieron para realizar una aproximación del comportamiento mecánico del conector.

Como datos de ingreso en la máquina INSTRON 4206, se consideraron los siguientes valores:

- Velocidad de 5 (mm/min)
- Humedad del 50 %
- Temperatura de 23 °C
- Espesor promedio 19.05 mm
- Espesor promedio 9mm
- Distancia entre pernos 95 mm

Dado que todos los análisis estructurales desarrollados a lo largo de este trabajo implicaban aplicar las cargas en la zona superior del conector, es importante colocar las cargas en la misma posición que en el modelo tridimensional para poder validar el funcionamiento del conector.

Pero debido a que no fue posible colocar las cargas en esa posición debido al movimiento que tenían los pernos cuando el conector se sometía a tracción, se decidió modificar la zona de aplicación de las cargas a la zona mixta mostrada en la figura 129, se escogió esta zona, por ser la que presentaba unos esfuerzo similares al de la zona superior de acuerdo a la tabla 3.



Figura 129 Análisis a tracción en la zona mixta.

Durante la primera prueba del conector colocando las cargas en las zona mixta, se determinó que la carga soportada era de 3100 [N] con un desplazamiento de 9.7 [mm] antes de llegar a la fractura, mientras que para la segunda prueba, el conector sufrió una deformación de 8.2 [mm], bajo una carga de 3150 [N], antes de la fractura, debido a la cantidad de conectores con los que se contaban no fue posible llevar a cabo más pruebas.

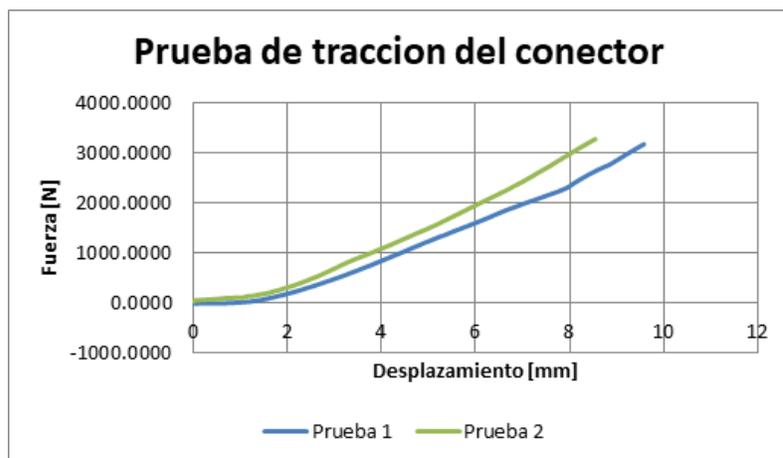


Figura 130 Prueba de tracción del conector.

### 5.3 Costos

Para obtener el costo del molde en estudio, se preguntó a empresas del ramo algunos datos de costos y gastos que son representativos para fabricar un molde. Partiendo del puesto de mayor importancia en una empresa dedicada a la industria del diseño y manufactura de moldes de inyección y troqueles, se tiene que el líder de diseño promedia un sueldo de \$38,000 mensuales, mientras que el salario de un diseñador ronda entre los \$19,000 y \$30,000 mensuales, esto depende mucho del tipo de empresa, de las aptitudes y conocimientos que posee el diseñador. Por otro lado, para ingenieros que incursionan en el mundo del diseño o son personas recién egresadas, el sueldo se encuentra alrededor de \$12,000 mensuales. Por otro lado, se encuentran los programadores de máquinas CNC, que dependiendo del tipo de máquinas a programar será el sueldo, el sueldo de los programadores en CNC de tres ejes ronda entre los \$12,000 y \$20,000 mensuales, mientras que los programadores de máquinas en 5 ejes, alcanzan un sueldo de \$30,000 al mes.

Otra parte importante del proceso durante el desarrollo de un molde o un troquel es la de los operadores, quienes alcanzan un salario de entre \$8,000 y \$12,000 mensuales.

Con respecto al costo de maquinado, se tiene que el precio por hora de un centro de maquinado ronda entre los \$350 y \$500, esto dependerá del material a mecanizar así como la configuración geométrica de la misma, por otro lado la hora máquina de un torno CNC se encuentra cerca de los \$300. De acuerdo con lo anterior se realizó un análisis de costos para determinar que el precio del molde fue de \$230,000, sin considerar los gastos de capacidad instalada y cuyo resultado se estimó durante el 3er trimestre del año 2018.

Por otro lado, para determinar el precio del producto, se deben considerar tres aspectos importantes, que son los insumos, los gastos por mano de obra, así como los costos indirectos de fabricación. Es importante llevar acabo todos los registros de los gastos para evitar pérdidas económicas. En las siguientes tablas se muestran algunos aspectos que pueden considerarse para establecer el precio del nodo.

Tabla 11 Calculo de costos de mano de obra.

COSTOS DE MANO DE OBRA		
<b>Diseñador</b>		
	Sueldo bruto por hora	\$60.48
	Número de horas	120
	Total	\$7,258
<b>Operador CNC</b>		
	Sueldo bruto por hora	\$48.38
	Número de horas	305
	Total	\$14,758.06
<b>Operador de Electroerosión</b>		
	Sueldo bruto por hora	\$48.38

	Número de horas	44
	Total	\$2,129.00
<b>Pulido</b>		
	Sueldo bruto por hora	\$48.38
	Número de horas	8
	Total	\$387.00
<b>Ajuste y Ensamble</b>		
	Sueldo bruto por hora	\$52.41
	Número de horas	10
	Total	\$524.19
<b>Operador de máquina de inyección</b>		
	Sueldo bruto por hora	\$48.38
	Número de horas	2
	Total	\$96.77
	Mano de obra total	\$25,153.02

Tabla 12 Calculo de costos de fabricación.

<b>COSTOS DE FABRICACIÓN</b>		
<b>Máquina CNC</b>		
	Precio de hora máquina	\$400
	Número de horas	305
	Total	\$122,000
<b>Máquina de Electroerosión</b>		
	Precio de hora máquina	\$350
	Número de horas	44
	Total	\$15,400
<b>Máquina de inyección</b>		
	Precio de hora máquina	\$500
	Número de horas	2
	Total	\$1,99999000
	Mano de obra total	\$138,400

Tabla 13 Calculo de costos de material.

<b>COSTOS DE MATERIAL</b>			
<b>Cantidad</b>	<b>Precio por unidad</b>	<b>Precio Total</b>	<b>Cantidad de Piezas producidas</b>
<b>50 kg</b>	\$65.93	\$3296.50	45 nodos
<b>90 Piezas</b>	\$0.84	\$75.6	45 nodos
<b>Costo Total de Material</b>			\$3372.1

A partir de todo lo anterior, y considerando únicamente los 45 nodos de prueba que se generaron durante la evaluación del molde, se tiene un precio aproximado \$ 3700 por nodo ensamblado.

## **CAPITULO 6. Conclusiones y trabajos a futuro**

### **6.1 Conclusiones**

Durante el desarrollo de este trabajo, se construyó un componente de Nylon 6/6 con 30% de fibra de vidrio como carga de refuerzo; el cual fue capaz de soportar las cargas a las que fue sometida en los análisis estructurales. Si bien es cierto que los valores de esfuerzos obtenidos en dichos resultados se encuentran muy cercanos al esfuerzo de ruptura del material, que implicaría una variación extra en las cargas para ocasionar la ruptura del conector, se ha considerado que a mayor porcentaje de fibra de vidrio el material se vuelve más resistente, pudiendo trabajar con una poliamida 66 con 40% de fibra de vidrio, la ficha técnica mostrada en la hoja de anexos A2, muestra que la resistencia a la ruptura de dicho material es de 190 [MPa], ésto daría la certeza de que el material soportará más carga. Sin embargo, las pruebas de tracción mostraron que el nodo puede soportar ampliamente las cargas a las que será sometido el componente; e incluso dar la alternativa de usar otro tipo de material que cumpla con los requerimientos de la aplicación.

En este trabajo se demuestra que, durante la etapa de diseño, una pieza de metal puede ser sustituida por una pieza de plástico haciendo consideraciones específicas para el nuevo material.

Utilizar las reglas de diseño para piezas de plástico no siempre asegura obtener piezas funcionales y con buena apariencia, por lo que, se puede decir que las reglas de diseño para piezas de plástico fueron el punto de partida para encontrar el mejor diseño, a través de realizar una serie de iteraciones, encontrando una buena relación entre espesores, resistencia a la tracción y buena apariencia.

Se demuestra que es posible obtener piezas de plástico funcionales mediante el proceso de moldeo por inyección para espesores mayores a 5 mm; aunque, cabe señalar que existe alta probabilidad presentarse vacuolas; el control del proceso y el diseño de la entrada de flujo serán las herramientas necesarias para corregir estos defectos. Además, la obtención de piezas de gran espesor puede ser posible siempre y cuando se realicen análisis de flujo resaltando sus correspondientes análisis de predicción de calidad y confiabilidad de llenado.

El uso de costillas en la sección gruesa del conector ayudo a disminuir la cantidad de material, repercutiendo en el peso del conector, además de mejorar la resistencia.

Durante la prueba del molde en la etapa de inyección se observó una deformación en la placa de retención, debido a que la placa retenedora estaba apoyada en 4 columnas y al ser una placa muy delgada, durante la etapa de inyección los botadores retrocedían ocasionando la deformando, esto ocasiono que se incorporan más columnas cerca del centro del molde.

Es importante considerar las deformaciones de la pieza debido al enfriamiento durante la etapa de diseño, prestando atención en aquellas zonas en donde se realice un ensamble, teniendo en cuenta que las tolerancias de ensamble y el factor de contracción no son suficientes. Esto debido a que durante la prueba de ensamble de los conectores se observó que pasando 15 s el

conector no podía ensamblarse dado la deformación debido al tiempo de enfriamiento, por lo que se optó por realizar el ensamble cuando los conectores son recién expulsados del molde. Este problema se aprovechó como un medio para mantener unidos a los conectores., apoyando así al sistema de sujeción que consiste en un esparrago pasado atornillado en los extremos por tuercas.

Se recomienda hacer un banco de pruebas para analizar el conector, dado que fue muy complicado realizar las pruebas de tracción.

## **6.2 Trabajos a futuro**

Con la finalidad de comparar la funcionalidad del molde en la máquina de inyección de la UAT, FI UNAM, se recomienda utilizar el proceso de moldeo científico para identificar los parámetros del proceso que tienen mayor cambio, de esta manera se puede crear la identidad propia de este molde para su documentación.

Para complementar el estudio de funcionalidad del molde se puede recurrir a implementar el moldeo robusto, que es la segunda parte del moldeo científico que consiste en aplicar análisis estadístico del proceso para un mejor control de calidad de las piezas inyectadas.

## **REFERENCIAS**

- [1] A. Routsis, **SCIENTIFIC MOLDING POCKET GUIDE**, Routsis Training, Massachusetts.
- [2] D. O. Kazmer, **INJECTION MOLD DESIGN ENGINEERING**, Hanser, 2007.
- [3] M.P. Groover, **FUNDAMENTOS DE MANUFACTURA MODERNA**, Prentice Hall, 1 ed., México, 1997.
- [4] R.G. Budynas, J.K. Nisbett, **DISEÑO EN INGENIERÍA MECÁNICA**, McGraw-Hill Interamericana, 8va Ed., México, 2008.
- [5] R. Norton, **DISEÑO DE MAQUINARIA**, McGraw-Hill Interamericana, 4ta Ed., México, 2008.
- [6] R. Flores, A. Ayala, M. Cruz, **EVALUACIÓN DE LA RELACIÓN GEOMÉTRICA - RIGIDEZ EN PIEZAS DE MATERIAL PLÁSTICO**, Memorias 14 congreso internacional de la SOMIM, 2008.
- [7] <https://www.protolabs.es/servicios/moldeo-por-inyeccion/>
- [8] D.E. Vedoya, E.S. Prat, **ESTRUCTURAS DE GRANDES LUCES. TECNOLOGÍA Y DISEÑO**, ITDAHu, Argentina, 2009.
- [9] E.A. Ocampo, **THE COMPLETE PART DESIGN HANDBOOK FOR INJECTION MOLDING OF THERMOPLASTICS**, Hanser, USA.
- [10] Dupont, **ZYTEL AND MINLON NYLON RESINS MOLD GUIDE**, DuPont Engineering Polymers.
- [11] Interplex, **INTEGRATION OF INSERT MOLDING PROCESSES TO OPTIMIZE PRODUCTION OF PLASTIC MODULES FOR ELECTRONICS, SENSORS AND MEDICAL APPLICATIONS**, Interplex Holdings, 2015.
- [12] <https://www.protolabs.com/resources/design-tips/building-strength-into-parts-with-insert-molding/>
- [13] Tecnologías Alternativas de Transición, **FABRICANDO UNA ESTRUCTURA GEODÉSICA DE BAMBOO**, Taller TAT.
- [14] J. Morán, **CONSTRUIR CON BAMBÚ MANUAL DE CONSTRUCCIÓN**, INBAR, 3ra Ed., Perú, 2015.
- [15] A. Maydana, **ESTEREO ESTRUCTURAS**, Facultad de Arquitectura y Urbanismo Universidad Nacional de la Plata, Argentina, 2009.
- [16] S. Kalpakjian, **MANUFACTURA INGENIERÍA Y TECNOLOGÍA**, Prentice Hall, 4 Ed., New Jersey, 2002.
- [17] W. Smith, J. Hashemi, **FUNDAMENTOS DE LA CIENCIA E INGENIERÍA DE MATERIALES**, McGraw-Hill Interamericana, 4ta Ed., México, 2006.
- [18] Centro Empresarial del Plástico, **DIPLOMADO EN PLÁSTICOS**, CEP.
- [19] J.G. Oliva, E. Valdez, **TECNOLOGÍA UNA CONTRIBUCIÓN SISTEMÁTICA DE ACCIÓN REFLEXIÓN Y ANÁLISIS**, Facultad de Arquitectura UNAM, 1ra Ed., México, 2014.
- [20] H. Gastrow, **MOLDES DE INYECCIÓN PARA PLÁSTICOS 100 CASOS PRÁCTICOS**, Hanser, 2da Ed., España, 1998
- [21] <http://www.arkiplus.com/arquitectura-sustentable>
- [22] <http://www.responsabilidadsocial.mx/la-arquitectura-sustentable-concepto-principios-mitos/>
- [23] <https://www.sostenibilidad.com/construccion-y-urbanismo/materiales-sostenibles-construccion/>
- [24] [https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura\\_sustentable](https://es.wikipedia.org/wiki/Arquitectura_sustentable)
- [25] <http://conciencia-sustentable.abilia.mx/7-sorprendentes-proyectos-de-arquitectura-sustentable-en-mexico/>
- [26] <http://construirtv.com/cinco-ejemplos-notables-de-arquitectura-sustentable/>
- [27] <http://descom.jmc.ufsm.cl/sgeywitz/sub-paginas/Moldes/CICLOdeINYECCION.html>
- [28] Universidades Politécnicas, **MANUAL DE LA ASIGNATURA**, Universidad Politécnica Valle de México, 1ra Ed., México, 2006.
- [29] <https://patents.google.com/patent/WO2006097545A1>
- [30] <http://reciclajesavi.es/ventajas-e-inconvenientes-de-los-plasticos/>
- [31] [https://www.ecologiaverde.com/las-3r-de-la-ecologia-reducir-reutilizar-y-reciclar-315.html#anchor\\_0](https://www.ecologiaverde.com/las-3r-de-la-ecologia-reducir-reutilizar-y-reciclar-315.html#anchor_0)
- [32] <http://jennyosorio15.blogspot.com/2012/11/moldeo-por-inyeccion.html>
- [33] R.A. Malloy, **PLASTIC PART DESIGN FOR INJECTION MOLDING AN INTRODUCTION**, Hanser, 2da Ed., USA, 2010
- [34] <https://www.monografias.com/trabajos104/proceso-del-diseno-ingenieria/proceso-del-diseno-ingenieria.shtml>
- [35] A.G. Dietz, **PLÁSTICOS PARA ARQUITECTOS Y CONSTRUCTORES**, Reversé, 1ra Ed., USA, 2003
- [36] [http://www.iberisa.com/productos/femap/femap\\_elementos\\_3d.htm](http://www.iberisa.com/productos/femap/femap_elementos_3d.htm)
- [37] El bambú como material alternativo a la construcción arquitectónica – Br. Ángela Dina Orosco
- [38] RTP Imagineering Plastics, **PART DESIGN GUIDELINES FOR INJECTION MOLDED THERMOPLASTICS**, RTP Company.
- [39] S. Kulkarni, **ROBUST PROCESS DEVELOPMENT AND SCIENTIFIC MOLDING**, Hanser, USA, 2010, California.
- [40] [http://fundytec.com.mx/index.php?option=com\\_content&task=view&id=9&Itemid=6](http://fundytec.com.mx/index.php?option=com_content&task=view&id=9&Itemid=6)
- [41] AMCO, **TYPICAL ENGINEERING PROPERTIES**, AMCO Polimer.

- [42] M. Amézquita, **¿COMO CALCULAR LA CANTIDAD DE CAVIDADES EN MOLDES, EQUILIBRANDO ASPECTOS TECNICOS Y ECONOMICOS?**, 2004. En línea: <http://www.plastico.com/temas/Como-calculer-la-cantidad-de-cavidades-en-moldes,-equilibrando-aspectos-tecnicos-y-economicos+3031016?pagina=2>
- [43] Best Choice, **CUADERNILLO TECNICO NRO. 120699001**, Best Choice S.R.L, Chile.
- [44] <http://empremexico.com/mejoras-sistema-union-26527.php>
- [45] J. Ortega, **TRABAJOS EN CUBIERTAS LIGERAS**, Ed. Junta de Castilla y Leon. En línea: [https://www.dipuleon.es/extfrontdipuleon/img/File/UPD/trabajo\\_cubiertas\\_ligeras.pdf](https://www.dipuleon.es/extfrontdipuleon/img/File/UPD/trabajo_cubiertas_ligeras.pdf)
- [46] A. Coll, **Mejora de la Calidad de Mallas Para Elementos Finitos**, 2003. En línea: <https://upcommons.upc.edu/bitstream/handle/2099.1/3384/31142-3.pdf>
- [47] <https://knowledge.autodesk.com/es/support/moldflow-adviser/learn-explore/caas/CloudHelp/cloudhelp/2019/ESP/MoldflowAdviser-Results/files/GUID-2FE30034-2A02-47CE-823B-694E3BD81191-htm.html>
- [48] <http://empremexico.com/mejoras-sistema-union-26527.php>

# ANEXOS

**A1 Hoja técnica de la poliamida 6/6 reforzada al 30%**

**A2 Hoja técnica de la poliamida 6/6 reforzada al 30%**

**A3 Catalogo de resortes de carga pesada**

**A4 Bebederos para moldes de inyección**

**A5 Hoja técnica de la maquina Haitian MA2000/770**

**A6 Hoja técnica de la maquina Sumitomo Shi Demag 210/580**

**A7 Lista de materiales**

**A8 Planos del conector original bajo la norma DIN 406**

**A9 Planos de porta molde bajo la norma DIN 406**

# A1 Hoja técnica de la poliamida 6/6 reforzada al 30%



## CELSTRAN® PA66-GF30-02 - PA66-GF30

### Description

30% long glass fiber reinforced, heat stabilized, Nylon 6/6

Physical properties	Value	Unit	Test Standard
Density	1360	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183

Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile modulus	9700	MPa	ISO 527-2/1A
Tensile stress at break, 5mm/min	170	MPa	ISO 527-2/1A
Tensile strain at break, 5mm/min	2.1	%	ISO 527-2/1A
Flexural modulus, 23 °C	9000	MPa	ISO 178
Flexural strength, 23 °C	280	MPa	ISO 178
Charpy notched impact strength, 23 °C	23	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA

Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
DTUL at 1.8 MPa	252	°C	ISO 75-1, -2

### Typical injection moulding processing conditions

Pre Drying	Value	Unit	Test Standard
Necessary low maximum residual moisture content	0.18	%	-
Drying time	2 - 4	h	-
Drying temperature	70 - 80	°C	-
Temperature	Value	Unit	Test Standard
Hopper temperature	70 - 80	°C	-
Feeding zone temperature	20 - 50	°C	-
Zone1 temperature	285 - 295	°C	-
Zone2 temperature	290 - 300	°C	-
Zone3 temperature	300 - 310	°C	-
Zone4 temperature	300 - 315	°C	-
Die temperature	300 - 315	°C	-
Melt temperature	300 - 315	°C	-
Cavity temperature	80 - 100	°C	-

### Other text information

#### Pre-drying

CELSTRAN PA should in principle be predried. Because of the necessary low maximum residual moisture content the use of dry air dryers is recommended. The dew point should be < -30 °C. The time between drying and processing should be as short as possible.

#### Longer pre-drying times/storage

Note: Material can be over dried and may discolor.

#### Injection molding

Celstran can be processed on a standard injection molding unit. A general purpose metering screw is recommended with a zone distribution of 40% feed, 40% transition, and 20% metering. A free flowing check ring assembly is recommended.

Melt Temp: 290-295 °C.

Mold Temp: 85- 95 °C.

### Characteristics

---

**CELSTRAN® PA66-GF30-02 - PA66-GF30**

---

**Product Categories**

Glass reinforced

**Regional Availability**

North America, Europe, Asia Pacific

**Contact Information**

---

**Americas**

8040 Dixie Highway  
Florence, KY 41042 USA  
Product Information Service  
t: +1-800-833-4882  
t: +1-859-372-3244  
Customer Service  
t: +1-800-526-4960  
t: +1-859-372-3214  
e: info-engineeredmaterials-am@celanese.com

**Asia**

4560 Jinke Road  
Zhang Jiang Hi Tech Park  
Shanghai 201203 PRC  
Customer Service  
t: +86 21 3861 9266  
f: +86 21 3861 9599  
e: info-engineeredmaterials-asia@celanese.com

**Europe**

Am Unisys-Park 1  
65843 Sulzbach, Germany  
Product Information Service  
t: +49-800-86427-531  
t: +49-(0)-69-45009-1011  
e: info-engineeredmaterials-eu@celanese.com

**General Disclaimer**

---

NOTICE TO USERS: Values shown are based on testing of laboratory test specimens and represent data that fall within the standard range of properties for natural material. These values alone do not represent a sufficient basis for any part design and are not intended for use in establishing maximum, minimum, or ranges of values for specification purposes. Colorants or other additives may cause significant variations in data values. Properties of molded parts can be influenced by a wide variety of factors including, but not limited to, material selection, additives, part design, processing conditions and environmental exposure. Any determination of the suitability of a particular material and part design for any use contemplated by the users and the manner of such use is the sole responsibility of the users, who must assure themselves that the material as subsequently processed meets the needs of their particular product or use. To the best of our knowledge, the information contained in this publication is accurate; however, we do not assume any liability whatsoever for the accuracy and completeness of such information. The information contained in this publication should not be construed as a promise or guarantee of specific properties of our products. It is the sole responsibility of the users to investigate whether any existing patents are infringed by the use of the materials mentioned in this publication. Moreover, there is a need to reduce human exposure to many materials to the lowest practical limits in view of possible adverse effects. To the extent that any hazards may have been mentioned in this publication, we neither suggest nor guarantee that such hazards are the only ones that exist. We recommend that persons intending to rely on any recommendation or to use any equipment, processing technique or material mentioned in this publication should satisfy themselves that they can meet all applicable safety and health standards. We strongly recommend that users seek and adhere to the manufacturer's current instructions for handling each material they use, and entrust the handling of such material to adequately trained personnel only. Please call the telephone numbers listed for additional technical information. Call Customer Services for the appropriate Materials Safety Data Sheets (MSDS) before attempting to process our products. The products mentioned herein are not intended for use in medical or dental implants.

**Trademark**

---

© 2014 Celanese or its affiliates. All rights reserved. (Published 27.July.2016). Celanese®, registered C-ball design and all other trademarks identified herein with ®, TM, SM, unless otherwise noted, are trademarks of Celanese or its affiliates. Fortron is a registered trademark of Fortron Industries LLC.

## A2 Hoja técnica de la poliamida 6/6 reforzada al 40%



### CELSTRAN® PA66-GF40-02 AD3002 Black - PA66

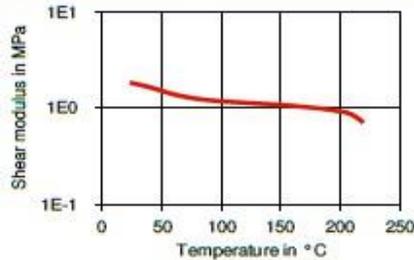
#### Description

40% Long glass fiber reinforced, heat stabilized, Nylon 6/6

Physical properties	Value	Unit	Test Standard
Density	1460	kg/m <sup>3</sup>	ISO 1183
Mechanical properties	Value	Unit	Test Standard
Tensile modulus	13700	MPa	ISO 527-2/1A
Tensile stress at break, 5mm/min	190	MPa	ISO 527-2/1A
Tensile strain at break, 5mm/min	1.6	%	ISO 527-2/1A
Flexural modulus, 23 °C	12000	MPa	ISO 178
Flexural strength, 23 °C	300	MPa	ISO 178
Charpy notched impact strength, 23 °C	28	kJ/m <sup>2</sup>	ISO 179/1eA
Thermal properties	Value	Unit	Test Standard
DTUL at 1.8 MPa	254	°C	ISO 75-1, -2

#### Diagrams

##### Dynamic Shear modulus-temperature



##### Typical injection moulding processing conditions

Pre Drying	Value	Unit	Test Standard
Necessary low maximum residual moisture content	0.18	%	-
Drying time	2 - 4	h	-
Drying temperature	70 - 80	°C	-
Temperature	Value	Unit	Test Standard
Hopper temperature	70 - 80	°C	-
Feeding zone temperature	20 - 50	°C	-
Zone1 temperature	285 - 295	°C	-
Zone2 temperature	290 - 300	°C	-
Zone3 temperature	300 - 315	°C	-
Zone4 temperature	300 - 315	°C	-
Nozzle temperature	300 - 315	°C	-
Melt temperature	300 - 315	°C	-
Mold temperature	80 - 100	°C	-

#### Characteristics

## A3 Catalogo de resortes de carga pesada

Carga pesada de 3/8" a 2"  
(deformación máxima permisible: 30% de c)

CAJA DIA. PULG.	BARRA DIA. PULG.	LONG. LIBRE PULG.	NÚMERO DE CATÁLOGO	DEFORM. 1/10"		
A	B	C				
3/8	3/16	1	9-0604-26	12.6		
		1-1/4	9-0605-26	10.0		
		1-1/2	9-0606-26	9.3		
		1-3/4	9-0607-26	8.0		
		2	9-0608-26	6.8		
		2-1/2	9-0610-26	5.5		
		3	9-0612-26	4.34		
		12	9-0648-26	1.07		
		1/2	9/32	1	9-0804-26	23.6
				1-1/4	9-0805-26	18.8
				1-1/2	9-0806-26	15.5
				1-3/4	9-0807-26	13.3
2	9-0808-26			11.4		
2-1/2	9-0810-26			8.7		
3	9-0812-26			7.7		
3-1/2	9-0814-26			6.2		
12	9-0848-26			1.77		
5/8	11/32			1	9-1004-26	43.1
				1-1/4	9-1005-26	34.8
				1-1/2	9-1006-26	27.8
		1-3/4	9-1007-26	24.7		
		2	9-1008-26	20.5		
		2-1/2	9-1010-26	16.5		
		3	9-1012-26	14.0		
		3-1/2	9-1014-26	11.9		
		4	9-1016-26	10.4		
		12	9-1048-26	3.33		
		3/4	3/8	1	9-1204-26	137
				1-1/4	9-1205-26	103
1-1/2	9-1206-26			82.2		
1-3/4	9-1207-26			68.5		
2	9-1208-26			57.8		
2-1/2	9-1210-26			44.0		
3	9-1212-26			36.2		
3-1/2	9-1214-26			30.8		
4	9-1216-26			26.8		
4-1/2	9-1218-26			23.7		
5	9-1220-26			21.2		
5-1/2	9-1222-26			19.3		
6	9-1224-26	17.6				
12	9-1248-26	8.6				
1	1/2	1-1/4	9-1605-26	163		
		1-1/2	9-1606-26	127		
		1-3/4	9-1607-26	109		
		2	9-1608-26	89.4		
		2-1/2	9-1610-26	69.1		
		3	9-1612-26	57.0		
		3-1/2	9-1614-26	48.0		
		4	9-1616-26	41.8		
		4-1/2	9-1618-26	37.1		
		5	9-1620-26	33.1		
		5-1/2	9-1622-26	30.0		
		6	9-1624-26	27.5		
7	9-1628-26	23.5				
8	9-1632-26	20.5				
12	9-1648-26	13.8				

CAJA DIA. PULG.	BARRA DIA. PULG.	LONG. LIBRE PULG.	NÚMERO DE CATÁLOGO	DEFORM. 1/10"
A	B	C		
1-1/4	5/8	1-1/2	9-2006-26	223
		1-3/4	9-2007-26	182
		2	9-2008-26	154
		2-1/2	9-2010-26	117
		3	9-2012-26	94.7
		3-1/2	9-2014-26	80.1
		4	9-2016-26	69.1
		4-1/2	9-2018-26	60.7
		5	9-2020-26	54.7
		5-1/2	9-2022-26	49.3
		6	9-2024-26	44.9
		7	9-2028-26	38.1
1-1/2	3/4	8	9-2032-26	33.0
		10	9-2040-26	26.4
		12	9-2048-26	21.8
		2	9-2408-26	208
		2-1/2	9-2410-26	153
		3	9-2412-26	125
		3-1/2	9-2414-26	105
		4	9-2416-26	90.6
		4-1/2	9-2418-26	80.4
		5	9-2420-26	71.5
		5-1/2	9-2422-26	64.3
		6	9-2424-26	59.0
7	9-2428-26	50.3		
2	1	8	9-2432-26	43.8
		10	9-2440-26	34.6
		12	9-2448-26	28.7
		2-1/2	9-3210-26	242
		3	9-3212-26	193
		3-1/2	9-3214-26	160
		4	9-3216-26	140
		4-1/2	9-3218-26	123
		5	9-3220-26	108
		5-1/2	9-3222-26	96.4
		6	9-3224-26	88.0
		7	9-3228-26	75.0
8	9-3232-26	65.3		
10	9-3240-26	51.3		
12	9-3248-26	42.6		



39

Cilindros de Nitrógeno

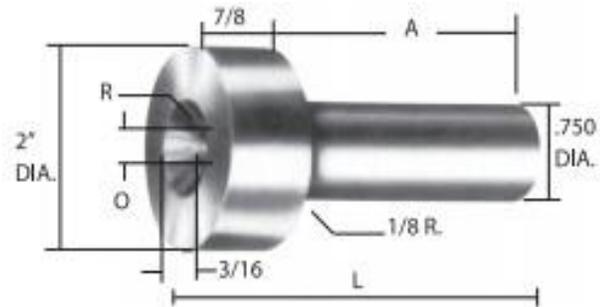


MÉXICO: (01 55) 5752-4551 / 5119-3148 / 5586-4824 / 5752-2641 QUERÉTARO: (01 442) 195-8991 / 195-8992

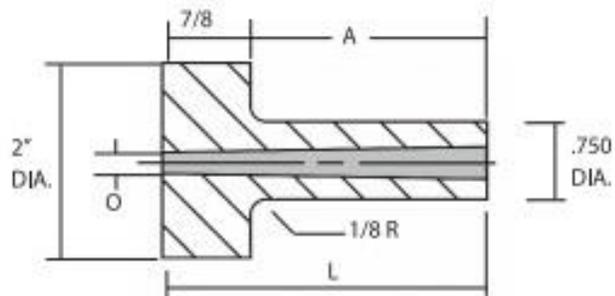
## A4 Bebederos para moldes de inyección

TEMPLADAS, RECTIFICADAS Y PULIDAS

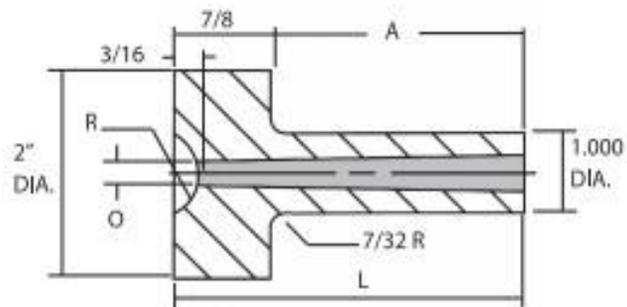
SERIE CR-750		
A	L	O=5/32
		7/32
		9/32
29/32	1-25/32	CR-750
1-13/32	2-9/32	CR-751
1-29/32	2-25/32	CR-752
2-13/32	3-9/32	CR-753
2-29/32	3-25/32	CR-754



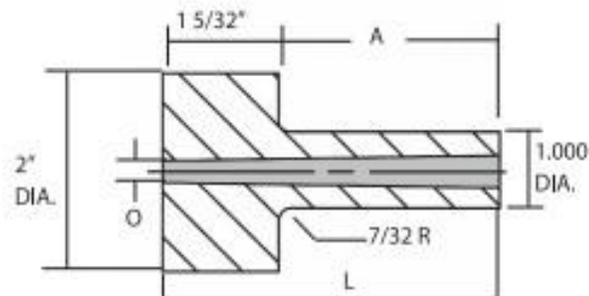
SERIE SR-750		
A	L	O=5/32
		7/32
		9/32
29/32	1-25/32	SR-750
1-13/32	2-9/32	SR-751
1-29/32	2-25/32	SR-752
2-13/32	3-9/32	SR-753
2-29/32	3-25/32	SR-754



SERIE CR-1000		
A	L	O=5/32
		7/32
		9/32
29/32	1-25/32	CR-1000
1-13/32	2-9/32	CR-1001
1-29/32	2-25/32	CR-1002
2-13/32	3-9/32	CR-1003
2-29/32	3-25/32	CR-1004
3-13/32	4-9/32	CR-1005
3-29/32	4-25/32	CR-1006



SERIE SR-1000		
A	L	O=5/32
		7/32
		9/32
29/32	2-1/16	SR-1000
1-13/32	2-9/16	SR-1001
1-29/32	3-1/16	SR-1002
2-13/32	3-9/16	SR-1003
2-29/32	4-1/16	SR-1004
3-13/32	4-9/16	SR-1005



MÉXICO: (01 55) 5752-4551 / 5119-3148 / 5586-4824 / 5752-2641 QUERÉTARO: (01 442) 195-8991 / 195-8992

## A5 Hoja técnica de la maquina Haitian MA2000/770

### Specification

		MA2000 II /770		
		A	B	C
<b>INJECTION UNIT</b>				
Screw diameter	mm	45	50	55
Screw L /D ratio	L/D	22.2	20	18.2
Shot size (theoretical)	cm <sup>3</sup>	334	412	499
Injection weight (PS)	g	304	375	454
Injection rate (PS)	g/s	160	198	239
Injection pressure	MPa	231	187	154
Plasticizing rate (PS)	g/s	25.7	32.2	39.4
Screw speed	rpm	0-215		
<b>CLAMPING UNIT</b>				
Clamp tonnage	kN	2000		
Toggle stroke	mm	490		
Space between tie bars	mm	530×530		
Max. mold height	mm	550		
Min. mold height	mm	200		
Ejector stroke	mm	140		
Ejector force	kN	62		
<b>OTHERS</b>				
Max. pump pressure	MPa	16		
Pump motor power	kW	22		
Heater power	kW	14.3		
Machine dimension (l × w × h)	m	5.9×1.43×2.16		
Machine weight	t	7.1		
Hopper capacity	kg	50		
Oil tank capacity	l	350		

## A6 Hoja técnica de la maquina Sumitomo Shi Demag 210/580

### Características técnicas Systec 210/580-840

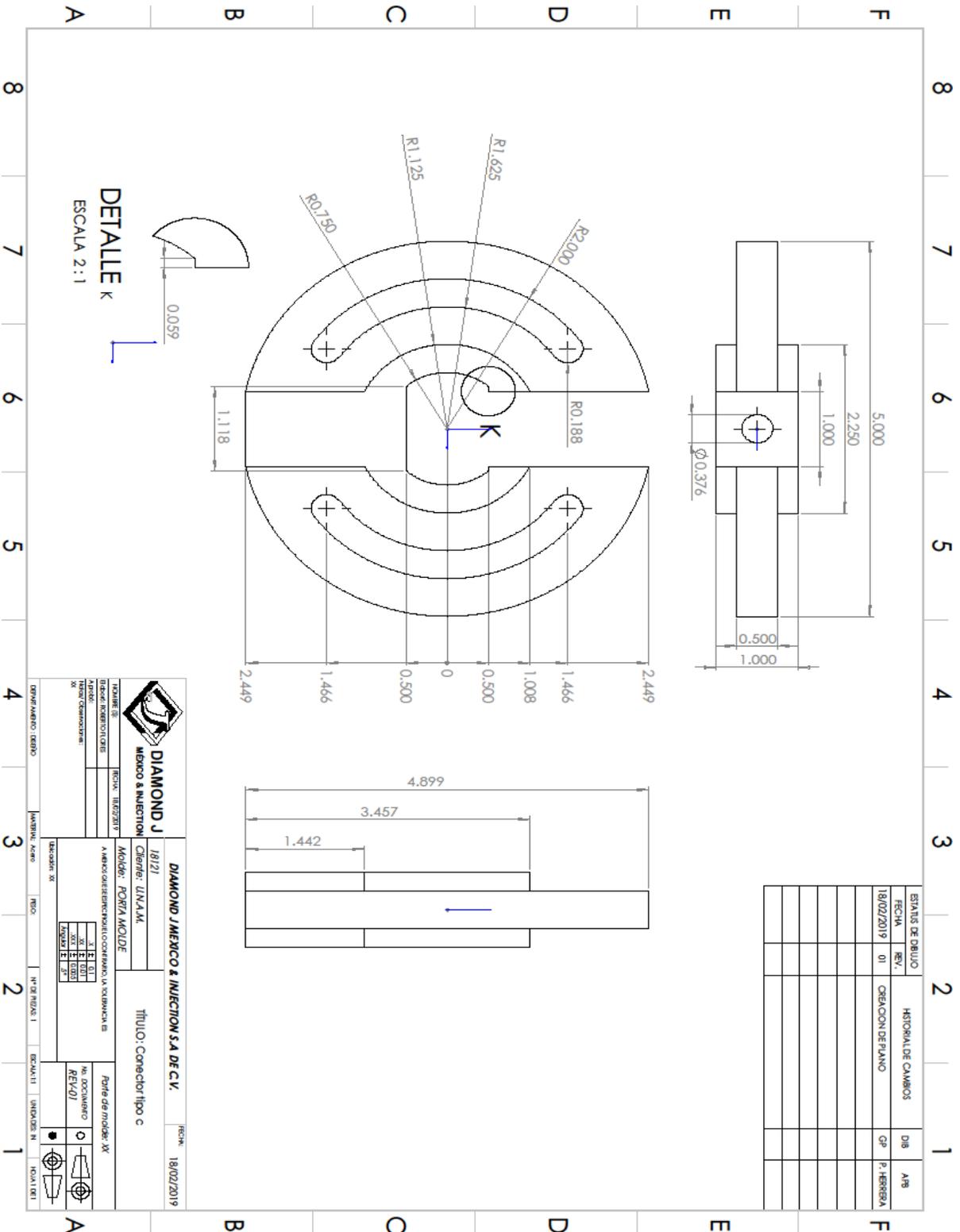
Tipo		Systec 210/580-840
Designación internacional		210-840
Unidad de cierre		210
Fuerza de cierre	kN	2100
Fuerza de retención	kN	2310
Carrera máx. de apertura del molde	mm	575
Espesor mín. del molde	mm	340
Espesor máx. del molde estándar/aumentado	mm	790
Distancia máx. entre platinas abiertas estándar/aumentada	mm	1265
Platinas porta-moldes (h x v)	mm	860x860
Distancia útil entre columnas (h x v)	mm	580x580
Carrera del expulsor	mm	180
Fuerza de expulsión	kN	73
Fuerza de retroceso del expulsor	kN	36
Unidad de inyección		840
Diámetro del husillo	mm	50
Geometría de husillo		standard
Relación longitud/diámetro		20
Presión específica de inyección (máx. 400°C)	bar	1946
Volumen desplazado	cm <sup>3</sup>	442
Peso máx. de la pieza inyectada (PS)	g	402
<b>Caudal de inyección (PS) sin acumulador de presión</b>	cm <sup>3</sup> /s	338
Máx. revoluciones del husillo	rev./min	333
<b>Caudal de plastificación (PS) a 120 bar</b>	g/s	50
Carrera máx. de dosificación	mm	225
Carrera máx. de despegue de la boquilla	mm	772
Profundidad de inmersión de la boquilla (SVO)	mm	20
Fuerza de apoyo de la boquilla	kN	110
Cantidad de zonas de calefacción		5
Capacidad de la tolva de alimentación	lts.	70
<b>Datos generales</b>		
Capacidad del tanque de aceite	lts.	400
<b>Potencia eléctrica instalada</b>		
Potencia motor para bomba hidráulica	~kW	37
Accionamiento eléctrico del husillo plastificador	~kW	
Potencia instalada para calefacción	~kW	14,8
Potencia eléctrica total	~kW	52
Nº de ciclos en vacío EUROMAP 6 (tiempo)	s	1,95
considerando un recorrido del molde de	mm	406
Peso neto sin carga de aceite y sin robot	~kg	9600
Dimensiones (long. x anch. x alt.), sin robot	~m	6,0x1,7x2,0
Saliente máx. del motor hidráulico con boquilla apoyada	mm	178
Saliente máx. del motor hidráulico con boquilla despegada	mm	950

Los datos técnicos indicados y los planos se refieren a máquinas estándar. No se contemplan versiones especiales. Caudal de plastificación en función de las condiciones de transformación y del tipo de material. Se reserva el derecho a modificar datos técnicos.

## A7 Lista de materiales

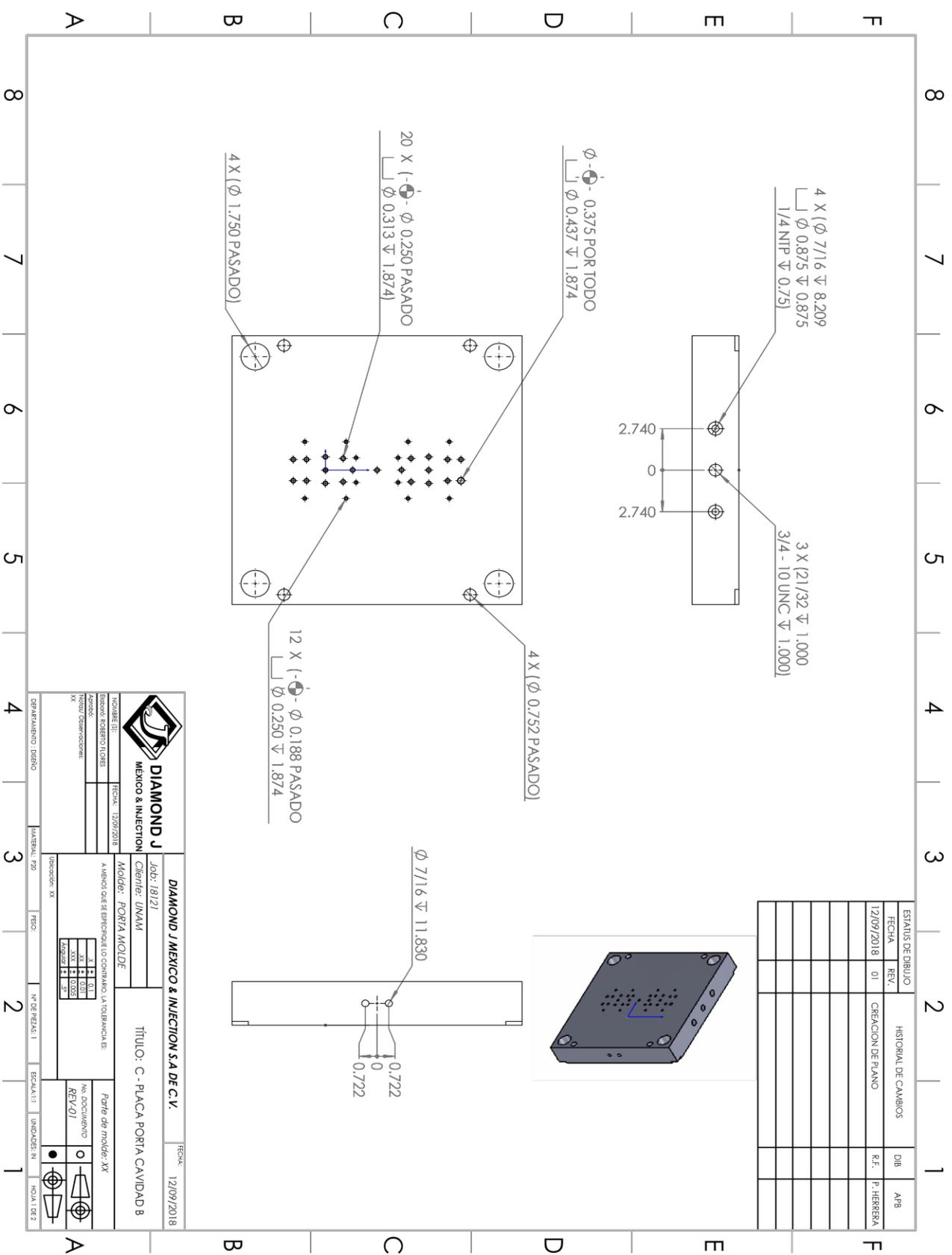
UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO				
Lista de Materiales				
Cantidad	Pieza	Descripción	Uso	Proveedor
2	Tornillo allen	$\Phi$ 1/4" - 20 X 3/4"	Sistema de sujeción	Fastenal
1	Bebedero	2" X 0.75" ( L= 3" 9/32) o 5/32		CEPACSA
1	Tornillo allen	$\Phi$ 10-32 X 1"	Sistema de sujeción	Fastenal
8	Conectores rápidos	1/4 NPT	Sistema de aceite	Travers
4	Cáncamos	$\Phi$ 3/4	Sistema de sujeción	Travers
4	Resortes Rojos	1-1/2 3/4 3"	Sistema de recuperación	CEPACSA
20	Botadores	$\Phi$ 1/4 X 10"	Sistema de expulsión	CEPACSA
12	Botadores	$\Phi$ 3/16 X 10"	Sistema de expulsión	CEPACSA
2	Bujes	$\Phi$ 3/4		CEPACSA
6	Tornillo allen	$\Phi$ 5/16" - 18 X 1"	Sistema de sujeción	Fastenal
2	Guías de botadores	$\Phi$ 3/4	Sistema de expulsión	CEPACSA
2	Tornillos allen	$\Phi$ 1/2" - 13 X 2"	Sistema de sujeción	Fastenal
2	Cilindros de acero	$\Phi$ 2" 1/2 X 3"	Soporte	La Paloma
6	Tornillos allen	$\Phi$ 1/2" - 13 X 2"	Sistema de sujeción	Fastenal
1	Botador	$\Phi$ 3/8 X 10"	Sistema de expulsión	CEPACSA
2	Válvulas de vacío	$\Phi$ 3/8" - NPT 1/2 - $\Phi$ 1/2"		SMC

# A8 Planos del conector original bajo la norma DIN 406









ESTATUS DE DIBUJO		HISTORIAL DE CAMBIOS		DIB	AFB
FECHA	REV.	FECHA	DESCRIPCION DE CAMBIO	FECHA	REVISOR
12/09/2018	01		CREACION DE PLANO		P. HERRERA

**DIAMOND J MEXICO & INYECCION**

NOBRE: SI

FECHA: 12/09/2018

ESPECIFICACIONES: XX

REVISIONES: XX

**DIAMOND J MEXICO & INYECCION S.A DE C.V.**

Job: 18121

Cliente: UNAM

Modelo: PORTA MOLDE

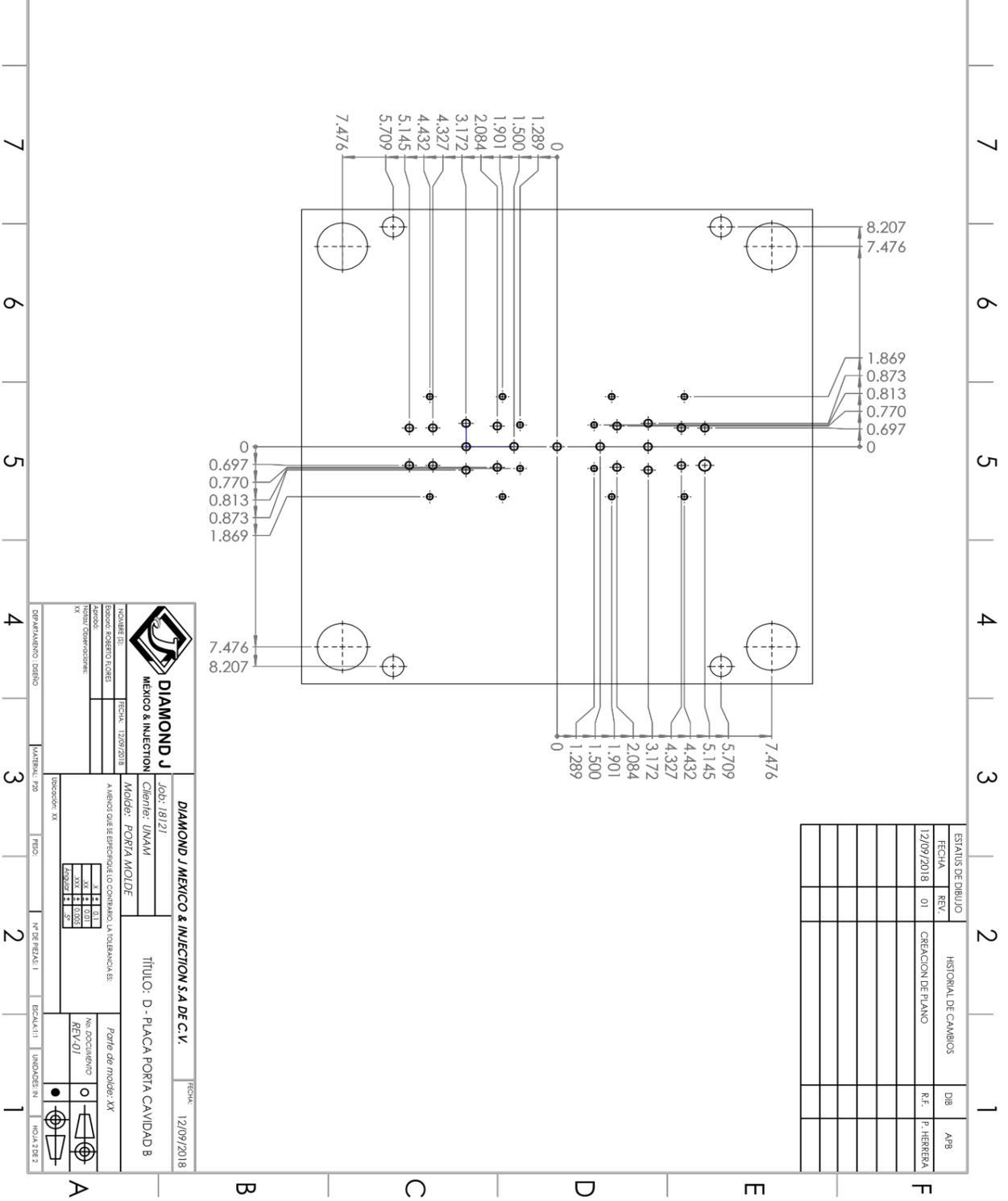
TITULO: C - PLACA PORTA CAVIDAD B

FECHA: 12/09/2018

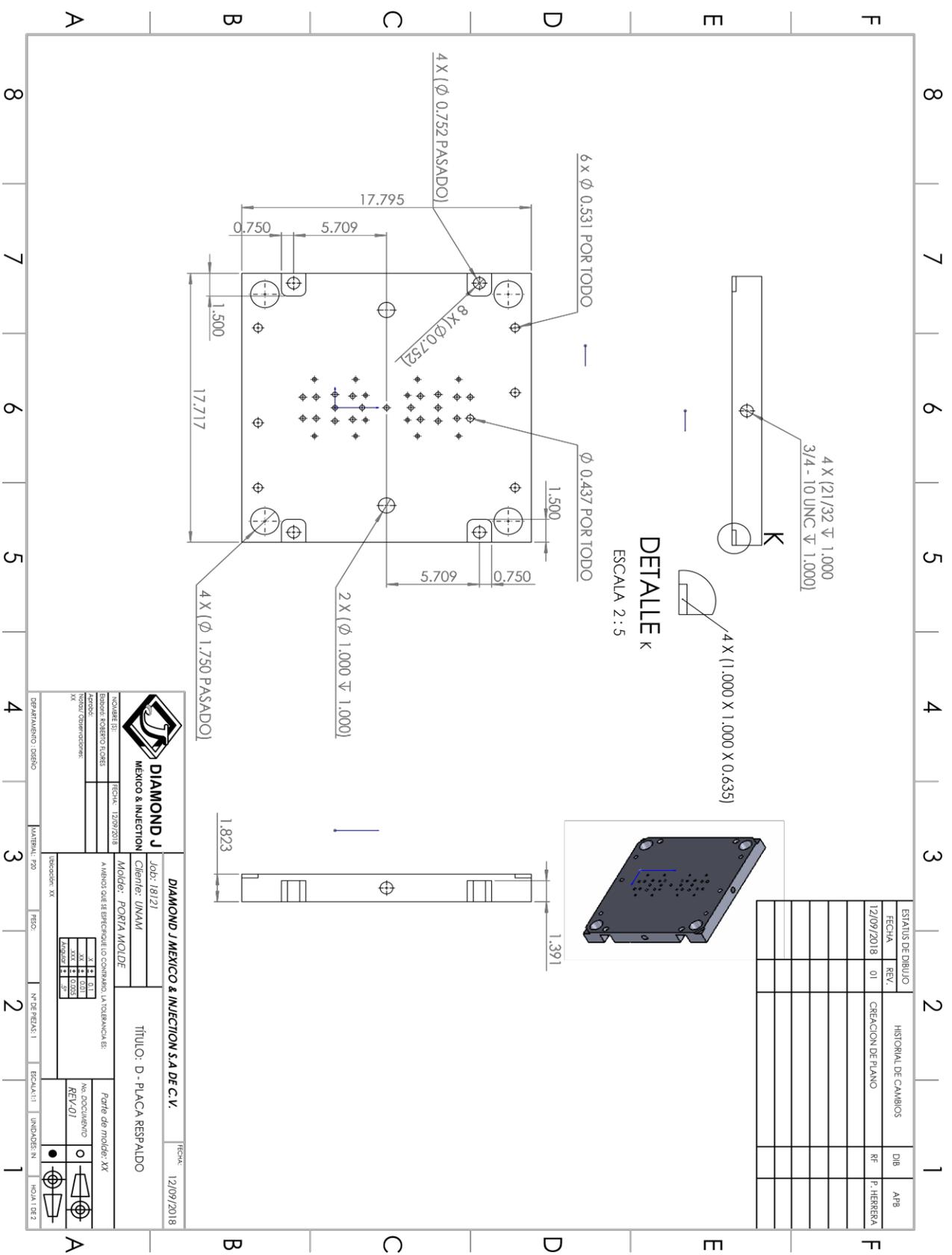
Parte de molde: XX

No. DOCUMENTO: REV.01

ORGANIZACION: DIBUJO	MATERIAL: P20	FECHA:	Nº DE REVIZION: 1	ESCALA: 1:1	UNIDADES: N	NO. DE DIBUJO: 18121-003
----------------------	---------------	--------	-------------------	-------------	-------------	--------------------------



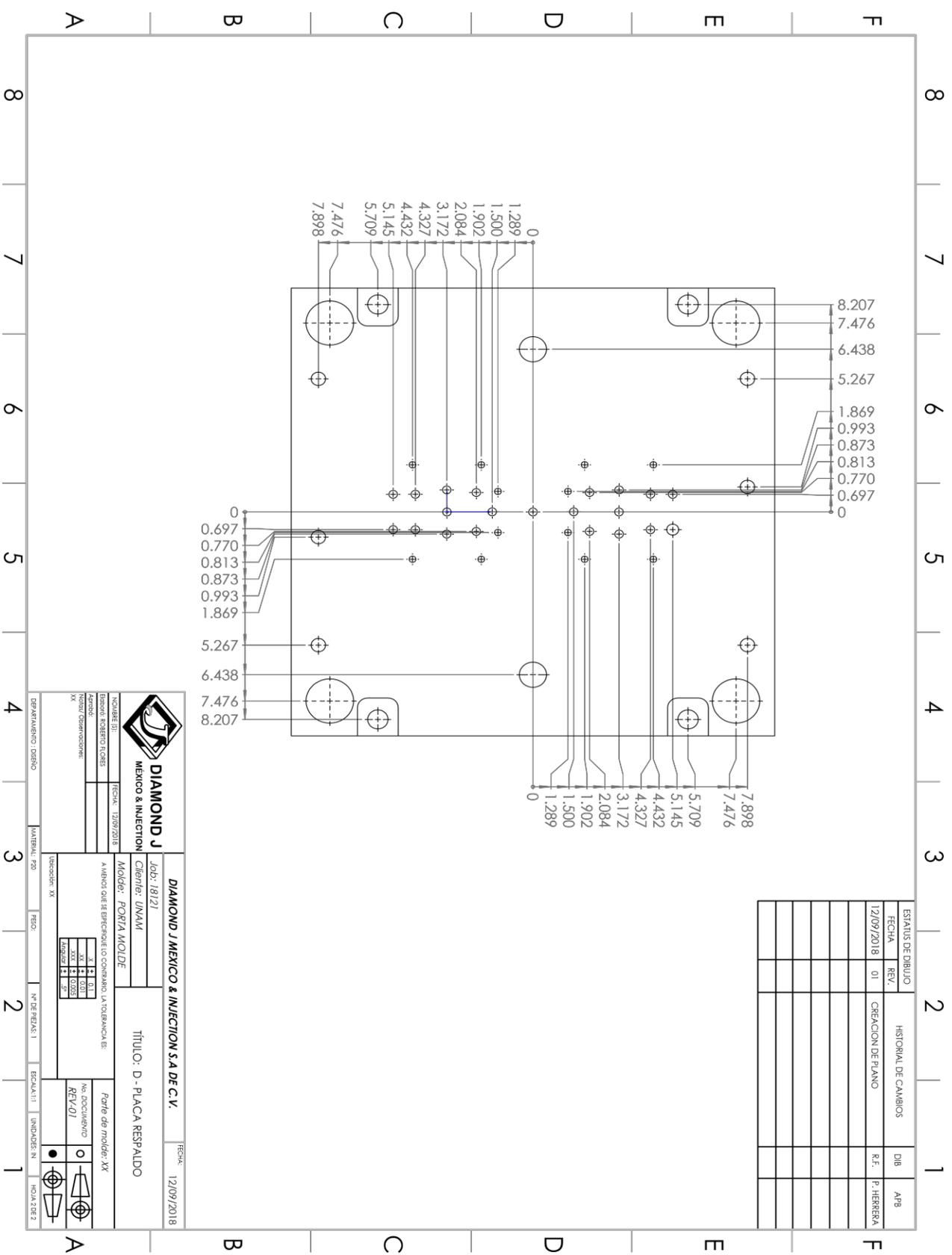
		<b>DIAMOND J MEXICO &amp; INYECCION S.A DE C.V.</b>		FECHA:	12/09/2018												
<b>DIAMOND J MEXICO &amp; INYECCION</b>		Job: 18121	TITULO: D - PLACA PORTA CAVIDAD 8														
INGRESO DE: <b>ESBORO ROBERTO FLORES</b> APROBADO: <b>ROBERTO FLORES</b> TITULO/COMPROBACION: <b>XX</b>		Cliente: UNAM Molde: PORTA MOLDE	A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO, LA TOLERANCIA ES: <table border="1"> <tr> <td>±</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>±</td> <td>0.05</td> </tr> <tr> <td>±</td> <td>0.025</td> </tr> <tr> <td>±</td> <td>0.015</td> </tr> <tr> <td>±</td> <td>0.01</td> </tr> <tr> <td>±</td> <td>0.005</td> </tr> </table>			±	0.1	±	0.05	±	0.025	±	0.015	±	0.01	±	0.005
±	0.1																
±	0.05																
±	0.025																
±	0.015																
±	0.01																
±	0.005																
DESARROLLO: DOBDO		MATERIAL: P80	PIEDO:	Nº DE PIEZAS: 1	ESCALA: 1:1												
MATERIAL: P80		PIEDO:	Nº DE PIEZAS: 1	ESCALA: 1:1	UNIDADES: IN												
TITULO: D - PLACA PORTA CAVIDAD 8		Parte de molde: XX		Nro. DOCUMENTO: REV. 01	HOJA 2 DE 2												



**DETALLE K**  
ESCALA 2:5

ESTATUS DE DIBUJO		HISTORIAL DE CAMBIOS		DIB	APB
FECHA	REV.	FECHA	DESCRIPCION	FECHA	FECHA
12/09/2018	01		CREACION DE PLANO	RF: HERRERA	

<p><b>DIAMOND J</b> MEXICO &amp; INYECCION</p>		<p><b>DIAMOND J MEXICO &amp; INYECCION S.A DE C.V.</b></p>		FECHA:	12/09/2018														
		<p>Job: 18121</p> <p>Cliente: UNAM</p> <p>Modelo: PORTA MOLDE</p>	<p>TITULO: D - PLACA RESPALDO</p>																
<p>NOMBRE DE: ROBERTO ROBERTO TORRES</p> <p>FECHA: 12/09/2018</p>		<p>A MENOS QUE SE ESPECIFIQUE LO CONTRARIO LA TOLERANCIA ES:</p> <table border="1"> <tr> <td>XXXX</td> <td>± 0.10</td> </tr> <tr> <td>XXX</td> <td>± 0.05</td> </tr> <tr> <td>XX</td> <td>± 0.025</td> </tr> <tr> <td>X</td> <td>± 0.01</td> </tr> <tr> <td></td> <td>± 0.005</td> </tr> <tr> <td></td> <td>± 0.0025</td> </tr> </table>		XXXX	± 0.10	XXX	± 0.05	XX	± 0.025	X	± 0.01		± 0.005		± 0.0025	<p>Parte del molde: XR</p> <p>No. DOCUMENTO: REV:01</p>			
XXXX	± 0.10																		
XXX	± 0.05																		
XX	± 0.025																		
X	± 0.01																		
	± 0.005																		
	± 0.0025																		
<p>ORGANIZACION: DIBUJO</p> <p>MATERIAL: Z90</p> <p>FECHA: 12/09/2018</p> <p>Nº DE REVIS: 1</p> <p>ESCALA: 1:1</p> <p>UNIDADES: N</p> <p>NO. 11823</p>																			



ESTATUS DE DIBUJO		HISTORIAL DE CAMBIOS		DIB	APB
FECHA	REV.	FECHA	DESCRIPCION DE CAMBIO		
12/09/2018	01		CREACION DE PLANO	R.F.	P. HERRERA



**DIAMOND J**  
MEXICO & INYECCION

NOMBRE DE CLIENTE: **DIAMOND J**  
 DISEÑO: **INGENIERO TORRES**  
 DISEÑO: **INGENIERO TORRES**  
 DISEÑO: **INGENIERO TORRES**

FECHA: 12/09/2018

CLIENTE: **UNAM**

MODELO: **PORTA MOLDE**

UNIDAD: **XX**

**DIAMOND J MEXICO & INYECCION S.A DE C.V.**

Job: 18121

FECHA: 12/09/2018

TITULO: **D - PLACA RESPALDO**

Parte de molde: **XX**

No. DOCUMENTO: **REV.01**

REVISIONES:

NO.	FECHA	DESCRIPCION
1	12/09/2018	CREACION DE PLANO

ESCALA: 1:1

UNIDADES: N.º

NO. DE DISEÑO: 120

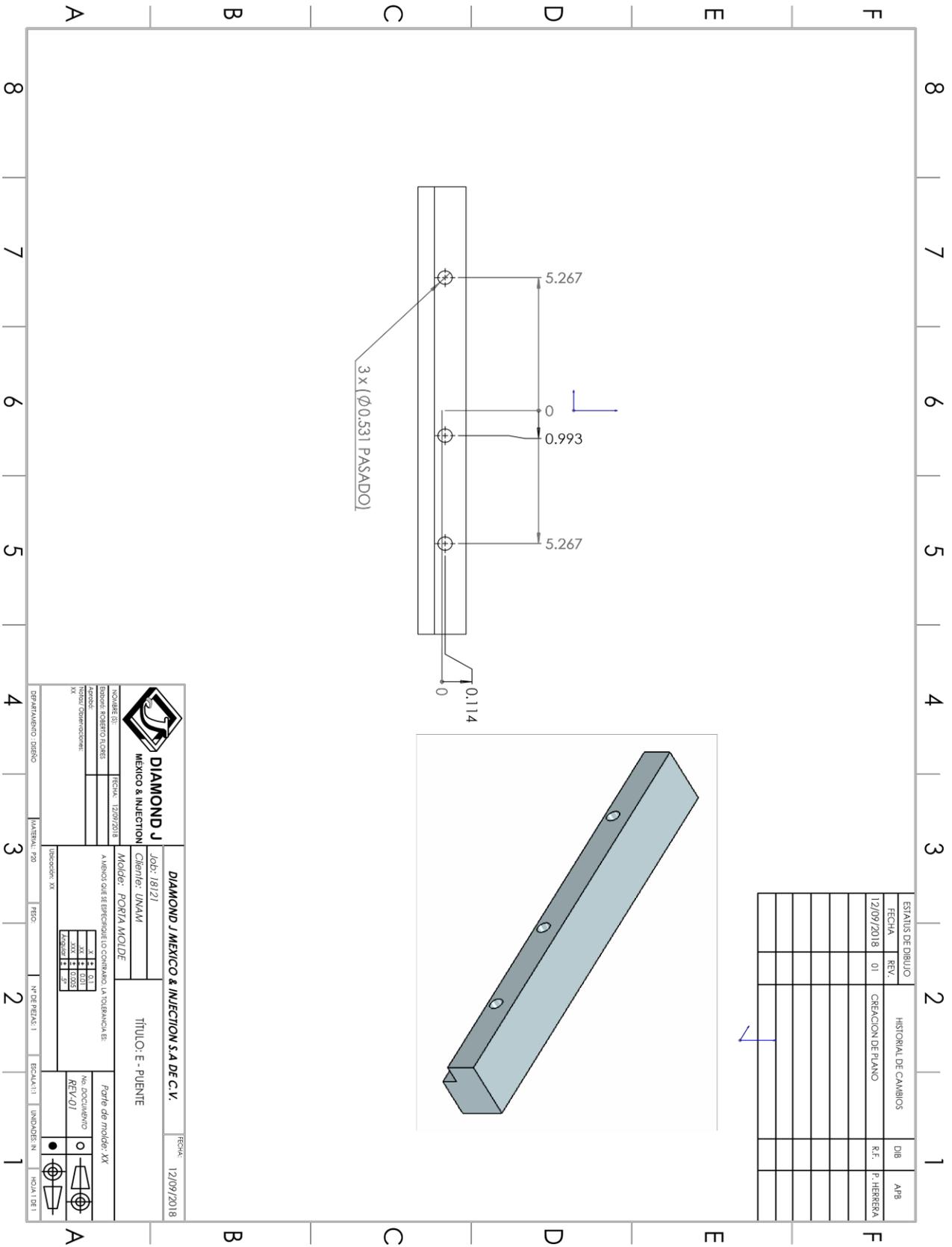
FECHA: 12/09/2018

NO. DE REVISIONES: 1

ESCALA: 1:1

UNIDADES: N.º

NO. DE DISEÑO: 120



ESTATUS DE DIBUJO		HISTORIAL DE CAMBIOS		DIB	APB
FECHA	REV.	FECHA	DESCRIPCION		
12/09/2018	01		CREACION DE PLANO	P. HERRERA	



**DIAMOND J**  
MEXICO & INYECCION

NOMBRE DE EMPRESA: DIAMOND J MEXICO & INYECCION  
 DIRECCION: AV. CARRANZA 1000  
 C.P. 06000  
 TEL: 55 5610 0000

FECHA: 12/09/2018

**DIAMOND J MEXICO & INYECCION S.A DE C.V.**

Job: 18121

Cliente: UNAM

Molde: PORTA MOLDE

TITULO: E - PUENTE

Parte de molde: XX

No. DOCUMENTO: REV.01

FECHA: 12/09/2018

PREPARACION DIBUJO

MATERIAL: 290

FEBO:

N° DE REVIS: 1

ESCALA: 1:1

UNIDADES: N°

NO. DE DIB: 1

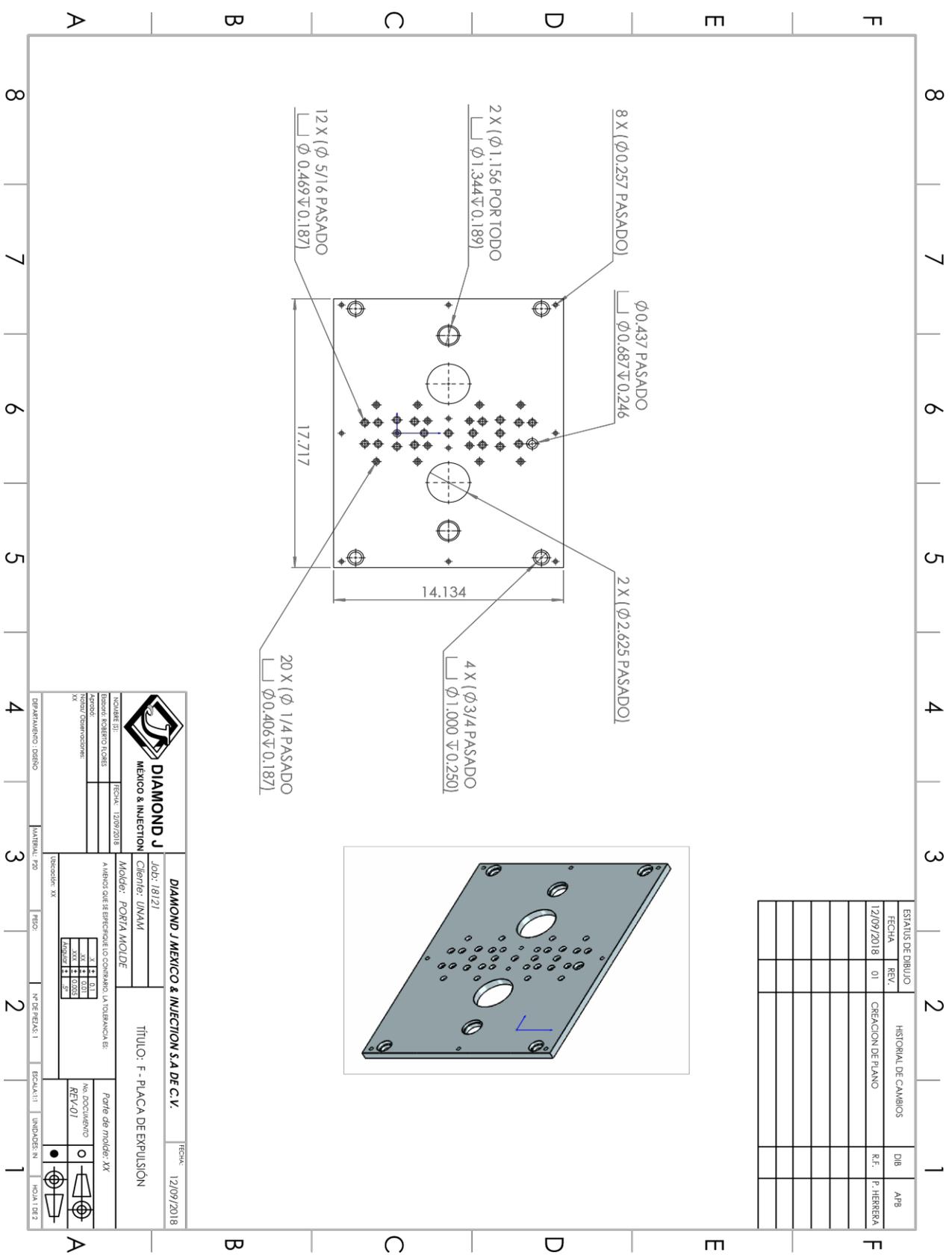
UNIDADES: XX

XX	1	01
XX	1	003
XX	1	005
XX	1	006

NO. DOCUMENTO: REV.01



FECHA: 12/09/2018



ESTATUS DE DIBUJO		HISTORIAL DE CAMBIOS		DIB	APB
FECHA	REV.	FECHA	DESCRIPCION DE CAMBIO	FECHA	FECHA
12/09/2018	01		CREACION DE PLANO	R.F. HERRERA	

**DIAMOND J**  
MEXICO & INJECTION

FECHA: 12/09/2018

NO. DE DISEÑO: 18121

NO. DE REVISIONES: 01

NO. DE EJEMPLARES: 1000

NO. DE COPIAS: 1000

NO. DE UNIDADES: 1000

**DIAMOND J MEXICO & INJECTION S.A DE C.V.**

FECHA: 12/09/2018

Job: 18121

Cliente: UNAM

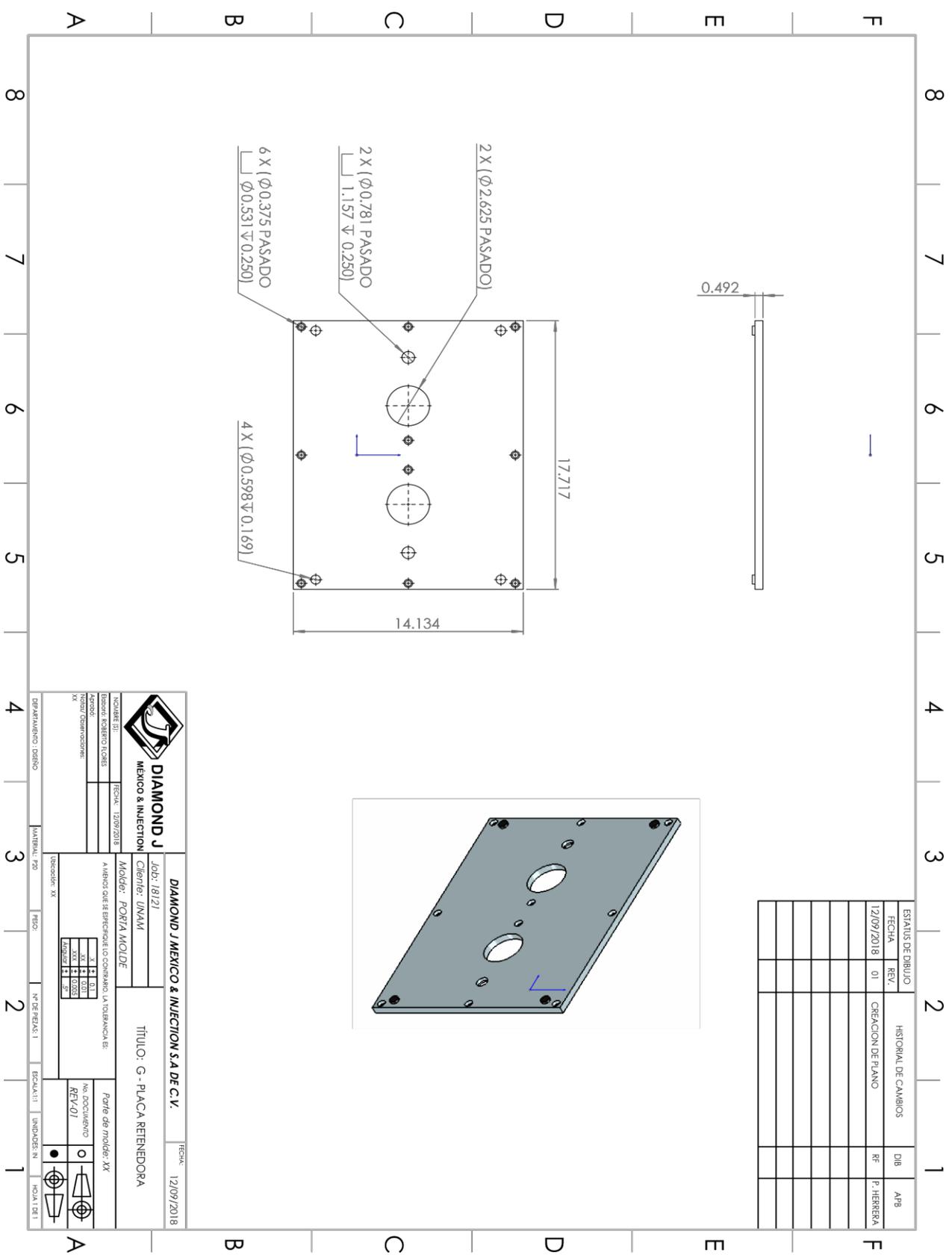
Molde: PORTA MOLDE

TITULO: F - PLACA DE EXPULSION

Parte de molde: XX

No. DOCUMENTO: REV-01





ESTATUS DE DIBUJO		HISTORIAL DE CAMBIOS		DIB	APB
FECHA	REV.	FECHA	DESCRIPCION DE CAMBIO	FECHA	FECHA
12/09/2018	01		CREACION DE PLANO		

**DIAMOND J**  
MÉXICO & INYECCION

FECHA: 12/09/2018

NO. DE DISEÑO: 18121

NO. DE REVISIONES: 01

NO. DE HOJAS: 01

NO. DE HOJAS EN TOTAL: 01

NO. DE HOJAS EN ESTE DISEÑO: 01

**DIAMOND J MEXICO & INYECCION S.A DE C.V.**

FECHA: 12/09/2018

Job: 18121

Cliente: UNAM

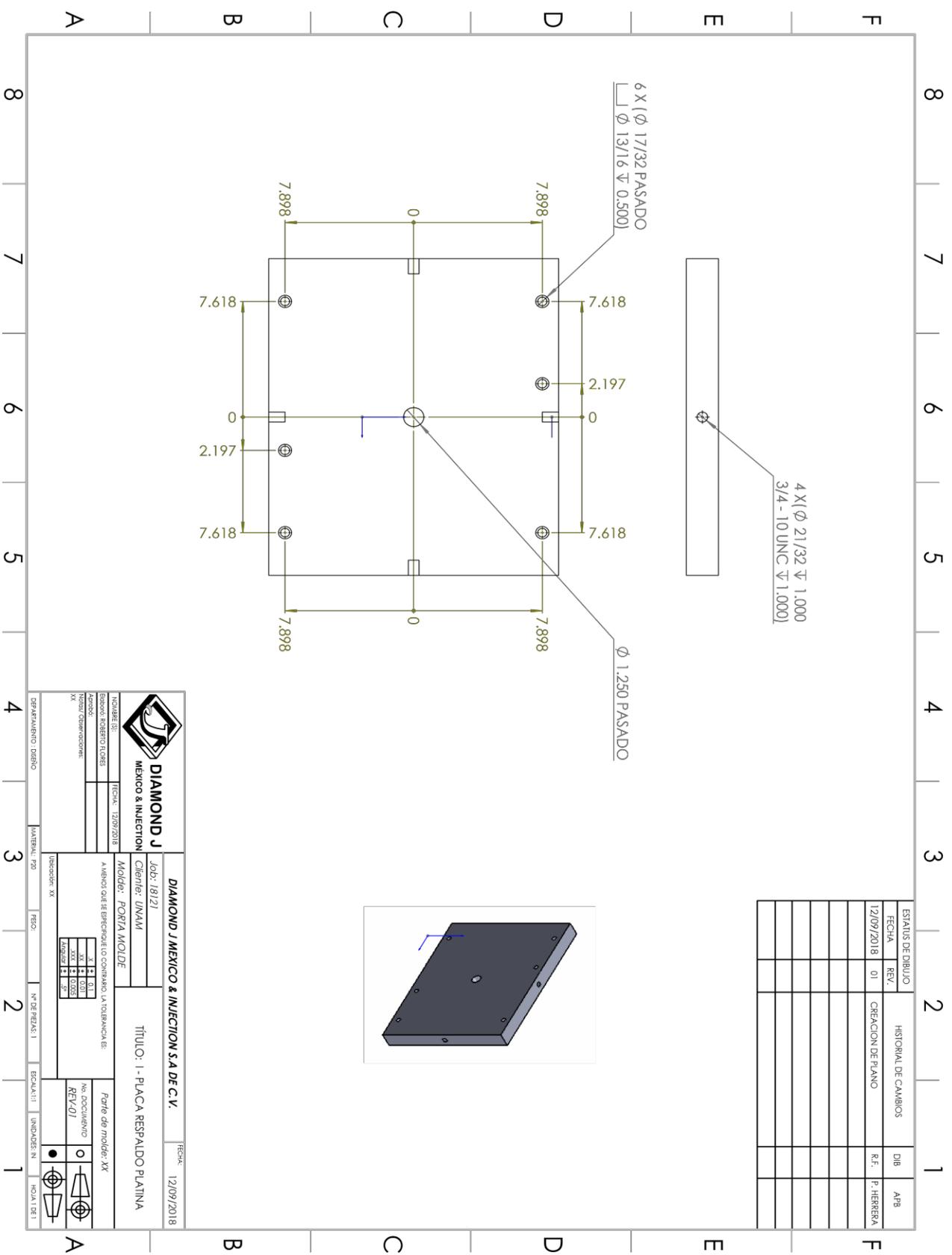
Molde: PORTA MOLDE

TITULO: G - PLACA RETENEDORA

Parte del molde: XX

No. DOCUMENTO: REV-01





ESTATUS DE DIBUJO		HISTORIAL DE CAMBIOS		DIB	AFB
FECHA	REV.	FECHA	DESCRIPCION	FECHA	FECHA
12/09/2018	01		CREACION DE PLANO	P. HERRERA	



**DIAMOND J**  
MEXICO & INYECCION

NOMBRE DE: \_\_\_\_\_  
 DISEÑO: RICARDO TORRES  
 DIBUJO: RICARDO TORRES  
 MATERIAL: 720

**DIAMOND J MEXICO & INYECCION S.A DE C.V.**      FECHA: 12/09/2018

Job: 18121

Cliente: UNAM

Molde: PORTA MOLDE

A MENSA QUE SE ESPECIALIZO CONVINO LA TOLERANCIA:

XX	± 0.1
XXX	± 0.05
XXXX	± 0.025
XXXXX	± 0.01

Unidades: XX

ESCALA: I

UNIDADES: N

NOA 1 (E.1)

TITULO: 1 - PLACA RESPALDO PLATINA

Patrón del molde: XX

No. DOCUMENTO: REV.01