



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

FACULTAD DE INGENIERÍA

Rediseño y fabricación de sujetadores para bambúes

TESIS

Que para obtener el título de
Ingeniero Mecánico

P R E S E N T A

José Alberto Bonilla Arango

DIRECTORA DE TESIS

Dra. Magdalena Trujillo Barragán



Ciudad Universitaria, Cd. Mx., 2018

Índice

Introducción.....	1
Objetivos.....	2
Hipótesis.....	2
Capítulo 1. Antecedentes	3
1.1 El bambú y sus amarres.....	3
1.1.1 Entalladuras y ensambles.....	4
1.1.2 Perno pasante.....	4
1.1.3 Perno Tensor	5
1.1.4 Uniones longitudinales.....	5
1.1.5 Uniones amarradas	6
1.2 Concepto preliminar	7
Capítulo 2. Parámetros para el diseño de productos de plástico.	11
2.1 Espesor de pared	11
2.2 Pared uniforme	12
2.3 Costillas	14
2.4 Esquinas.....	15
2.5 Angulo de desmoldeo	18
2.6 Punto de inyección.	19
2.7 Pérdidas de presión.....	20
2.8 Líneas de soldadura.....	21
2.9 Contracción y deformación de las piezas moldeadas.	22
Capítulo 3. Diseño para manufactura	23
3.1 Introducción	23
3.2 Modificaciones propuestas	24
3.3 Análisis estructural.....	28
3.3.1 Discretización de nodos y elementos.	30
3.3.2 Material	33
3.3.3 Configuración de cargas y restricciones.....	35
3.3.4 Resultados del análisis estructural	39

3.4 Análisis de flujo	45
Capítulo 4. Diseño del molde y su fabricación	51
4.1 Determinación de la fuerza de cierre.....	52
4.2 Propuestas de solución para el uso del portamoldes	55
4.2.1 Alternativa 1.	55
4.2.2 Alternativa 2.	56
4.2.3 Alternativa 3.	57
4.5 Toma de decisión.	58
4.6 Propuesta de cavidades.....	59
4.7 Simulación de flujo en la propuesta de cavidades.....	63
4.8 Material	71
4.9 Proceso de manufactura	71
4.9.1 Simulación de ruta de trabajo de placa de insertos de la platina fija molde 1.	83
4.9.2 Simulación ruta de trabajo de placa de insertos flotante molde 1.	84
4.9.3 Simulación ruta de trabajo placa de cavidades de la platina móvil molde 1.	85
Capítulo 5. Fabricación de cavidades y proceso de inyección.	88
5.1 Herramental	88
5.1.1 Careado y escuadrado de placas	88
5.1.2 Proceso de manufactura de placas.....	89
5.1.3 Placas terminadas	92
5.2 Proceso de inyección.....	93
5.3 Prototipos.....	96
5.4 Prueba Experimental.....	97
Conclusiones	99
Bibliografía	101
Anexos.....	102
Anexo 1. Análisis estructural.....	102
Anexo 2. Análisis de flujo.....	112
Anexo 3. Parámetros de operación para cortadores.....	116
Anexo 4. Proceso de Manufactura.	117
Anexo 5. Planos	122

Anexo 6. Índice de figuras, tablas y gráficas.133

Introducción

El plástico es un material tan importante, que hoy en día lo podemos encontrar en cualquier rincón de nuestra vida diaria, si exploramos un poco en nuestra oficina o en casa, podemos encontrar por lo menos un producto o una pieza de este material, por ejemplo: vajillas, ropa, utensilios, muebles, electrodomésticos, electrónicos, y un sinnúmero de productos que podemos imaginar.

Uno de los campos en donde este material ha tenido una gran utilización, es en el campo de la construcción, dejando de lado las herramientas y maquinaria que en esta industria se utilizan, los plásticos son utilizados en gran medida por este sector, principalmente en tuberías empleadas para transporte de agua potable y aguas residuales, ventanas aislantes de ruido y temperatura, recubrimiento de pisos, puertas, paneles y espumas aislantes, revestimientos, etc.

Los plásticos ofrecen ciertas propiedades que lo hacen un material deseable para la rama de la construcción, ya que estos son resistentes a la corrosión y desgastes, así como aislantes térmicos, eléctricos y sonoros, flexibles, ligeros, durables, lo que les ha permitido sustituir materiales tradicionales como el acero, aluminio, madera y vidrio.

Estas propiedades sumadas a su alta resistencia y bajo peso se han combinado para producir materiales para la construcción de puentes, barras de refuerzo, pavimentos y cubiertas tales como techos, láminas y tejas.

Gracias a la revolución de los plásticos, nuevos instrumentos se pueden fabricar haciendo uso de este material para la utilización en la industria de la construcción, tales como elementos de soporte, elementos estructurales, cimbras, cimientos, elementos de sujeción, etc., que faciliten el armado y construcción de estructuras de manera eficiente y segura tanto para los recursos materiales como los humanos.

Es por esto que en el presente trabajo se pretende desarrollar un dispositivo de plástico que apoye la construcción de estructuras ligeras.

Para el desarrollo de esta tesis se comienza con el planteamiento de los objetivos y la hipótesis del presente trabajo, en el capítulo 1 se presenta una breve descripción de la planta bambú, sus principales tipos de uniones y una primera mirada al diseño conceptual propuesto por el cliente. En el capítulo 2 se abordan los parámetros que se recomiendan utilizar para el buen diseño de un producto de plástico y como estos parámetros afectan en la fabricación de los productos. En el capítulo 3 con base en las recomendaciones de diseño se hicieron cambios a los conceptos originales y se realizó un análisis estructural así como de moldeabilidad para validar que las

modificaciones hechas tienen el impacto esperado en cada concepto. En el capítulo 4 se realizó el diseño del herramental para la fabricación de los prototipos con las modificaciones realizadas a cada concepto, se hizo un análisis para conocer los parámetros esperados en el proceso de inyección de los moldes, además de que se propuso, se simuló y se realizó el proceso de manufactura para la fabricación de los herramientas.

Objetivos

- Rediseñar un prototipo para la sujeción de bambúes que sirva como apoyo a la construcción de estructuras ligeras, el prototipo debe de fabricarse por el método de moldeo por inyección de plásticos.
- Diseñar y fabricar las cavidades que servirán para la fabricación del prototipo de sujeción bajo una propuesta de diseño de las cavidades del molde.
- Obtener un producto de material plástico para la sujeción de bambúes.

Hipótesis

Muchas ocasiones se diseñan productos sin el conocimiento del proceso de manufactura que se desea ocupar para la fabricación de los mismos, debido a ello el diseño de dichos productos no está acorde con los requerimientos que el proceso de manufactura demanda, lo que conlleva en un producto incompatible con el proceso, o deficiente en su desempeño.

Sin embargo, si se diseña con base en los conocimientos del proceso, así como de las principales características que un buen diseño debería tener para un determinado proceso de manufactura (según se ha documentado en la literatura), se puede asegurar que el producto final tendrá los requerimientos que el diseñador planteó para tal producto, tales como estéticos, funcionales, propiedades físicas, etc.

Así mismo los diseños que no están enfocados para su fabricación con un determinado proceso de manufactura, pueden ser modificados y/o rediseñados de tal manera que el diseño del producto tenga la capacidad de ser fabricado mediante el proceso de manufactura elegido, y así obtener un producto conforme con las necesidades del cliente.

Capítulo 1. Antecedentes

1.1 El bambú y sus amarres

El bambú es una planta gramínea perteneciente a las herbáceas como el arroz, el maíz o la caña de azúcar. Pero a diferencia de las anteriores, la estructura de sus tejidos con el paso del tiempo se convierte en una estructura tan dura como la madera, a diferencia de que es más flexible y de menor peso. Esto hace que el bambú sea un material muy interesante para diversos usos, uno de ellos es el estructural.

El bambú como material no solo posee bondadosas propiedades físico-mecánicas, sino que además se caracteriza por su capacidad de renovación, esta planta tiene un crecimiento rápido por lo que su uso es altamente adecuado para la realización de proyectos con un bajo impacto en la ecología. El bambú es un recurso natural que tarda poco tiempo en ser renovable. Sus propiedades y eficiencia estructural superan a las maderas, con lo que podemos compararlas con el acero y las nuevas fibras sintéticas de alta tecnología.

El bambú se caracteriza por poseer una sección de entre 5 a 15 cm de diámetro que puede llegar a medir hasta 30 metros de alto dependiendo de la especie. El tallo posee una serie de nudos huecos separados a partir de tabiques transversales que son lo que le otorga la flexibilidad y rigidez de forma simultánea.

Las principales características estructurales del bambú que lo hace un material favorable para su utilización en la construcción, son su ligereza, resistencia y flexibilidad. Los elementos estructurales para una construcción echa de bambú deberá diseñarse tomando en cuenta las características antes mencionadas, además de las uniones hechas entre este material, ya que de esto dependerá la rigidez de la estructura.

Las uniones deben de estar echas adecuadamente para asegurar la resistencia y estabilidad de la estructura. Estas uniones son difíciles de realizar en comparación con las uniones en la madera, concreto o acero, debido a que el bambú es un tallo redondo y hueco, además de que tiene nudos a distancias variables y no es perfectamente circular.

Las técnicas de unión tradicional de un sistema constructivo son en su mayor parte con base en ataduras o amarres. Anqué también podemos encontrar otro tipo de uniones como son: entalladuras y ensambles con perno pasante, con perno tensor y unión longitudinal.

1. Antecedentes

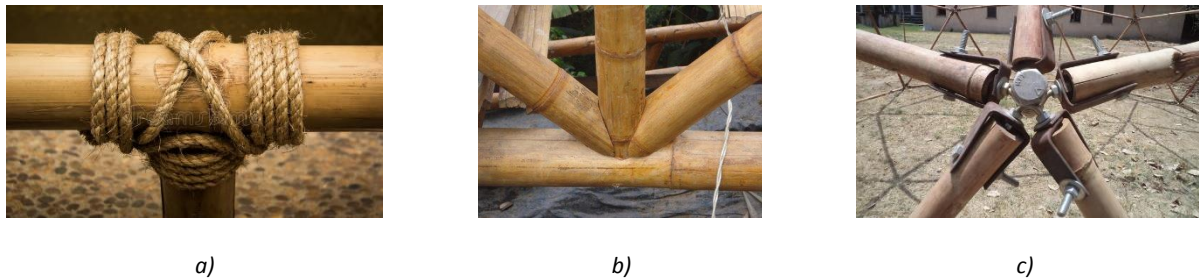


Figura 1.1. Tipos de unión en troncos de bambú [19].
a) Unión mediante atadura, b) unión de entalladura, c) unión con perno pasante.

1.1.1 Entalladuras y ensamblés.

Para unir el extremo de un tallo con otro, es necesario moldear el extremo de uno de los tallos, de acuerdo con el diámetro del otro y al ángulo de acople, de tal manera que la unión quede fuerte y fija. Se distinguen dos tipos de entalladuras: boca de pescado y pico de flauta. El corte tipo boca de pescado (fig. 1.2 a) se utiliza para unir el extremo de un tallo de bambú, a otro, en forma perpendicular. Para unir un tallo a otro con ángulo diferente de 90 grados se recomienda utilizar el corte tipo pico de flauta (fig. 1.2 b). Estos cortes se pueden realizar con mazo y formón, con una caladora, o alguna herramienta especializada, se recomienda realizar el corte a menos de 6 cm de algún nudo del tallo debido a que en esta zona de la planta es donde las fibras tienen una mayor resistencia para soportar el corte del tallo.



Figura 1.2. Tipo de entalladura para ensamblar bambúes [20]. a) boca de pescado, b) pico de flauta.

1.1.2 Perno pasante

En muchos casos para fijar y asegurar las uniones de bambú y otros materiales, se utilizan elementos pasantes. Dependiendo de la aplicación se pueden usar pernos de acero galvanizado con varillas roscadas, tuercas y arandelas, así como pernos de madera o varillas de acero. Con esta técnica se pueden fijar 2 o más bambúes alineados, realizar articulaciones, fijar una unión de pico

1. Antecedentes

de flauta, fijar un bambú sobre otro, así como fijar paneles o muros. En todos los casos se debe de perforar el tallo de bambú con un taladro y una broca, para poder insertar los pernos.

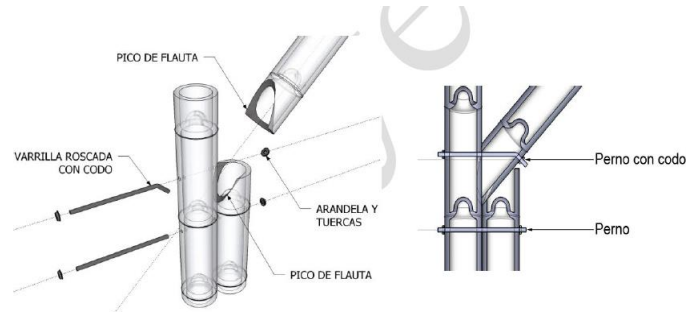


Figura 1.3. Representación de una unión mediante perno pasante [20].

1.1.3 Perno Tensor

Este tipo de unión es aplicable solo para uniones tipo boca de pescado, requiere dos piezas de acero: una varilla roscada de un extremo y un gancho en el otro para ser utilizado como varilla tensora, así como un perno para el anclaje. En este caso, la varilla tensora, ubicada en el tallo que no tiene el corte de boca de pescado, penetra el otro tallo y se engancha en el perno de anclaje como se muestra en la figura 1.4. La ventaja de esta unión es que se puede asegurar apretando la tuerca tanto como se desee.

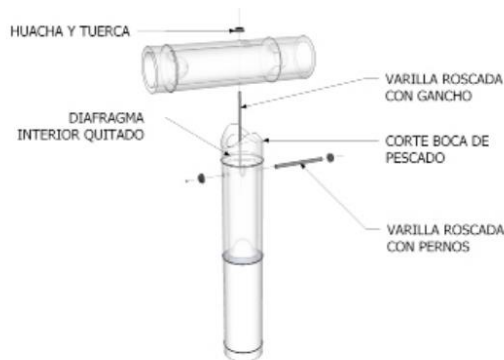


Figura 1.4. Unión de dos tallos mediante perno tensor y entalladura boca de pescado [20].

1.1.4 Uniones longitudinales

Para unir dos cañas longitudinalmente, se seleccionan bambúes de similar diámetro y se realiza un corte de tal manera que la unión presente dos nodos cercanos. Para esta unión, se tiene que eliminar el relleno natural interior de los tallos, y se introduce un tallo de menor diámetro o un

1. Antecedentes

segmento de madera, finalmente se sujetan con dos pernos en cada tallo, colocándolos perpendicularmente entre sí, para asegurar una mejor sujeción.

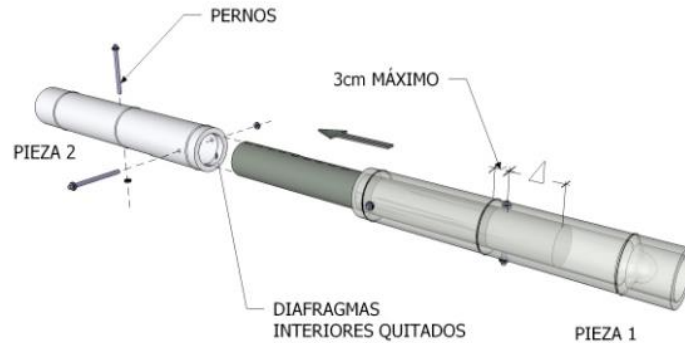


Figura 1.5. Unión longitudinal mediante pernos y cilindro de menor diámetro [20].

1.1.5 Uniones amarradas

Estas son las más comunes, el amarre se hace con una cuerda de algún material orgánico, las cuales pueden ser tiras de bambú, fibras de palma, lianas y cualquier otro material orgánico flexible y resistente. En la actualidad también se emplean cintas de plásticos y materiales sintéticos.

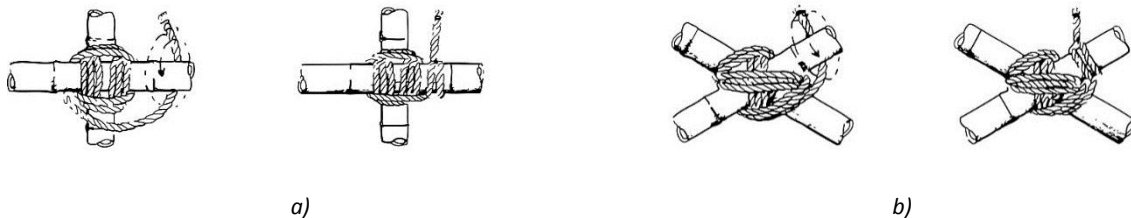


Figura 1.6. Unión de dos tallos mediante el amarre de algún tipo de cuerda [18].
a) Tallos unidos a 90 grados entre sí, b) tallos unidos con un ángulo diferente de 90 grados.

El objetivo de las uniones en estructuras de bambú es proporcionar continuidad de los elementos, a fin de que los esfuerzos puedan transmitirse de manera segura y eficiente, además de que las deformaciones tiendan al mínimo, ya que como se mencionó, lo más importante de que las uniones sean funcionales, es que nos permite tener una buena resistencia y estabilidad en la estructura.

1.2 Concepto preliminar

Para la construcción de estructuras ligeras, haciendo uso del bambú como se mencionó en el apartado anterior, es necesario unir los tallos de dicha planta unos con otros con el apoyo de un amarre, estos amarres se hacen con una cuerda de algún material orgánico o sintético flexible y resistente, apropiado para la fijación de los mismos.

Dependiendo de la estructura que se desee lograr, se deben de acomodar los bambúes de tal forma que la estructura sea rígida y resistente, esto se logra dependiendo del ángulo de empalme de los tallos.

Los amarres comúnmente se hacen de manera manual lo que dificulta tener con certeza los ángulos deseados en la construcción, por consiguiente, muchas veces las estructuras con bambú no tiene la rigidez y resistencia deseadas, además de que la desviación de los tallos del bambú juega un papel importante en la calidad de la construcción.

Ingenieros y arquitectos dedicados a la construcción con bambú, llamados a partir de ahora el cliente, desea fabricar un producto de plástico que ayude a sujetar los tallos del bambú para la construcción de estas estructuras ligeras, el cliente propuso dos diseños para la fabricación de los prototipos, con el primero desea sujetar 2 tallos a 90 grados entre sí, mientras que con el segundo pretende sujetar los dos tallos en un ángulo diferente a 90 grados, además de que este ángulo pueda ser variable en un rango de 60 a 150 grados, estos productos los necesita como apoyo para controlar la construcción de estructuras ligeras y que estas sean estables, es decir, asegurar que los bambúes se encuentren en la posición espacial que permita que la estructura cuente con la rigidez y resistencia característica de una estructura ligera, además de que estas sean amigables con el medio ambiente; Por lo que acudieron a la Facultad de Ingeniería para pedir el apoyo de la fabricación del prototipo mediante la inyección de plástico.

Para la construcción de las estructuras se necesita más de una persona para realizar los amarres, ya que una persona debe de sujetar los tallos en la posición deseada mientras que otra amarra los bambúes, además de que muchas veces estos amarres se realizan en una altura considerable, dificultando la maniobra y teniendo un riesgo para los trabajadores.

Con estos dispositivos se busca que una sola persona pueda realizar con precisión el amarre de los tallos, el sujetador servirá de sujeción temporal en los tallos del bambú para posteriormente realizar el amarre correspondiente, el producto debe de ser capaz de fijar los bambúes en la posición deseada, soportando su peso propio, además de resistir el peso de una persona ante un eventual percance, así como poder sujetar y des-sujetar los bambúes de una manera rápida.

1. Antecedentes

Para la unión de dos tallos de bambú, previamente los tallos se someterán a una entalladura, la entalladura que el cliente ocupa para este procedimiento es la que se conoce como boca de pescado, como se mencionó, esta entalladura deja un perfil circular en uno de los tallos, con lo cual se puede acoplar un bambú sobre el otro, y dependiendo del ángulo en que se deseen fijar los bambúes, se tendrá que realizar la boca de pescado.

Una vez que los bambúes quedan acoplados y fijados, se hace el amarre sobre el acople de los dos bambúes, este amarre se debe de realizar de una manera adecuada para asegurar que la estructura quede rígida y resistente.

Para lo anterior, el cliente proporciono una propuesta de diseño (ver figura 1.7), de la cual se partirá para la fabricación de los prototipos teniendo como base las recomendaciones hechas en la literatura para el diseño y manufactura de piezas plásticas.

Los diseños originales constan de un ensamble de dos piezas, cada pieza (componente) tiene en su extremo la geometría de una senoide la cual servirá para poder sujetar los bambúes, el cliente eligió una senoide y no otra geometría para la sujeción de los bambúes teniendo en cuenta que los bambúes no tienen un diámetro constante.

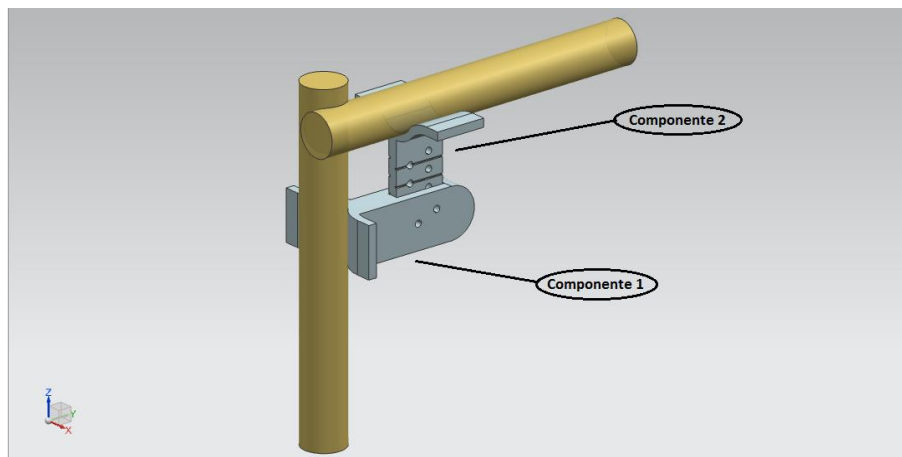


Figura 1.7. Sujetador número 1 utilizado para fijar bambúes a 90 grados.

1. Antecedentes

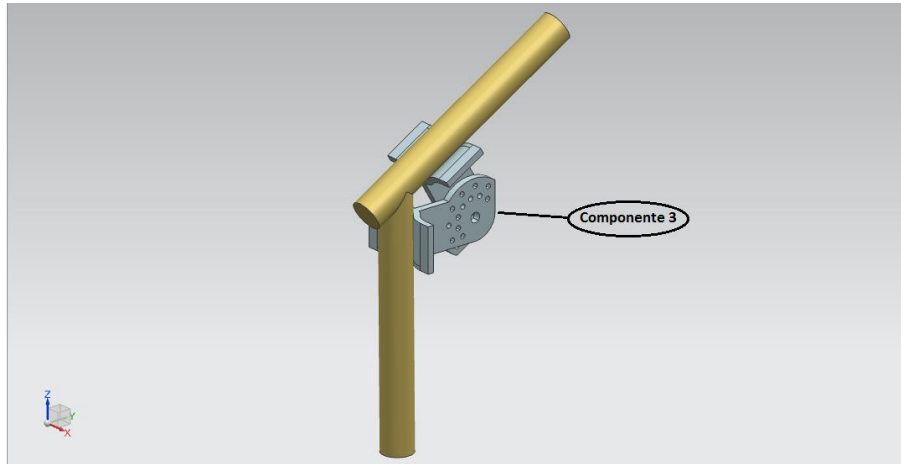


Figura 1.8. Sujetador número 2 utilizado para fijar bambúes en un ángulo diferente a 90 grados.

Si se requiere fijar los bambúes a 90 grados, se ocupará el primer sujetador, en el cual los componentes 1 y 2 (figura 1.7) se ensamblan a 90 grados entre sí, haciendo uso de tornillos y tuercas, el ensamble se puede colocar en diferentes posiciones según se requiera la distancia entre los bambúes, cabe resaltar que el poste para el ensamble está cargado de un lado de la sinusoide, esto para compensar el acople de los bambúes.

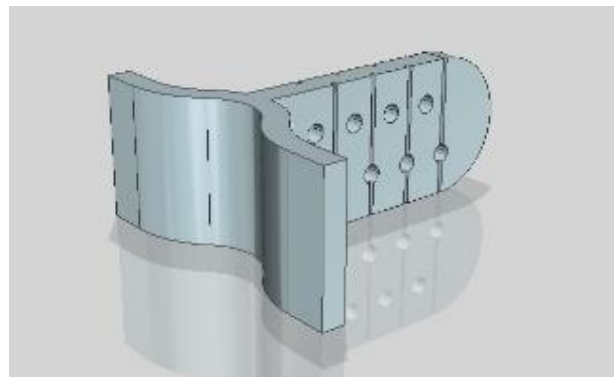
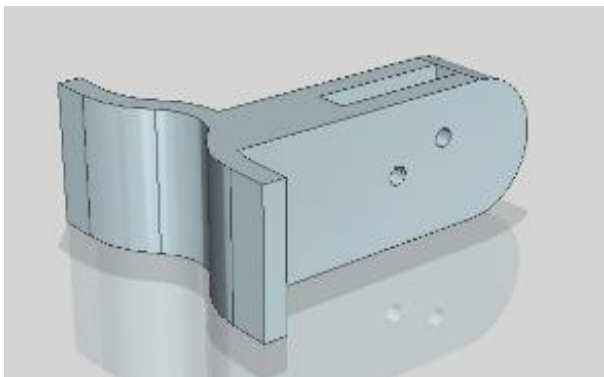


Figura 1.9. Modelos del diseño original propuesto por el cliente.
a) Componente 1, b) Componente 2 (Izquierda / Derecha)

Por otro lado, si lo que se quiere es fijar los bambúes en un ángulo diferente de 90 grados, se tendrá que ocupar el segundo sujetador, que, al igual que el primero consta de un ensamble de dos componente (componente 3 figura 1.8), ensambladas mediante tornillos y tuercas, este

1. Antecedentes

sujetador tiene un movimiento rotacional con el cual se puede fijar bambús en un ángulo de 60 a 150 grados entre los tallos, con intervalos de 30 grados.

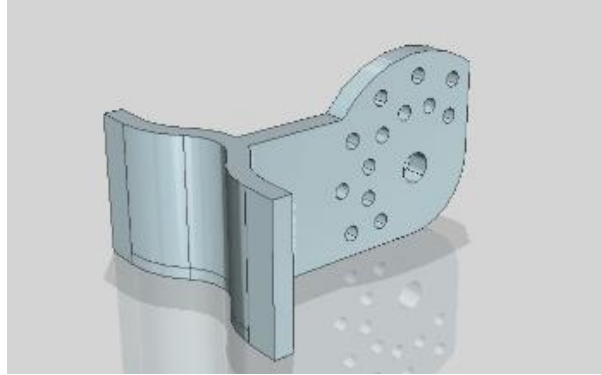


Figura 1.10. Modelo original propuesto por el cliente del Componente 3.

Los siguientes requerimientos son los establecidos por el cliente para la fabricación de sus prototipos.

- Funcional.
- Resistente.
- Prototipo hecho de plástico.
- Fabricado mediante moldeo por inyección.
- Capaz de soportar el peso de una persona.
- Conservar el diseño propuesto en la medida de lo posible.

Dichos requerimientos están listados en orden de importancia.

Con base en los requerimientos, en este trabajo se estudiarán los diseños propuestos y se hizo un análisis de las configuraciones para formular una propuesta acorde al proceso de manufactura a emplear así como a los parámetros utilizados para la fabricación de los sujetadores de plástico.

Capítulo 2. Parámetros para el diseño de productos de plástico.

El diseño de piezas de plástico puede incluir consideraciones estéticas, estructurales, térmicas, de manufactura, y otras variables. El método de diseñar para manufactura puede ser usado para identificar problemas que impidan una fabricación efectiva de cada componente, el diseño para ensamble puede ser usado para reducir el número de componentes, tomar en cuenta las tolerancias en dimensiones críticas y asegurar el montaje de las piezas terminadas.

El diseño de moldes es una de las actividades más importantes para el proceso de desarrollo de un producto. Ya que el diseño del producto y del molde es dependiente uno del otro, esto es útil para el diseño de los dos ya que permite comprender a los diseñadores el proceso de desarrollo de las piezas, así como del molde.

Es importante que los diseñadores reconozcan que el diseño de las piezas determinara, la facilidad del moldeo o la capacidad de fabricación de las piezas, además de reconocer que las formas iniciales de las piezas pueden ser modificadas para mejorar la moldeabilidad del producto.

Idealmente, el ingeniero de diseño de moldes debe participar en el diseño del producto desde la primera etapa del diseño de la pieza. Tal implicación muchas veces proporciona que los diseños de los productos de plástico sean significativamente funcionales y eficientes. Por desgracia, a los diseñadores de moldes a menudo se les proporcionan diseños de productos "terminados" que son de una calidad inferior con respecto al diseño para moldes de inyección y ensamble. En lugar de suponer que el diseño del producto está terminado e inalterable, el diseñador del molde debe comprobar que la pieza ha sido específicamente diseñada para el moldeo por inyección.

Para desarrollar productos de calidad, el diseñador de las piezas, el diseñador de molde, el proveedor de materiales y el ingeniero de procesos deben trabajar todos juntos en un esfuerzo por desarrollar un producto que sea moldeable y funcional.

A continuación, se hablará de algunas recomendaciones comunes para el diseño de piezas moldeadas por inyección.

2.1 Espesor de pared

Los ahorros en los costos son grandes cuando se tienen piezas con un espesor de pared pequeño, siempre que este espesor sea consistente con la funcionalidad de la pieza así como con las

2. Parámetros para el diseño de productos de plástico.

consideraciones de llenado del molde. Si una pieza tiene un espesor de pared pequeño, se enfriará más rápido en comparación a una con un espesor mayor, lo que significa que los tiempos de ciclo son cortos, teniendo como resultado, una mayor fabricación de piezas por hora. Otro beneficio de una pieza con espesor de pared delgado es que estas piezas pesaran menos y usaran una menor cantidad de plástico. En promedio el espesor de pared de una pieza de inyección de plástico ronda entre los 2 y 4 milímetros, aunque se pueden producir paredes tan delgadas como de medio milímetro.

2.2 Pared uniforme

Las piezas de plástico con un espesor de pared uniforme permiten a las cavidades del molde llenarse de una manera más fácil, ya que la masa fundida no tendrá que ser forzada a través de las restricciones provocadas por el cambio de espesor, si se tiene un espesor constante la masa fundida tendera a entrar en la cavidad fácilmente, en cambio si se tiene un cambio de espesor a lo largo de la cavidad, este flujo tendera a chocar con las paredes en el cambio de espesor creando resistencia en el flujo y dificultando el llenado de la cavidad.

Otro problema presente si no se tiene un espesor uniforme, es debido a la diferencia en la velocidad de enfriamiento, esta diferencia se da debido a que una pared gruesa le toma mayor tiempo enfriarse que una pared de espesor delgado. Cuando una pieza de espesor variable es expulsada de la máquina de inyección, exhibe una mayor temperatura cerca de la sección con pared gruesa y menor temperatura en la zona donde la pared es delgada. Esta diferencia de temperatura provoca que la pieza se solidifique a diferente ritmo, la zona de pared delgada al enfriarse rápidamente, solidifica y contrae antes que la zona de pared gruesa, por lo que se crea una zona de tensión en el límite de ambas zonas, la porción de pared delgada al solidificarse no cede, por lo que se crean distorsiones geométricas en la pieza hasta provocar grietas.

Pero si las características del diseño no permite tener un espesor de pared uniforme, el cambio en el grosor debe de ser lo más gradual posible. La figura 2.1 muestra algunos diseños con diferentes espesores de pared a lo largo de la pieza.

El peor diseño tiene un flujo de la masa fundida desde la sección delgada a la sección gruesa con una transición brusca entre los espesores, este tipo de diseño puede provocar piezas con un mal acabado superficial y un mal control geométrico en la sección gruesa debido a la solidificación prematura del plástico moldeado en la sección delgada, también puede aparecer un flujo de chorro en la masa fundida que se provoca desde la sección delgada a la sección gruesa.

2. Parámetros para el diseño de productos de plástico.

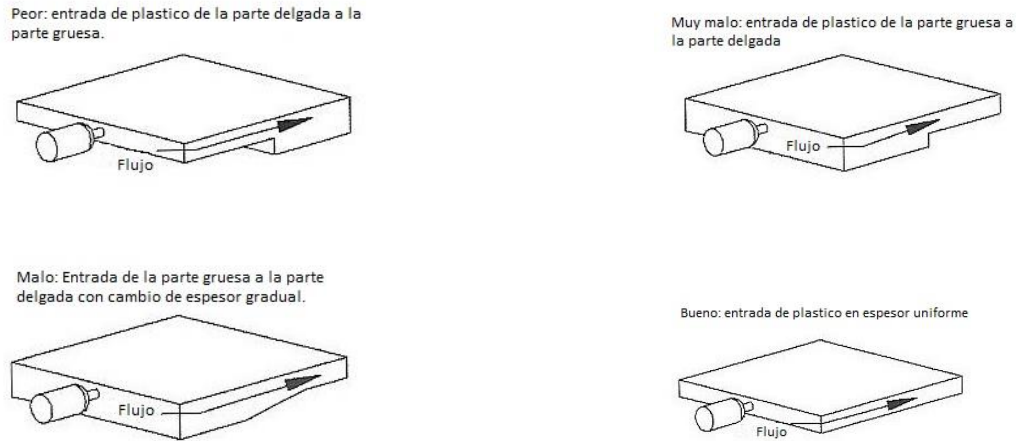


Figura 2.1. Diseño del espesor de pared [1].

El diseño de esta pieza puede mejorarse si se invierte la dirección del flujo de la masa fundida, ya que es poco probable que la sección gruesa solidifique antes que la sección delgada. Pero puede mejorarse aún más si la transición de la sección delgada a la sección gruesa se hace de manera gradual.

Sin embargo, cualquier diseño con variaciones significativas en el espesor, exhibirá tiempos de enfriamiento prolongados, así como diferentes velocidades de encogimiento o contracción entre la sección delgada y gruesa.

Una propuesta común es aumentar el espesor nominal de la pieza a fin de eliminar las diferencias de espesores. Esta decisión puede eliminar varios problemas relacionados con la calidad de la pieza, pero nos lleva a un mayor consumo de material, y a tiempos de enfriamiento muy prolongados.

Otra alternativa para mantener las paredes uniformes en piezas que tienen secciones muy gruesas, es la creación de huecos en la sección que tiene espesores muy grandes, estos huecos deben de ser diseñados de manera que la pared tenga un espesor uniforme, al sustraer el plástico de las secciones gruesas mediante la creación de huecos, se mitiga el problema de formación de hundimientos debido a la contracción diferencial.

2. Parámetros para el diseño de productos de plástico.

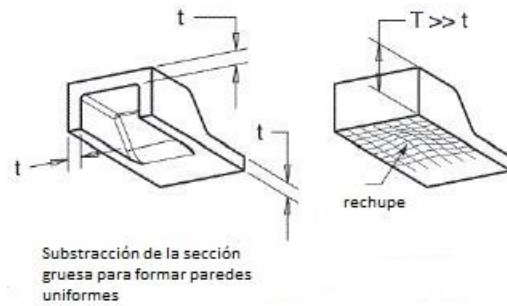


Figura 2.2. Diseño de huecos en la pieza para mantener el espesor de pared constante [21].

Muchas veces, el mejor diseño puede ser utilizar una pieza con espesor de pared delgado, agregando costillas verticales en las zonas donde se requiere una mayor rigidez.

2.3 Costillas

Las costillas se utilizan para aumentar la rigidez de una pieza sin añadir espesor, las costillas aumentan el momento de inercia, por lo que aumenta la resistencia a la flexión. Es recomendado que el grosor de una costilla debe ser menor que el grosor de la pared para minimizar los efectos de hundimientos.

Un diseño típico de costillas es mostrado en la figura 2.3, Kazmer [1] nos recomienda que el espesor de la base de la costilla no exceda el 70% del espesor de pared de la pieza y que la altura de la costilla sea cuatro veces el espesor de pared, además que las costillas estén espaciadas por lo menos diez veces el espesor de pared. Análisis hechos a este diseño muestran su rigidez es la misma que una pieza que tiene 30% más de espesor de pared, pero sin costillas. Sin embargo, esta pieza que es 30% más gruesa consumirá aproximadamente 15% más material y tendrá un tiempo de ciclo 70 por ciento más largo que la pieza de pared delgada con costillas.

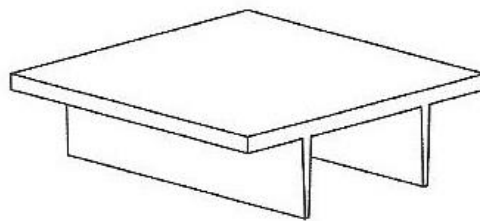


Figura 2.3. Diseño eficiente de una costilla [1].

2. Parámetros para el diseño de productos de plástico.

Las costillas con un espesor de pared nominal mayor al 70 por ciento, tenderán a crear espacios vacíos en la unión de la costilla y la pared, así como crear hundimientos en el lado contrario a la costilla. En aplicaciones en que la estética de la pieza no sea tan importante y que se utiliza algún material con rellenos y de menor contracción, se puede aumentar el espesor de la costilla. En materiales sin relleno, se pueden utilizar espesores menores del 70% del espesor nominal.

Por su parte Stratasys [21] recomienda tener un espesor de costilla de entre 40 a 60 por ciento del espesor nominal para evitar efectos de hundimiento, también recomienda que en la unión de la costilla y la pared deben de fijarse con radios tan generosos como sea posible.

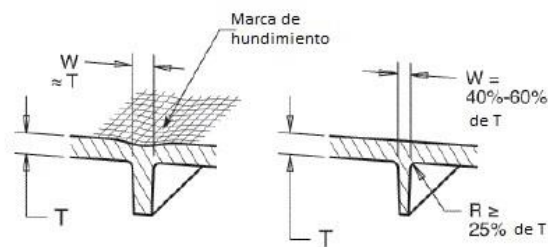


Figura 2.4. Un diseño correcto de costilla puede mitigar los hundimientos [21].

Asimismo recomienda que la altura de la costilla debe estar limitada a menos de 3 veces el espesor de pared nominal, además de utilizar varias costillas distribuidas a lo largo de la pieza en vez de una costilla muy alta, para aumentar la rigidez.

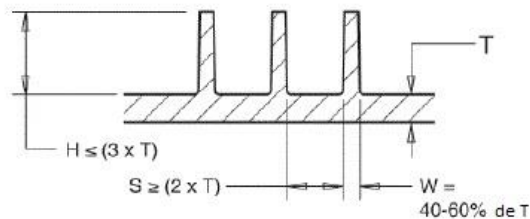


Figura 2.5. Un diseño correcto de costilla puede mitigar los hundimientos [21].

2.4 Esquinas

Usualmente las esquinas afiladas son ocupadas para maximizar el volumen interior de un componente, para facilitar el ensamble de dos componentes, o por alguna razón estética. Sin

2. Parámetros para el diseño de productos de plástico.

embargo, estas esquinas deben de ser eliminadas por diferentes razones relacionadas con el funcionamiento de la pieza, con el diseño del molde y/o con el proceso de inyección.

En relación con el desempeño de la pieza, las esquinas afiladas producen una concentración de esfuerzos que puede producir que el material falle bajo cargas, esta concentración de esfuerzos ocasiona principalmente fragilidad en el material.

En cuanto al diseño del molde, las esquinas afiladas pueden ser muy difíciles de producir, requiriendo el uso de procesos especiales de manufactura o el uso de múltiples herramientas de corte de tamaño muy pequeño.

También las esquinas afiladas juegan un papel importante en el proceso de inyección, ya que, en estas, se crea una gran restricción para la transferencia de calor proveniente de la masa fundida hacia el molde. El resultado a menudo es una contracción diferencial en la zona cercana a la esquina y una deformación significativa en la pieza.

Algunas recomendaciones comunes para el redondeo de las esquinas son como las que se muestran en la figura 2.6. El radio del redondeo en la esquina exterior debe de ser de 150 por ciento del espesor de pared nominal, y para mantener el mismo espesor en esa esquina, el redondeo en la esquina interior se ajusta al 50 por ciento del espesor de pared. Kazmer [1] nos menciona que estas recomendaciones son solo pautas que se suelen ocupar, los redondeos se pueden hacer lo más grande posible, cuidando que los radios de los redondeos vayan de acuerdo con la geometría de las herramientas de corte disponibles para evitar hacer herramientas a la medida.

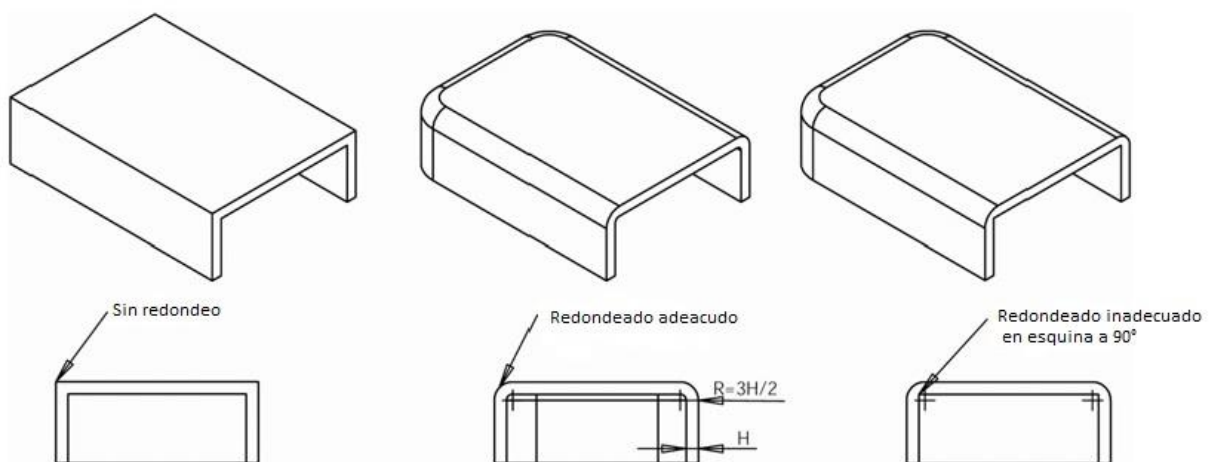


Figura 2.6. Comparación en el redondeo de las esquinas [1].

2. Parámetros para el diseño de productos de plástico.

Por su parte Stratasys [21] apunta un factor de concentración de esfuerzos, el cual varía con respecto al radio para un espesor en particular, se presenta una tabla (fig. 2.7) en la que se muestra que el factor de concentración de esfuerzos es alto para valores inferiores a 0.5 en la relación de radio entre espesor, mientras que para valores superiores de 0.5 en $\frac{R}{T}$ la concentración es menor. Esta relación entre el radio y el espesor nos indica cuantas veces el radio tiene la medida del espesor. Este factor de concentración es un número que multiplica el esfuerzo presente en las piezas, por lo que se recomienda que un radio mida como mínimo una vez el espesor nominal, ya que además de reducir las tensiones, el redondeo proporciona un recorrido de flujo aerodinámico para la masa fundida, resultando en un relleno más fácil del molde.

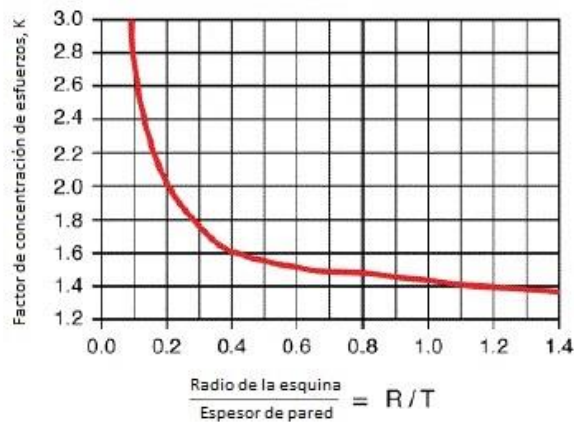


Figura 2.7. Factor de concentración de estrés dependiente del radio de las esquinas [21].

Al igual que Kazmer [1], Stratasys [21] también sugiere tener un radio interior de la mitad del espesor y un radio exterior de 1.5 veces el espesor de pared como lo muestra la figura 2.8 así como un radio mayor de redondeo si el diseño de la pieza lo permite.

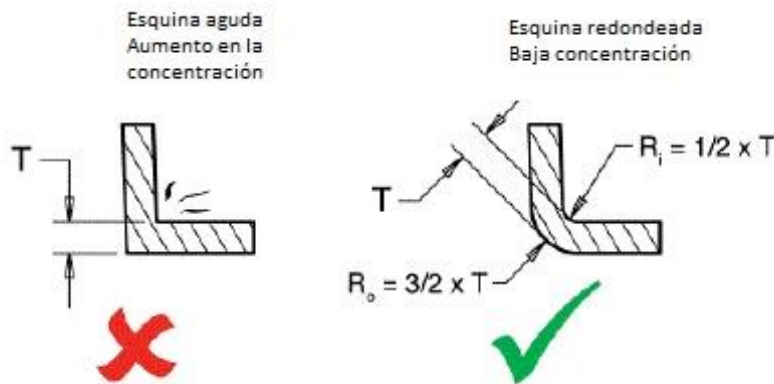


Figura 2.8. Recomendación para el redondeo de las esquinas [21].

2. Parámetros para el diseño de productos de plástico.

2.5 Ángulo de desmoldeo

El ángulo de desmoldeo es una inclinación que se coloca entre las superficies verticales de la pieza en la dirección de apertura del molde. Esta inclinación normalmente se ocupa para facilitar la expulsión de cada pieza alojada en la cavidad del molde. Muchas veces los diseñadores evitan ocupar ángulos demasiado grandes debido a que estos alteran la estética del producto y reducen el volumen interno de la pieza. Aun así, el ángulo de desmoldeo se aplica comúnmente a piezas de plástico para evitar problemas de expulsión, así como en el diseño de moldes muy complejos o moldes con una profundidad de extracción significativa. Como tal el ángulo de desmoldeo permisible está en función del comportamiento del material, de las condiciones de procesamiento, y del acabado superficial.

En la mayoría de los casos, la pieza tiende a permanecer en el molde cuando este se abre, debido a la contracción del material que provoca una presión de contacto, así como fuerzas de fricción normales entre la pieza y el molde.

Generalmente es necesario un ángulo mínimo de 0.5° , usualmente se usa un ángulo de 1 a 2 grados según las especificaciones del proveedor del material. Ángulos inferiores a 0.5 grados puede hacer que la pieza se quede adherida al molde, este problema de adherencia se puede agravar cuando se moldea con materiales reforzados que tienen baja contracción, al contrario, pasa con materiales flexibles tales como el PVC.

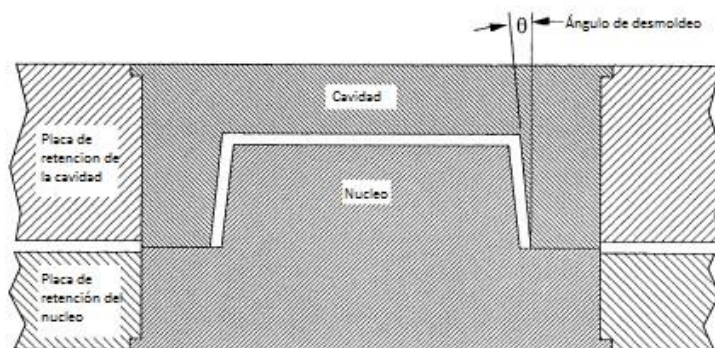


Figura 2.9. Ángulo de desmoldeo en la cavidad [5].

El ángulo de desmoldeo también reduce la posibilidad de raspado o abrasión en las superficies de las cavidades, eliminan la fricción deslizante, así como el daño de la pieza en la apertura del molde.

Las piezas se pueden producir sin un ángulo de desmoldeo, sin embargo, se debe de usar un molde especial, este molde debe tener una cavidad dividida para expulsar la pieza al final del proceso de inyección. La división de la cavidad reduce las fuerzas de apertura del molde y elimina la posibilidad

2. Parámetros para el diseño de productos de plástico.

de que la pieza se adhiera a la cavidad, las divisiones de la cavidad comúnmente tienen algún movimiento lateral y se pueden usar para producir paredes texturizadas, agujeros, ranuras, sin embargo, este tipo de moldes son significativamente más costosos además de difíciles de manufacturar.

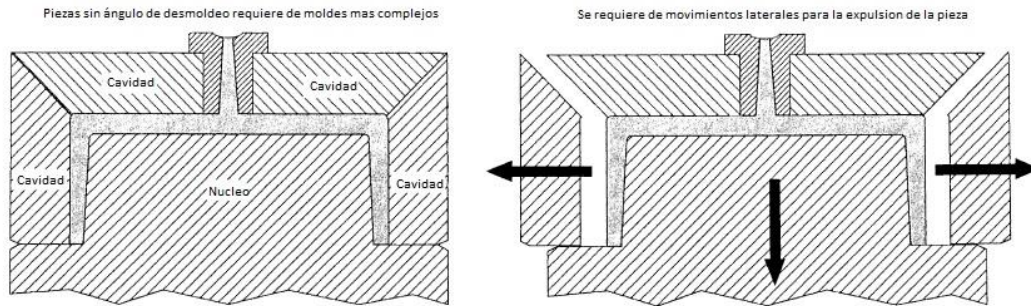


Figura 2.10. Apertura del molde en dos direcciones para suprimir el ángulo de desmoldeo [5].

Otras recomendaciones de diseño relacionadas con el llenado del molde son el punto de inyección, la pérdida de presión, líneas de soldadura, la contracción y la deformación.

2.6 Punto de inyección.

Una de las decisiones más importantes asociadas con el proceso de llenado del molde, es la determinación del tipo, número y ubicación de los puntos de inyección. El punto de inyección como su nombre lo dice es el punto donde la masa fundida de plástico ingresa en la cavidad del molde. El punto de inyección puede ser colocado en uno o más lugares de la pieza y puede tener diversas formas que en conjunto pueden tener una gran influencia en la calidad de la pieza.

La forma del punto de inyección puede influenciar en el llenado, la compactación y la etapa de mantenimiento del proceso, además de tener un gran impacto en la estereotomía final de la pieza, en su rendimiento y estética.

Por ejemplo, considere el siguiente contenedor mostrado en la figura 2.11, se proponen una serie de posibles ubicaciones del punto de inyección, cada ubicación tiene sus propias ventajas y limitaciones características.

2. Parámetros para el diseño de productos de plástico.

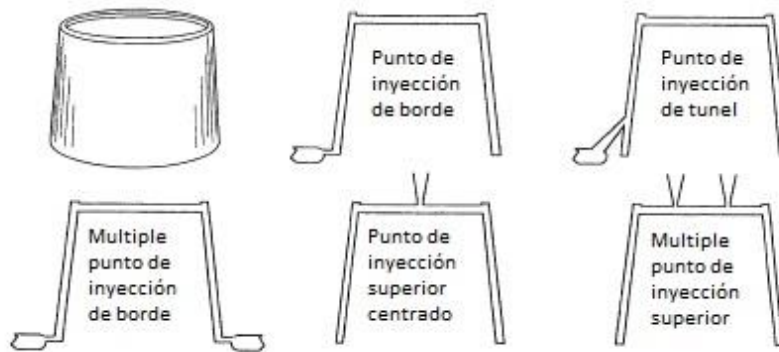


Figura 2.11. Puntos de inyección a lo largo de una pieza [5].

En general, es una buena práctica que un diseñador considere la mayor cantidad de opciones de colocación del punto de inyección y establezca el diseño que ofrezca el mayor equilibrio entre “moldeabilidad” y comportamiento de la pieza final.

2.7 Pérdidas de presión

Al seleccionar la ubicación del punto de inyección para una pieza, el diseñador debe considerar diversos factores asociados con el llenado del molde. El proceso de llenado de la cavidad comienza en el punto de inyección y avanza a medida que la masa fundida sigue el camino con la menor resistencia. El punto de inyección debe colocarse de tal manera que el molde se llene de manera uniforme y que la caída de presión en la cavidad no sea excesiva. Es importante que el diseñador obtenga una estimación de la caída de presión, pues esto nos permite evaluar la “moldeabilidad” de una pieza con respecto a la ubicación de punto de inyección propuesto. La caída de presión y el patrón de llenado de una pieza se puede evaluar usando simulaciones de llenado asistidas por computadora, lo que ayuda al diseñador a evaluar la “moldeabilidad” de una pieza y puede alterar el diseño tanto de la pieza como del molde antes de que este sea manufacturado, evitando problemas de flujo, trampas de gas, líneas de soldadura en una posición no deseada, entre otras, lo que resulta en un menor tiempo de desarrollo además de una calidad mejorada.

La presión necesaria para llenar la cavidad de la pieza está claramente influenciada por un gran número de variables, incluidas algunas que pueden estar fuera del control del diseñador. Este hecho enfatiza una vez más la importancia de la ingeniería concurrente. Una simulación de llenado del molde hecha únicamente con la geometría de la cavidad es de gran utilidad para el ingeniero, sin embargo, una simulación que incluya el sistema de alimentación del molde y la geometría de

2. Parámetros para el diseño de productos de plástico.

la boquilla de la máquina de inyección será una simulación más realista, ya que todas estas geometrías influyen en la caída de presión y la distribución de la temperatura.

2.8 Líneas de soldadura

Las líneas de soldadura se forman durante el proceso de llenado del molde cuando el frente de flujo de la masa fundida se separa y se une en un lugar adelante en el flujo. La separación o división del frente de flujo puede ser causada por obstrucciones, diferencias de espesores en la pared, o por ramificación de los canales de alimentación para piezas con puntos de inyección múltiple.

Las líneas de soldadura se ven como grietas en la superficie de la pieza moldeada. Estas grietas son a menudo visibles a simple vista y por ello se consideran estéticamente inaceptables en diversas aplicaciones. Por otra parte, la resistencia mecánica del área de la línea de soldadura se puede ver significativamente afectada. La presencia de las líneas de soldadura es uno de los problemas más importantes asociados con el diseño de las piezas de plástico para aplicaciones estructurales debido a la posibilidad de fallas en el área de las líneas de soldadura.

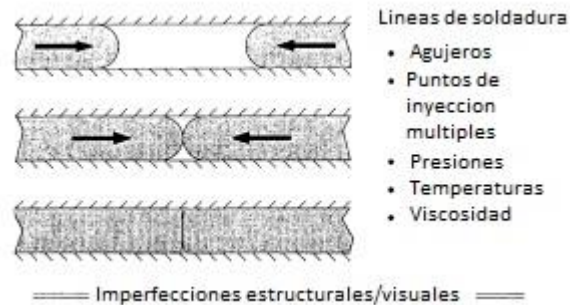


Figura 2.12. Formación de líneas de soldadura al unirse dos frentes [5].

Desafortunadamente, hay poca información sobre el rendimiento de las líneas de soldadura, por lo tanto, es difícil para el diseñador predecir el comportamiento estructural y la apariencia de las piezas de plástico. Por ello la regla más importante tal vez sea ubicar las líneas de soldadura en lugares que no sean críticos en términos estéticos y de comportamiento mecánico para el uso final de las piezas. El diseñador al variar la geometría de la pieza, el espesor de pared y la posición del punto de inyección, puede cambiar la ubicación de la línea de soldadura según sea su conveniencia.

2. Parámetros para el diseño de productos de plástico.

2.9 Contracción y deformación de las piezas moldeadas.

El moldeo por inyección es un proceso usado generalmente para producir piezas que tienen tolerancias dimensionales pequeñas. En muchos casos las tolerancias extremadamente pequeñas son necesarias, por ejemplo, piezas que requieren acoplarse unas a otras para crear un ensamble, necesitan tener un buen ajuste. Muchos materiales plásticos exhiben valores relativamente grandes de contracción en el molde, desafortunadamente la contracción en el molde no es siempre de naturaleza isotrópica. Si un material exhibe una contracción anisotrópica, establecer las dimensiones de la cavidad ya no será un simple procedimiento de sobredimensión, además el comportamiento de contracción anisotrópica conducirá a un cierto grado de alabeo (distorsión fuera el plano).

Algunos factores asociados con el control dimensional son:

Consideraciones del material: material amorfo contra semicristalino, material con cargas o refuerzos y grado de absorción de humedad.

Consideraciones de la geometría: espesor de pared nominal, variación en el espesor de pared, dimensiones en general y ángulos de desmoldeo.

Consideraciones del molde: localización del punto de inyección, geometría del punto de inyección, sistema de llenado, sistema de enfriamiento y sistema de expulsión.

Consideraciones del proceso: temperatura de la masa fundida, temperatura del molde, presiones y tiempo de llenado, compactación, sostenimiento y temperatura de la pieza a la expulsión.

Capítulo 3. Diseño para manufactura

3.1 Introducción

Aunque los ingenieros no son las únicas personas dedicadas al diseño, es cierto que la práctica profesional de la ingeniería se relaciona principalmente con el diseño, muchas veces se dice que la esencia de la ingeniería es el diseño. Pero ¿qué es el diseño?, el diseño según Dieter [8] se puede definir de la siguiente manera: “El diseño establece y define estructuras y soluciones pertinentes para problemas no resueltos, así como nuevas soluciones a problemas que previamente ya han sido resueltos de una manera diferente”

Para Dieter [8] un buen diseño requiere de análisis y síntesis, un diseñador necesita entender como una pieza o producto trabajará al dar servicio, ser capaz de calcular y predecir el comportamiento esperado de la pieza o producto antes de que exista de manera física utilizando las disciplinas apropiadas de la ciencia e ingeniería, así como las herramientas computacionales, a esto se le llama análisis. La síntesis involucra la identificación de los elementos de diseño que comprenderán la pieza o producto, las partes que lo integran y la combinación de cada componente para dar solución a los problemas.

En los años ochenta cuando las compañías estadounidenses comenzaron a sentir el impacto en la calidad de los productos extranjeros, comenzaron a bajar sus costos de fabricación a través de la automatización, en un estudio de la National Research Council, las empresas se dieron cuenta que la clave real para que los productos fueran competitivos en el mundo, radica en el diseño de productos de una alta calidad. Esto estimuló la experimentación e intercambio de resultados sobre las mejores formas de diseñar productos, lo que una vez fue un proceso de ingeniería simple, se ha convertido en uno de los pilares en el progreso de la ingeniería.

El proceso de diseño en ingeniería se puede usar para lograr resultados diferentes, un ejemplo de ello, es el de diseñar productos para bienes de consumo tales como refrigeradores, herramientas, o reproductores, también productos altamente complejos tal como un avión de transporte a reacción. Asimismo se pueden diseñar sistemas complejos de ingeniería como una central eléctrica o una planta petroquímica, así como el diseño en la construcción de un puente o edificio.

El diseño en ingeniería puede llevarse a cabo por razones diferentes y tomar diferentes vertientes algunas de las cuales son: diseño innovador, diseño adaptativo, rediseño, diseño de selección, diseño industrial.

Rediseño: con mucha frecuencia el diseño en ingeniería se emplea para mejorar un diseño existente. La tarea puede ser rediseñar un componente en un producto que está fallando, o

3. Diseño para manufactura

rediseñar un componente para reducir su costo de fabricación. A menudo el rediseño se lleva a cabo sin ningún cambio en el principio de funcionamiento o en el concepto del diseño original. Por ejemplo, se puede cambiar la forma para reducir una concentración de esfuerzos, o proponer un nuevo material para reducir el peso o costo de la pieza. Cuando en un rediseño se cambian los parámetros de diseño, se dice que es un diseño de variante.

Según Dieter [8] el diseño puede abordarse como un problema a resolver, una metodología de resolución de problemas que es aplicable al diseño, consta de los siguientes pasos:

- Definición del problema
- Reunión de información
- Generación de alternativas para la solución
- Evaluación de las alternativas y toma de decisión
- Comunicación de los resultados

Este método de resolución de problemas se puede usar en cualquier punto del proceso de diseño, ya sea en la creación de un producto o en el diseño de alguna pieza o componente.

3.2 Modificaciones propuestas

De acuerdo con las necesidades del cliente, los sujetadores 1 y 2 (Fig. 3.1) tienen la función de posicionar dos bambúes a 90 grados entre sí, ambos componentes forman un ensamble para sujetar e inmovilizar los tallos, dichos dispositivos tienen una zona con una geometría sinusoidal alargada la cual se utiliza para asentar la superficie del bambú, esta geometría se diseñó para lograr sujetar los bambúes a pesar de que estos no tienen una geometría constante, también se diseñaron postes rectangulares unidos a las bases de esta senoide para lograr el ensamble de las dos componentes, este ensamble se desea lograr mediante tornillos los cuales se introducen en los orificios ubicados en el dorso de cada componente, cabe resaltar que el componente número 2 puede desplazarse verticalmente con respecto al componente 1, esto para ajustar la altura de sujeción entre los bambúes, por tal motivo cuenta con 4 pares de orificios en los cuales se puede realizar el ensamble.

El tercer componente (Fig. 3.2) al igual que el primero y el segundo, consta de una senoide alargada para asentar la superficie del bambú, el poste o columna unida a esta senoide en vez de ser completamente rectangular, tiene una región circular, la cual es útil ya que sirve de pivote y posibilita una rotación entre ambas componentes, esta rotación permite que se puedan sujetar y fijar los bambúes en un ángulo diferente a 90 grados, la apertura angular en que se puede acoplar los bambúes tiene un rango de 60 a 150 grados y se ajusta mediante los orificios diseñados en el

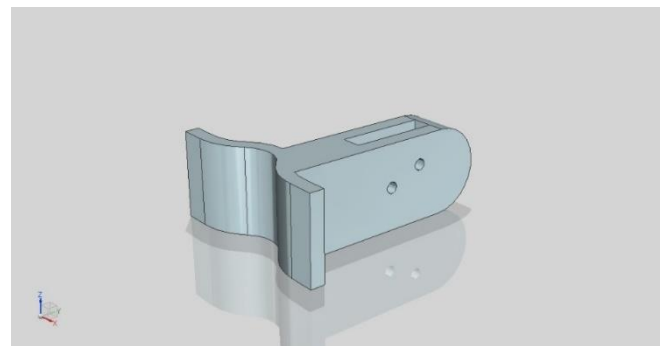
3. Diseño para manufactura

dorso del componente 3, introduciendo un tornillo y sujetándolo con una tuerca para fijar el ángulo deseado.

Se hizo una inspección a los diseños propuestos por el cliente para verificar la viabilidad de que estos sujetadores pudieran ser fabricados por el método de moldeo por inyección, evitar posibles defectos de fabricación en los componentes, además de que los diseños cumplan con el propósito de su creación.

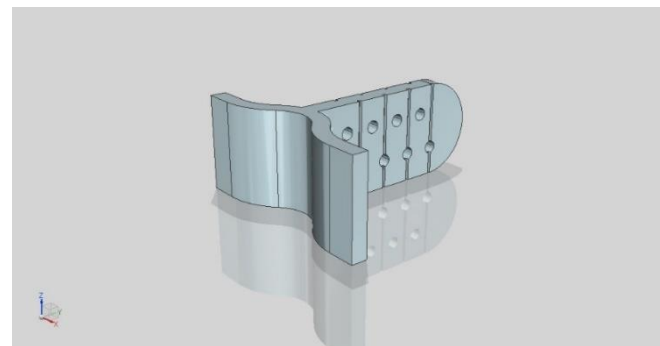
Esta inspección se hizo primeramente de forma visual para encontrar las características del diseño que podrían ocasionar defectos o complicar la fabricación de los componentes, así como la manufactura del molde.

En el modelo del primer componente se puede notar que todas las esquinas son agudas, es decir están a 90 grados, lo que puede ocasionar problemas de concentración de esfuerzos, otro problema presente en este modelo es un espesor que sobrepasa las recomendaciones dadas por la literatura, este espesor es de 18 [mm] cuando el recomendado esta entre 2 y 4 [mm], por último, los orificios en los costados utilizados para la fijación del ensamble, pueden causar dificultades en la manufactura del herramental.



a)

En el modelo del segundo y tercer componente al igual que en el primero, pero en menor medida, presenta una sobredimensión en su espesor tomando como base las recomendaciones dadas en la literatura, estos modelos tienen paredes de 6 milímetros de espesor, que, si bien no distan mucho de los parámetros recomendados, pueden ocasionar defectos en las piezas finales. Por otro lado, tienen esquinas agudas y orificios que complican la manufactura del herramental para la inyección, debido a que se tendría que fabricar un molde con apertura en dos



b)

Figura 3.1. Modelo de los diseños originales propuestos por el cliente para la fijación de bambúes a 90 grados.
a) Componente 1, b) Componente 2

3. Diseño para manufactura

direcciones, aumentando la dificultad de la manufactura además del costo del molde.

De la inspección visual hecha a los diseños propuestos por el cliente, se encontró que estos, aunque pueden ser fabricados por el método de inyección de plásticos, no son completamente viables para tal fin, ya que debido a su diseño estos pueden presentar ciertos problemas, uno de ellos son defectos de fabricación que afectarían el rendimiento de los sujetadores, así como problemas y dificultades en la manufactura de los herramentales para el moldeo de cada componente.

Por lo tanto, se propusieron cambios a los sujetadores tomando como base los parámetros considerados para el diseño de piezas plásticas, se propusieron solo cambios a los modelos y no un rediseño completo debido a que el cliente solicitó no modificar la geometría de los diseños propuestos (Véase capítulo anterior).

Estos cambios se hicieron de tal forma que los componentes tuvieran un mejor rendimiento estructural, fueran factibles de fabricar por el proceso de moldeo, además de facilitar la manufactura de los herramentales (moldes).

Los cambios propuestos para el primer modelo son los siguientes, a la sinusoide base del componente se le redujo el espesor, paso de un espesor de 6 milímetros a 4 milímetros, el largo de la sinusoide no se modificó quedando en 66 [mm], sin embargo, el ancho se redujo de 30 [mm] a 20 [mm] para disminuir la profundidad de la cavidad en el

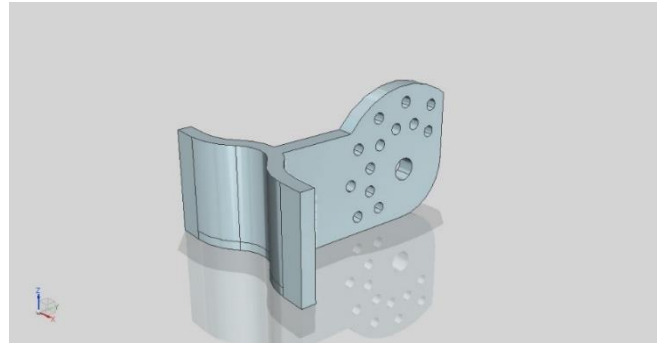


Figura 3.2. Componente 3, modelo del diseño propuesto por el cliente para la fijación de bambúes en un ángulo diferente a 90 grados.

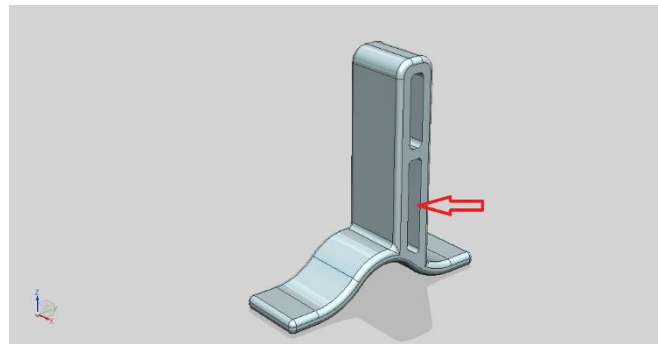


Figura 3.3. Modificación en el espesor de pared del componente 1.



Figura 3.4. Diseño de costillas transversales para aumentar la rigidez del componente 1.

3. Diseño para manufactura

herramental, por su parte el cuerpo se acorto de tamaño de una altura de 81 [mm] a 61.5 [mm], el espesor de pared de esta parte del componente también se redujo de 16 [mm] a 4 [mm], pero debido a que en el diseño original este espesor abarcaba un área muy grande, al reducir este espesor se forma un hueco (flecha roja figura 3.3) que se supone debilitara la estructura del componente, para darle rigidez al modelo y no aumentar el espesor de pared, se propuso agregar dos costillas en diagonal al hueco formado, estas costillas tienen un ángulo de 30 grados con respecto a la horizontal y un espesor de 2.4 [mm].

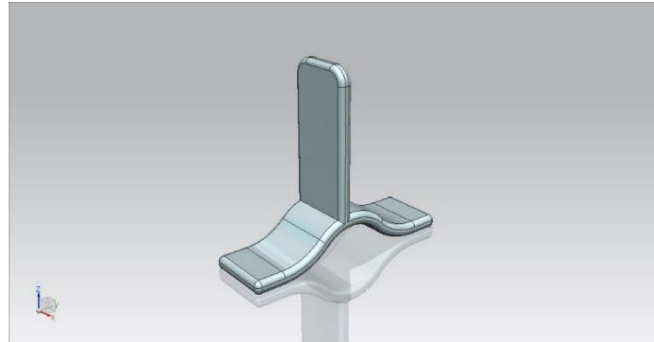


Figura 3.5. Reducción del espesor de pared del componente 2.

Los cantos agudos se redondearon para evitar concentraciones de esfuerzo, mejorar el flujo de la masa fundida, e incrementar la transferencia de calor de la pieza hacia el molde en la etapa de enfriamiento.

Por su parte el segundo y tercer modelo al igual que el primero sufrió modificaciones geométricas, principalmente en los espesores de pared y en las alturas de los postes, los



Figura 3.6. Modificaciones sufridas por el componente 3.

espesores de pared cambiaron de 6 [mm] a 4 [mm] mientras que las alturas de los postes del segundo y tercer modelo, pasaron de 75.9 [mm] a 56 [mm] y de 82.9 [mm] a 62 [mm] respectivamente, así mismo el ancho de los modelos se redujo, pasando de 30 [mm] para el modelo dos y 36 [mm] del modelo 3, a un ancho de 20 y 26[mm] respectivamente. Asimismo, se redondearon todas las esquinas con un radio de 1.578 [mm].

Con el objetivo de facilitar la manufactura tanto de los componentes como de las cavidades del molde prototipo, se optó por eliminar los orificios de los conceptos que servían para el ensamble de los dos componentes, estos orificios se consideró realizarlos en un paso de taladrado posterior al moldeo de los componentes; si se deseara fabricar los orificios mediante el proceso de inyección, se necesitaría implementar el uso de algún dispositivo que permita el movimiento lateral de los corazones o insertos, tal como carros que realizan el movimiento lateral gracias a pernos insertados en el molde, “noyos” los cuales se acoplan en las laterales de molde y mediante cilindros

3. Diseño para manufactura

hidráulicos realizan el movimiento lateral que se requiere, pero ocupar este tipo de dispositivos incrementa considerablemente la dificultad de manufactura del herramental así como el costo de fabricación del mismo.

Al reducir las dimensiones de los diseños, invariablemente se redujo el volumen de cada uno de ellos, por lo cual al fabricar los prototipos se esperó que disminuyeran los defectos de fabricación, además de que con un menor volumen se ocupa una menor cantidad material, que se traduce en un ciclo de inyección más corto, debido a que el tiempo de refrigeración es el que mayor tiempo toma en el ciclo de inyección, por consiguiente si una pieza tiene menor cantidad de material, tendera a enfriarse más rápido, por lo que este ciclo tomará menos tiempo en llevarse a cabo, reducir el tiempo de ciclo tiene la finalidad de fabricar la mayor cantidad de piezas en el menor tiempo.

La reducción de volumen en los conceptos se muestra en la siguiente tabla:

	Volumen original	Volumen modificado	Porcentaje de reducción volumétrica
Componente 1	39,698.444 [mm ³]	15,787.417 [mm ³]	60.23 [%]
Componente 2	20,351.07 [mm ³]	8,778.841 [mm ³]	56.86 [%]
Componente 3	28,194.171 [mm ³]	9,787.552 [mm ³]	65.29 [%]

Tabla 3.1. Cambio de volumen en los conceptos.

3.3 Análisis estructural

Un análisis estructural se realiza para conocer el comportamiento mecánico de algún elemento de interés, este análisis es de gran ayuda pues ofrece una cierta aproximación de los esfuerzos y deformaciones que sufren los elementos al estar sometidos bajo determinadas cargas.

El análisis para este trabajo se realizó ocupando un software de Ingeniería Asistida por Computadora por sus siglas en inglés CAE, en este caso se ocupó el software NX 10.0® de la empresa Siemens.

Se hizo un análisis estático lineal debido a las consideraciones de que los componentes no deben de presentar deformaciones plásticas, es decir, no deben presentar alguna deformación permanente o cambio de forma geométrica al estar sometidas bajo las cargas propuestas, otra consideración es que se despreciaron las fuerzas inerciales debido a que los componentes se encuentran estáticos en su funcionamiento, la única aceleración presente es la aceleración de la gravedad, además se consideraron los modelos como un medio continuo.

3. Diseño para manufactura

Los modelos de cada componente se discretizaron utilizando el método de elementos finitos que es el método que domina la escena de la discretización actual en la ingeniería, el cual se vale de subdividir el cuerpo o dominio sobre el cual están definidas una serie de ecuaciones que caracterizan el comportamiento físico del problema, en un cúmulo de subdominios denominados elementos finitos, que están formados por una colección de puntos representativos llamados nodos, y que al hacer un conjunto se le conoce como malla, esta malla es en donde se realizó los cálculos para la resolución del problema, cabe rescatar que de acuerdo al número de nodos, fueron el número de ecuaciones a resolver.

En cuanto al material para los componentes, se propuso el uso de una poliamida debido a las características tanto del material como las características de funcionamiento de cada componente, ya que cada uno en su funcionamiento están sometidos a cargas momentáneas, debido a que solo sujetan los bambúes mientras se hace el amarre de estos, es por ello que el nylon es una buena aplicación para dichos componentes, ya que al ser un termoplástico cristalino tiene una alta resistencia, es tenaz, además que cuenta con una gran dureza, gracias a estas características el nylon se utiliza frecuentemente en piezas de ingeniería como son rodamientos, engranes, cojinetes, ventiladores, tornillos, piezas de autos, entre otra piezas sometidas a un gran desgaste.

En el laboratorio de procesamiento de plásticos, se cuenta con un nylon de la marca Celanese, con nombre comercial Celstran PA-66, el cual se encuentra reforzado al 30 por ciento con fibra de vidrio, los datos de comportamiento mecánico del material se obtuvieron de la base de datos del Software Autodesk Moldflow Adviser 2017 (MFA) así como de la hoja de datos del fabricante, la gráfica de esfuerzo–deformación mostrada en la figura 3.7 en donde se puede notar que dependiendo de la temperatura del material su comportamiento mecánico puede cambiar, el material presenta un mejor comportamiento a 23 °C, ya que en esta temperatura la pendiente de la recta es mayor lo que nos indica un material con mayor rigidez

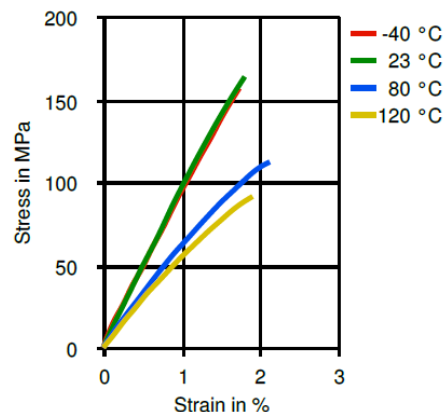


Figura 3.7. Diagrama esfuerzo – deformación del Celstran PA66 GF30 O2 [24].

Los materiales comúnmente utilizados en ingeniería se idealizan con un comportamiento isotrópico pero debido a que el material ocupado en este trabajo está reforzado con una fibra de vidrio, su comportamiento deja de ser isotrópico y se idealiza con un comportamiento de un material anisotrópico ya que sus propiedades cambian dependiendo de la dirección en que son medidas.

Por otro lado, a cada modelo se le asignó una malla en tres dimensiones con elementos en forma de tetraedro, el tamaño de los elementos se fijó automáticamente por medio del software, y posteriormente se refinó la malla para saber cuál es el tamaño de malla que nos proporcionaría los mejores resultados, este proceso de sensibilidad de malla se realizó por medio del software NX 10.0®.

El análisis se caracterizó por fijar el modelo en uno de sus extremos, esta fijación se hizo en el lado en el que el modelo debía permanecer inmóvil, generalmente el lado inmóvil de los modelos es el lado contrario a las sinusoides, mientras que en las sinusoides se aplicó 2 cargas para asemejar la sujeción del bambú, y dependiendo del modelo se aplicó una carga más para representar el peso de una persona promedio, así como el peso propio de los bambúes.

3.3.1 Discretización de nodos y elementos.

Para obtener los resultados que describieran de la mejor manera el comportamiento de los componentes, se realizó un proceso de sensibilidad de malla, es decir se realizaron diferentes simulaciones con diferentes tamaños de malla para conocer cuál es el tamaño adecuado para obtener los resultados que se asemejen mayormente a la realidad. Este proceso se realizó por medio del software NX 10.0®, en cada caso se inició por asignar una malla de forma tetraédrica del tipo CTETRA (10), con un tamaño de elemento asignado automáticamente por el programa. Posteriormente se insertó un ajuste de adaptabilidad el cual permite refinar la malla por medio de un análisis adaptivo, en donde se buscó tener un error mínimo en la energía de deformación, este procedimiento de refinación de malla se hace en una serie de iteraciones establecidas por el usuario restringiendo la longitud mínima de los elementos.

Para los componentes se buscó que el error de la energía de deformación se acercara a un valor relativo del 5 por ciento, para llegar a este error se propusieron dos procesos de adaptabilidad de 5 iteraciones cada uno, en el primero se restringió la longitud mínima de los elementos en 2 milímetros, en dado caso que no se llegara al error permisible, se realizó un segundo proceso de adaptabilidad, pero ahora con una longitud mínima de 1.5 [mm].

3. Diseño para manufactura

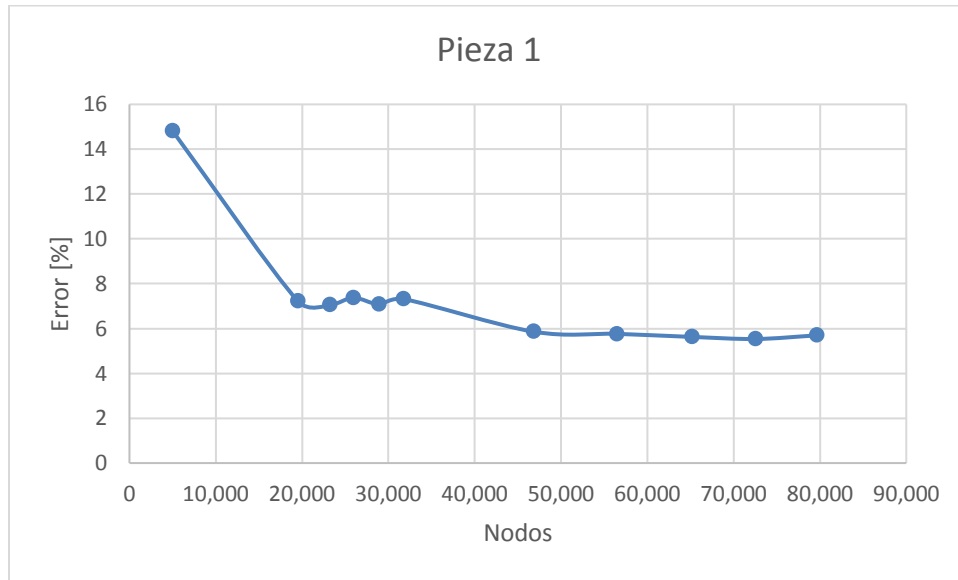
El software para el primer componente proporcionó automáticamente un tamaño de elemento de 6.95 [mm] con un total de 2,520 elementos y 5,006 nodos en la malla. Para la solución inicial se realizó la simulación y se encontró un error de 14.8%, se comenzó el refinado de la malla y en la primera iteración se pasó a un total de 11,231 elementos y 19,595 nodos en la malla, bajando el error a 7.22%, el proceso continuo hasta llegar a la quinta iteración con un total de 18,888 elementos, 31,797 nodos y un error del 7.31% por lo que se decidió hacer el segundo proceso con una restricción de 1.5 [mm] para longitud del elemento, en la iteración número 6 se tuvieron los siguientes resultados: 28,596 elementos y 46,818 nodos con un error del 5.86%, llegando a la iteración 10 con un total de elementos de 50,128 y 79,684 nodos, para esta iteración se obtuvo un error del 5.69%, error cercano al buscado, no se continuo disminuyendo la restricción y se trabajó con esta malla debido a que, si se seguía disminuyendo la restricción, el poder de computo necesario para completar la simulación debía de ser muy alto o la simulación tardaría mucho tiempo en realizarse con el equipo de cómputo con el que se trabajó. Para los demás componentes se realizó el mismo procedimiento, los resultados se muestran en la tabla 3.2 y 3.3.

Componente 1

	Longitud [mm]	Elementos	Nodos	Error [%]
Inicial	6.95	2,520	5,006	14.81
Iteración 1	2	11,231	19,525	7.22
Iteración 2		13,494	23,232	7.06
Iteración 3		15,187	25,971	7.37
Iteración 4		17,059	28,914	7.08
Iteración 5		18,888	31,797	7.31
Iteración 6	1.5	28,596	46,818	5.86
Iteración 7		34,871	56,500	5.76
Iteración 8		40,538	65,173	5.63
Iteración 9		45,396	72,571	5.53
Iteración 10		50,128	79,684	5.70

Tabla 3.2. Datos de sensibilidad de malla para el componente 1 con el diseño original.

3. Diseño para manufactura



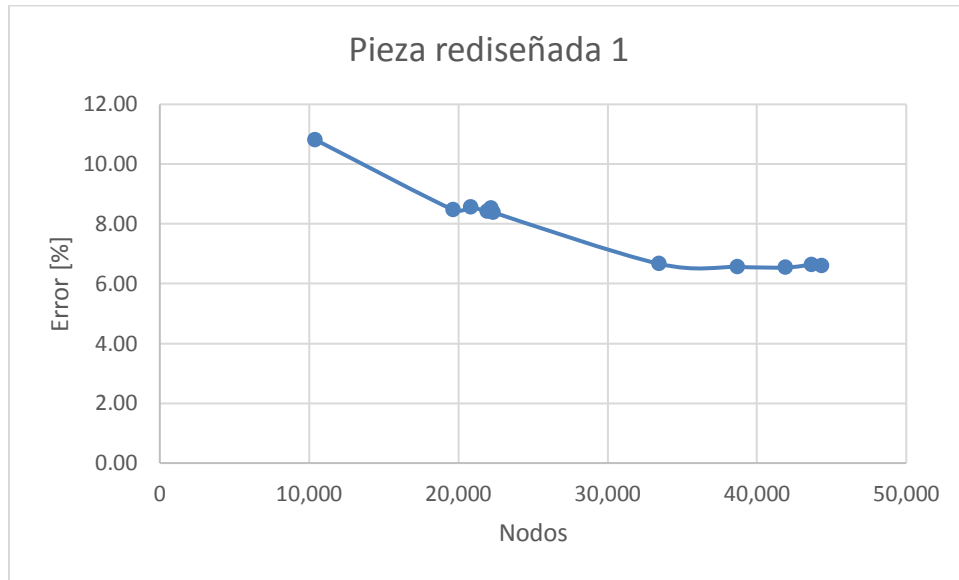
Gráfica 3.1. Número de nodos y porcentaje de error en el proceso de sensibilidad de malla del componente 1.

Componente 1 Rediseñado

	Longitud [mm]	Elementos	Nodos	Error [%]
Inicial	3.82	5,482	10,419	10.82
Iteración 1	2	11,065	19,659	8.47
Iteración 2		11,738	20,840	8.56
Iteración 3		12,410	21,932	8.41
Iteración 4		12,563	22,208	8.52
Iteración 5		12,629	22,342	8.39
Iteración 6	1.5	19,451	33,460	6.66
Iteración 7		22,766	38,687	6.56
Iteración 8		24,862	41,908	6.54
Iteración 9		26,043	43,659	6.63
Iteración 10		26,491	44,346	6.60

Tabla 3.3. Datos de sensibilidad de malla para el componente 1 con las modificaciones de diseño.

3. Diseño para manufactura



Gráfica 3.2. Número de nodos y porcentaje de error en el proceso de sensibilidad de malla del componente 1 rediseñado.

De las gráficas se apunta que para la mayoría de los casos al reducir el tamaño de malla e incrementar los nodos, el error en la energía de deformación disminuye hasta un punto mínimo, en donde tiene a permanecer constante, cuando volvemos a disminuir la restricción del tamaño del elemento, vuelve a caer el error hasta permanecer cercano al error que se está buscando, esto quiere decir que los resultados aunque aún pueden variar, ya no lo harán de forma significativa sino con un rango más ajustado, es por esta razón que una vez teniendo una refinación de malla con un error cercano al deseado, se trabajan con estas para tener simulaciones acordes al poder de computo que se tiene.

El análisis de sensibilidad de malla se hizo para todos los modelos, tanto a los originales como a los que sufrieron modificaciones, los datos de este análisis para los componentes 2 y 3 se pueden encontrar en el anexo 1. Teniendo que para el componente 2 se logró llegar a un error en la energía de deformación del 6.78 % mientras que para el componente 3 se tuvo un error de 9.19%.

3.3.2 Material

Debido a las características del material elegido, y para conocer de una mejor manera el comportamiento del fenómeno, se importaron las características del material a la base de datos del software NX10.0® ya que este en su base de datos solo cuenta con las características de un Nylon sin refuerzo e isotrópico.

Con base a los datos proporcionados por MoldFlow Adviser, se tienen las siguientes propiedades para el comportamiento mecánico del Celstran PA-66, Módulo de Young $E1=9,568.5$ [MPa],

3. Diseño para manufactura

$E_2=6,490.88$ [MPa]; Coeficiente de Poisson $\nu_{12}=0.369$, $\nu_{23}=0.406$; Modulo de corte $G_{12}=2,320$ [MPa].

Datos de las propiedades mecánicas		
Módulo elástico, 1ª dirección principal (E1)	9568.5	MPa
Módulo elástico, 2ª dirección principal (E2)	6490.88	MPa
Coeficiente de Poisson (ν_{12})	0.369	
Coeficiente de Poisson (ν_{23})	0.406	
Módulo de corte (G12)	2320	MPa

Densidad de masa fundida	1.1671	g/cm ³
Densidad de sólido	1.3941	g/cm ³

Figura 3.8. Propiedades mecánicas del Nylon Celstran PA-66.

Como se puede notar se tiene un material que cuenta con 5 propiedades físicas independientes, lo que habla de un material con un comportamiento ortotropico (propiedades mecánicas diferentes en cada dirección de sus ejes), que es un subtipo de los materiales anisotropicos, comportamiento característico de un material reforzado con fibras.

Con estas propiedades se caracterizó el material en la base de datos del software NX10.0® como un material ortotrópico, considerando que el material es homogéneo, cabe resaltar que para esta caracterización en el programa se tuvieron que insertar las propiedades del material en las 3 direcciones del plano, por lo que se ocuparon las relaciones constitutivas para conocer las propiedades que hacían falta.

Figura 3.9. Ventana para la caracterización de un material ortotropico en el software Nx 10.0®.

3. Diseño para manufactura

Sabemos que, para un material transversalmente isotrópico, se tiene un eje de simetría, y entonces, las ecuaciones empleadas fueron:

$$E_2 = E_3 \quad G_{12} = G_{13} \quad \nu_{12} = \nu_{13} \quad \text{y} \quad G_{23} = \frac{E_{2=3}}{2(1+\nu_{23})}$$

Por lo que
$$G_{23} = \frac{6,490.88 \text{ [MPa]}}{2(1+0.406)} = 2,308.28 \text{ [MPa]}$$

Los datos obtenidos se guardaron en la base de datos del programa para posteriormente hacer uso de ellos.

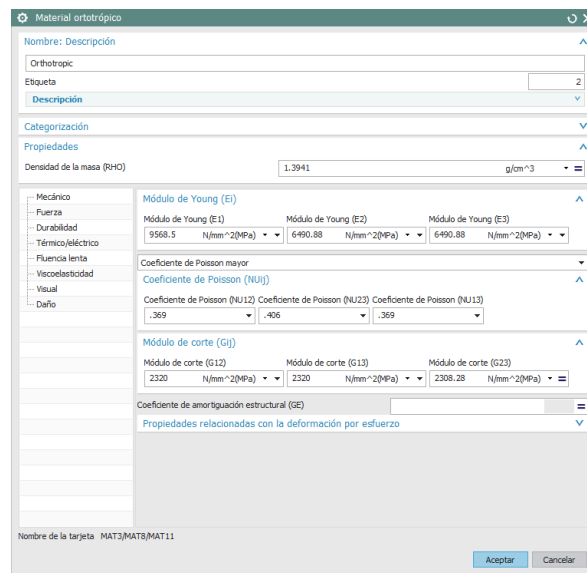


Figura 3.10. Caracterización del Nylon Celstran PA-66 de acuerdo a las propiedades deducidas.

3.3.3 Configuración de cargas y restricciones

De acuerdo con cada componente y su funcionamiento en conjunto con los bambúes y las solicitudes del cliente, se caracterizó el acomodo de las cargas y restricciones para simular el funcionamiento de los componentes en operación y conocer el comportamiento mecánico de los mismos.

Para conocer la magnitud de la fuerza que genera la masa de un bambú, se hizo el cálculo del volumen de material que ocupa un tallo de 5 metros de largo, el tallo del bambú de una especie guadua tiene un diámetro de entre 50 a 150 [mm] y un espesor de pared que ronda los 10 [mm]. Además si es secado al aire (18% de humedad) el peso específico del tallo oscila entre los 700 y 850 [kg/m³][14].

Área de un cilindro hueco:

$$A_T = A_1 - A_2$$
$$A_T = \pi r_1^2 - \pi r_2^2 = \pi(r_1^2 - r_2^2)$$
$$A_T = \pi \left(\frac{100^2}{1000} - \frac{90^2}{1000} \right) = .006 [m^2]$$

Masa bambú:

$$W = (5 \text{ m})(.006 \text{ m}^2) \left(\frac{800 \text{ kg}}{m^3} \right) = 24 [kg]$$

El peso de bambú es de 240 [N], sin embargo para la colocación de un bambú se requieren de dos columnas, por consiguiente, dos componentes para su inmovilización en cada extremo del tallo, de aquí es que se puede dividir el peso del bambú en dos (120 [N]) para conocer el peso que soportara cada sujetador.

Una persona en promedio tiene una masa de 70 [kg], lo que en peso se traduce en 700 [N], este peso se aplicara a cada componente pues en este podría recaer todo el peso del trabajador.

Por último la fuerza que interactúa entre el material elástico y los sujetadores para la sujeción de los bambúes, se calculó mediante la ley de Hooke, en la cual se relaciona la constante de elasticidad del resorte y la elongación del mismo. Se propuso un resorte tensor de hule para realizar la sujeción de los bambús, mediante un análisis experimental se determinó que la constante de elasticidad del resorte propuesto es de 500 [N/m], se propone que el elástico tenga una longitud inicial de 100 mm y se tenga una elongación de 164 [mm].

$$F = \left(500 \frac{N}{m} \right) \left(\frac{164 \text{ m}}{1000} \right) = 82 [N]$$

Cabe aclarar que debido a las restricciones de manufactura que se tuvieron (portamolde y máquina de inyección), los componentes en el presente trabajo tienen una dimensión menor que los productos para el trabajo en campo.

Las fuerzas ocupadas en para el análisis fueron:

$$\text{Peso de una persona: } \frac{700 [N]}{4} = 175 [N]$$

3. Diseño para manufactura

$$\text{Peso de bambú (5 [m]): } \frac{120 \text{ [N]}}{4} = 30 \text{ [N]}$$

$$\text{Fuerza de resorte: } \frac{82 \text{ [N]}}{4} = 20.5 \text{ [N]}$$

Para el primer modelo debido a la característica de funcionamiento del mismo, se propuso una restricción de movimiento fija en la parte donde se acopla el tallo de bambú (zona azul) pues se espera que esta zona permanezca inmóvil cuando el componente este en contacto con el tallo, también una fuerza provocada por el peso del bambú más el de una persona promedio (flecha 1, Fig. 3.11) de 205 [N], así como otras dos fuerzas provocadas por elástico al fijar el bambú en los componentes (flecha 2, Fig. 3.11) de 20.5 [N].

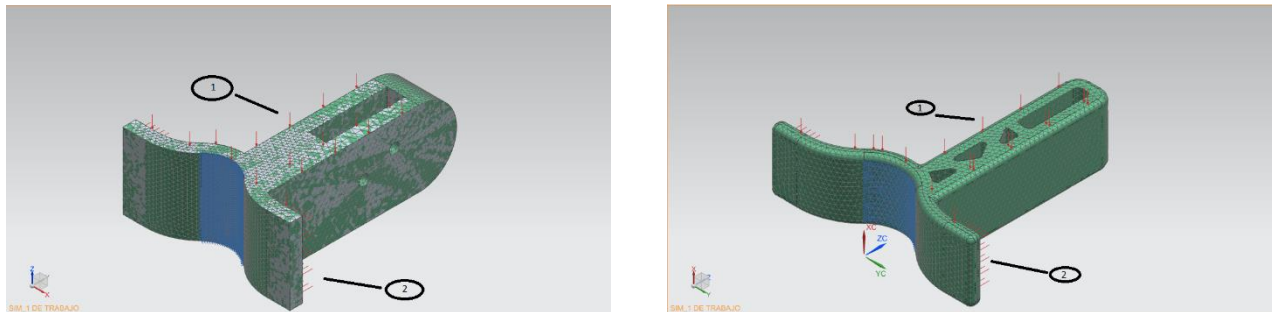


Figura 3.11. Configuración de cargas y restricciones para la pieza 1, el modelo original en el lado izquierdo y el modelo rediseñado en el lado derecho.

En el segundo modelo figuraran las mismas fuerzas que estuvieron presentes en el primer modelo pero debido a la diferente orientación que tendrá cada componente al estar en funcionamiento diferirán las fuerzas con respecto a cada modelo, la restricción de movimiento para este caso, fue en la zona donde se realiza el ensamble con el componente anterior (zona azul Fig. 3.12), en la zona sinusoidal que es donde se apoya el tallo de bambú, se colocaron las fuerzas debido al peso de la persona y del bambú, así como la fuerza de apriete que se genera debido a la sujeción del tallo con el elástico. También se consideró la fuerza de reacción provocada por el elástico al estar anclada al componente (flecha 2, Fig. 3.12). Todas las fuerzas se insertaron con la magnitud explicada anteriormente.

3. Diseño para manufactura

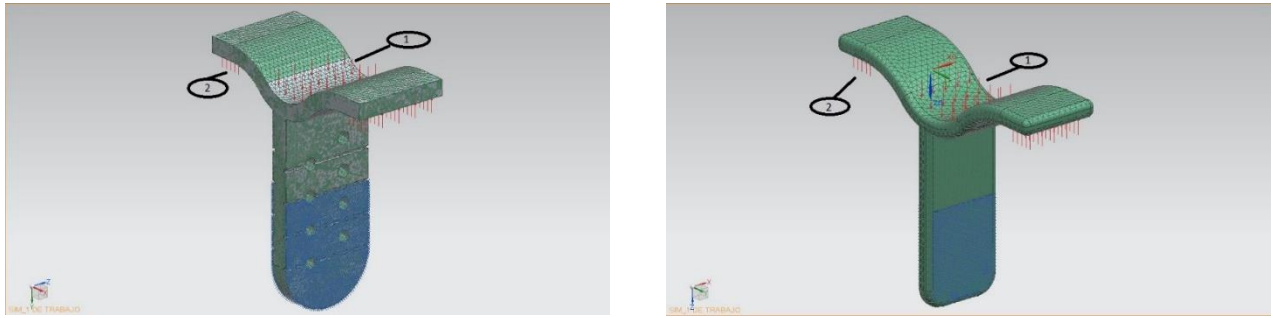


Figura 3.12. Configuración de cargas y restricciones para la pieza 2, el modelo original en el lado izquierdo y el modelo rediseñado en el lado derecho.

Por último, en el tercer modelo se tomó la zona de restricción fija en el lugar donde se empalman los dos modelos para realizar el ensamble, se ocuparon dos fuerzas para simular la fijación del bambú al sujetador (flechas 1 y 2 fig. 3.13), y otra fuerza que está actuando a 45 grados en la cara superior del modelo, esta fuerza simuló el peso de una persona promedio y el peso mismo del bambú, en este caso se colocó en esa dirección ya que este sujetador trabajará en un ángulo diferente al de 90 grados, para simplificar el análisis, esta fuerza de 45 grados, se proyectó y se descompuso en los dos sentidos que actúa la fuerza quedando en la dirección de las flechas 1 y 3 mostradas en la figura 3.13.

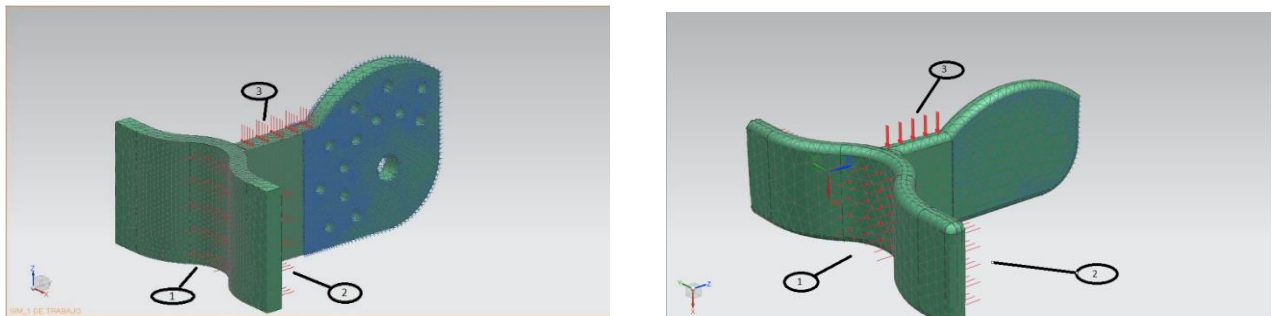


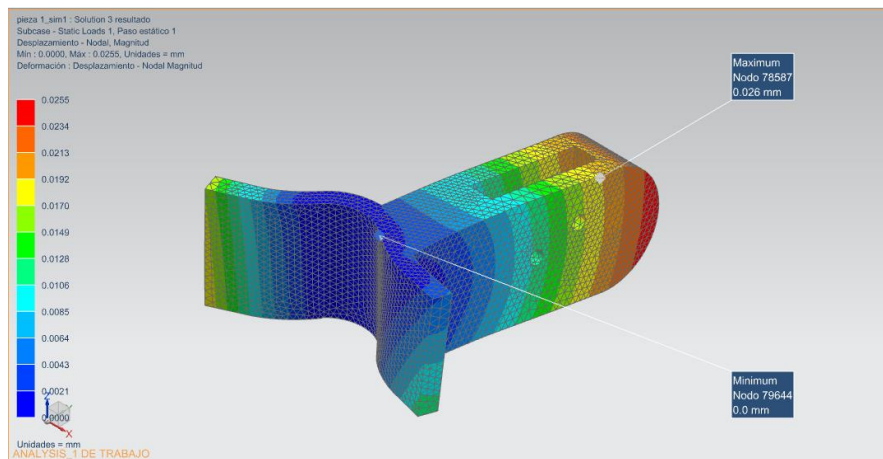
Figura 3.13. Configuración de cargas y restricciones para la pieza 3, el modelo original en el lado izquierdo y el rediseñado en el lado derecho.

3.3.4 Resultados del análisis estructural

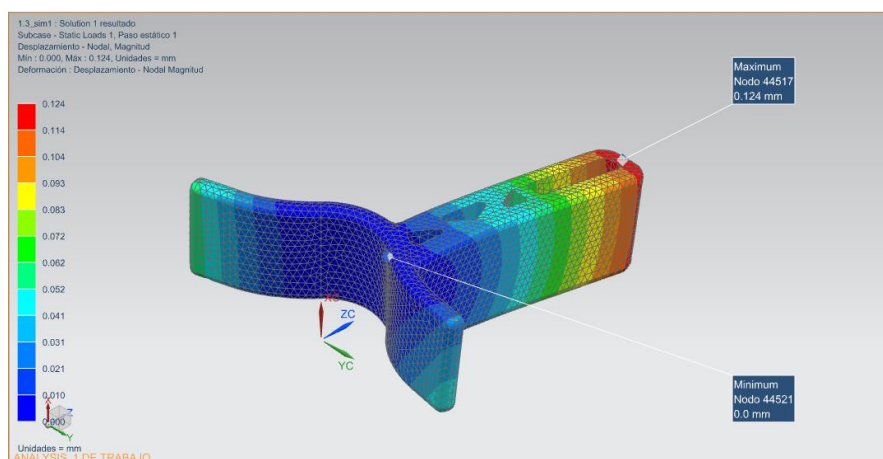
Modelo 1

Desplazamiento

El modelo 1 (figura 3.14) del diseño original al estar solicitado con las cargas propuestas presento un desplazamiento máximo de 0.025 milímetros, mientras que el modelo rediseñado se desplazó como máximo 0.124 milímetros, si bien entre los dos modelos hubo una marcada diferencia en los desplazamientos, el desplazamiento más grande (0.124 [mm]) en comparación con la dimensión mínima del modelo (4 [mm]), es un desplazamiento que se puede despreciar.



a)

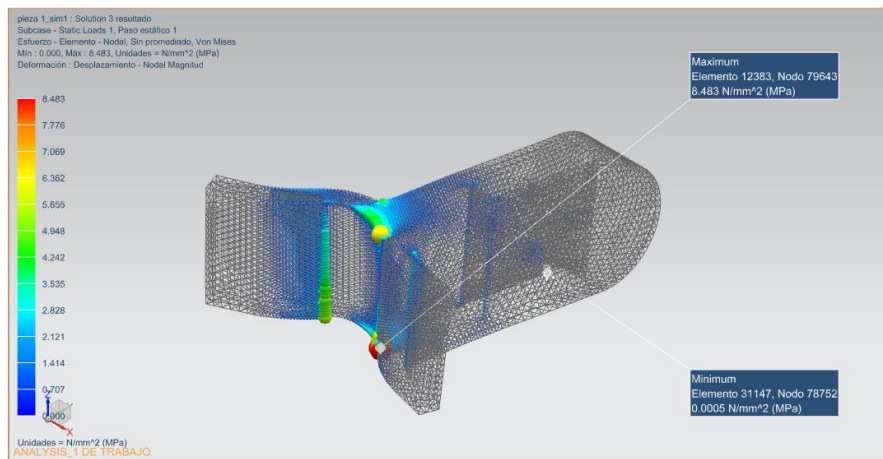


b)

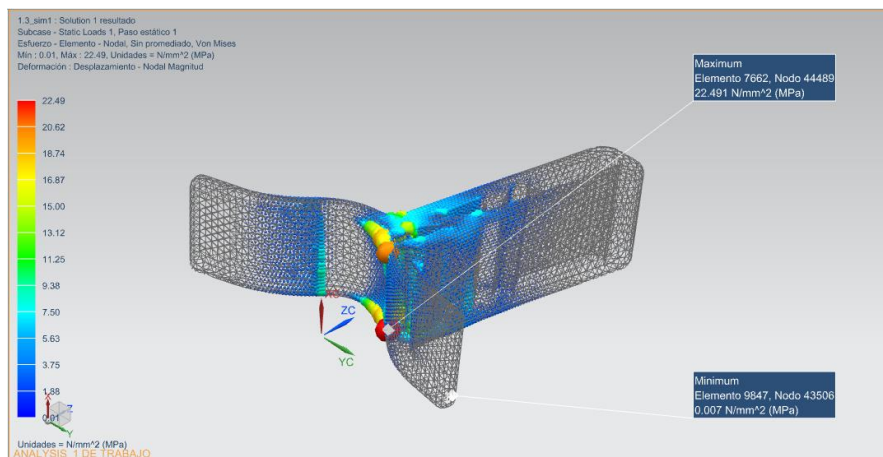
Figura 3.14. Desplazamientos sufridos por el modelo del componente 1 al estar sometidos a las cargas propuestas.
a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

Esfuerzo

En la figura 3.15 se muestra el esfuerzo de Von Mises para el componente 1, se puede notar que, al hacer las modificaciones propuestas, el esfuerzo aumento considerablemente (22.5 [MPa]) con respecto al concepto original (8.48 [MPa]), sin embargo, este esfuerzo se encuentra dentro del rango elástico para un nylon moldeado sin refuerzo de fibras, el cual tiene un esfuerzo de cedencia de 45 [MPa] [17]. Por lo que las modificaciones propuestas para este modelo son aceptables pues no presentarán ninguna deformación plástica con una carga máxima. De acuerdo con este valor de cedencia, el componente 1 tiene un factor de seguridad de 2, lo que indica que la pieza podría soportar 2 veces las solicitaciones planteadas antes de sufrir una deformación plástica.



a)

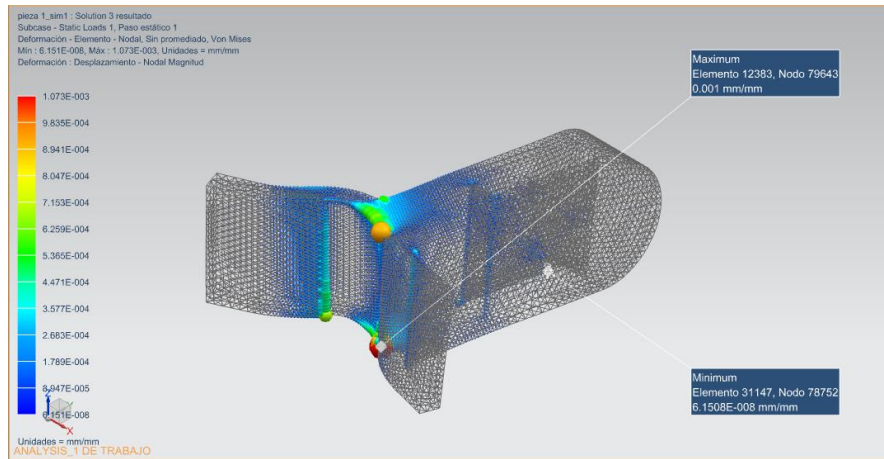


b)

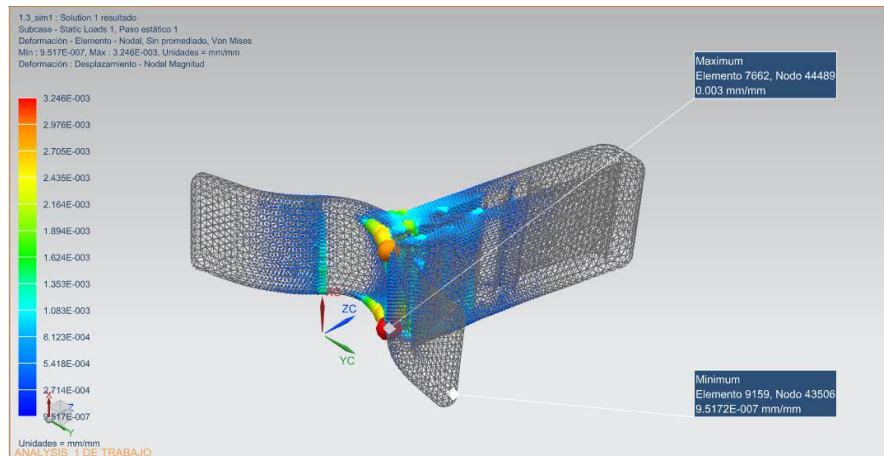
Figura 3.15. Esfuerzos sufridos por el modelo del componente 1 al estar sometidos a las cargas propuestas.
a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

Deformación

Las deformaciones en el modelo 1 (Fig 3.16) se presentaron mayormente en el área donde se realizó la restricción de movimiento pues en el mismo lugar es donde se presentaron los esfuerzos más grandes, sin embargo, para los dos modelos el original y el modificado, las deformaciones son despreciables debido a que estas están en un rango muy pequeño, ya que la deformación más grande para este componente es de 0.00324 [m/m].



a)



b)

Figura 3.16. Deformaciones en el modelo del componente 1 al estar sometidos a las cargas propuestas.
a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

3. Diseño para manufactura

Con estos datos se tiene un punto para validar que las modificaciones propuestas pueden ser ocupadas para la función de este modelo.

Pero debido a que los análisis anteriores se hicieron sin tomar en cuenta los agujeros necesarios para la unión de los componentes, también se hizo un análisis considerando un material Nylon sin refuerzo de fibras, ya que al eliminar dichos agujeros de los modelos no se toman en cuenta las uniones de flujo que se presentan alrededor de cada agujero, esta unión de flujos como se mencionó en el capítulo 2 se conocen como líneas de soldadura, y estas al estar presentes en las piezas reduce el rendimiento mecánico, para tener certeza de que los componentes no fallaran aun cuando se tengan presentes las líneas de soldadura debido a los agujeros, se hizo un análisis como el explicado líneas arriba pero con las características de un material (Nylon) sin el refuerzo de las fibras, por lo cual presenta un comportamiento isotrópico, este material debido a que no tiene refuerzo de fibras cuenta con un desempeño reducido (4,000 [MPa]) respecto al material reforzado, lo que representa una reducción del 40% con respecto al módulo de Young en la dirección principal (9,500 [MPa]).

Desplazamiento

En el modelo de la figura 3.17 se pueden apreciar los desplazamientos que tiene el componente 1 al estar cargado con las solicitaciones mencionadas para un material Nylon sin refuerzo de fibras, este componente se desplazó en su punto más crítico 0.201 [mm], este desplazamiento si bien aumento casi al doble respecto al nylon con refuerzo de fibras (0.124 [mm]), aún se considera pequeño ya que con respecto al espesor del componente (4 [mm]), el desplazamiento esta en diferente rango de magnitud.

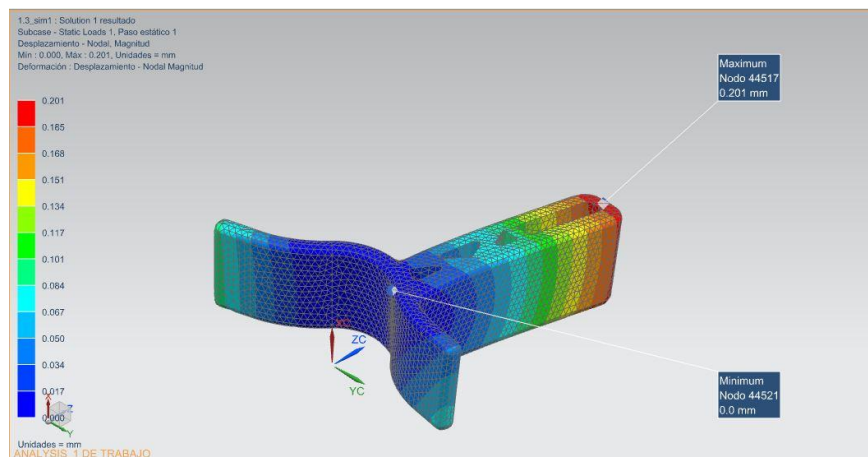


Figura 3.17. Desplazamiento en el componente 1 al estar sometido a las cargas propuestas y material sin carga de fibras.

Esfuerzo

Con respecto al esfuerzo, para este caso se mantuvo dentro del mismo rango que para el material con refuerzo de fibras, incluso tuvo una ligera disminución, paso de un esfuerzo de 22.5 [MPa] para el material con refuerzo de fibras a un esfuerzo de 21.4 [MPa] para el material sin refuerzo, los cuales están por debajo del esfuerzo de cedencia del material el cual es 45 [MPa], para este caso el factor de seguridad con respecto al esfuerzo de cedencia es de 2.1

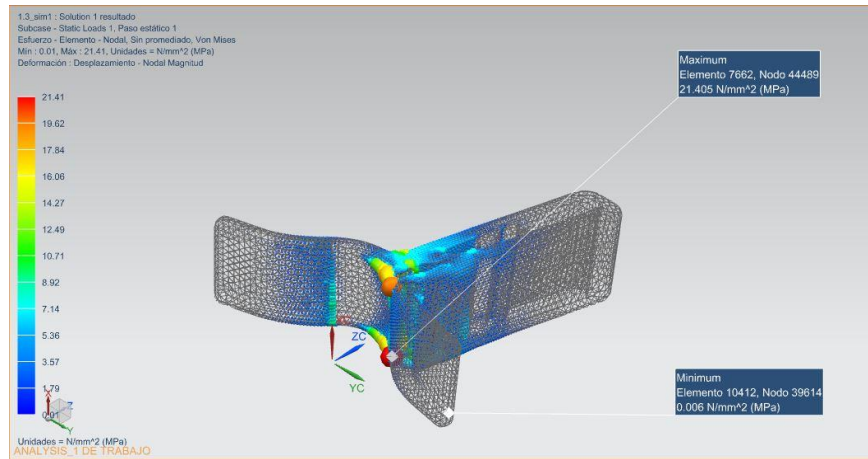


Figura 3.18. Esfuerzos en el componente 1 al estar sometido a las cargas propuestas y material sin carga de fibras.

Deformación

Las deformaciones para este caso al igual que los desplazamientos aumentaron, para el análisis del material con refuerzo se tuvo una deformación de 0.003 [m/m] mientras que para este análisis la deformación aumento a 0.005 [m/m], esta deformación aumentó casi al doble de un análisis a otro, sin embargo esta aún es muy pequeña ya que se encuentra en el rango de los micras.

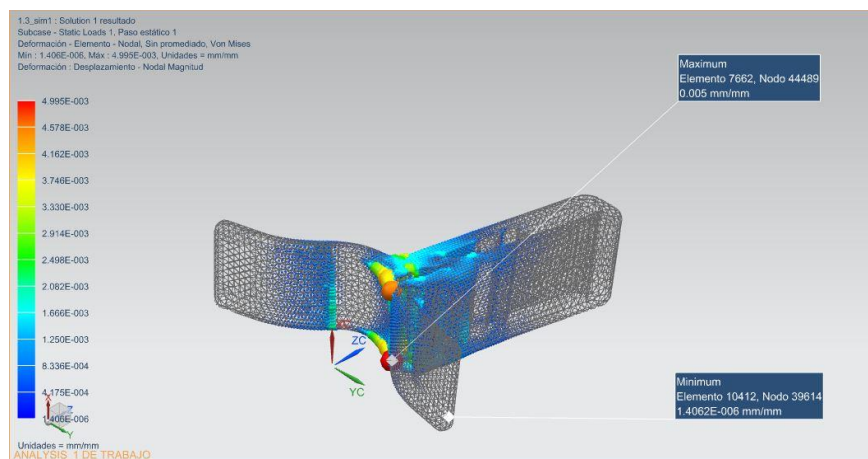


Figura 3.19. Deformaciones en el componente 1 al estar sometido a las cargas propuestas y material sin carga de fibras.

3. Diseño para manufactura

Al comparar los análisis hechos para los dos tipos de material (con refuerzo y sin refuerzo de fibras) ponemos resaltar que para los dos casos los modelos resistirán las solicitaciones propuestas ya que los esfuerzos en cada caso son más pequeños que el esfuerzo de cedencia del material, los desplazamientos y deformaciones se encuentran en el rango de las micras, mientras que el espesor de pared del componente se encuentra en el rango de los milímetros, debido a estas dos consideraciones se asume que las deformaciones del componente estarán dentro del rango elástico, es decir, se espera que no haya deformaciones permanentes en el componente aun cuando las líneas de soldadura o uniones de flujo estén presentes en el.

Otro factor importante que se consideró para este análisis estructural fue la humedad presente en el ambiente, ya que el Nylon es un material hidrofílico, es decir al estar en contacto con humedad tiende a absorber las partículas de agua, esta absorción se da debido a las características químicas de sus elementos. Al absorber agua las propiedades del material cambian, esta absorción se presenta tanto para el material sin moldear (pellets) como para el material moldeado.

Según datos del fabricante del nylon, para el material que se ocupó en este trabajo, la humedad que se absorbe varía con respecto a la humedad relativa y al tiempo en que el material permanece expuesto a esta humedad, en la gráficas de la figura 3.20 y 3.21, se puede observar que mientras más humedad relativa haya en el ambiente, más humedad absorberá el material; con respecto al tiempo, mientras pase el material más días en contacto con la humedad, el porcentaje de contenido de humedad aumentara hasta cierto punto, al llegar a ese punto máximo ya no crecerá y permanecerá constante.

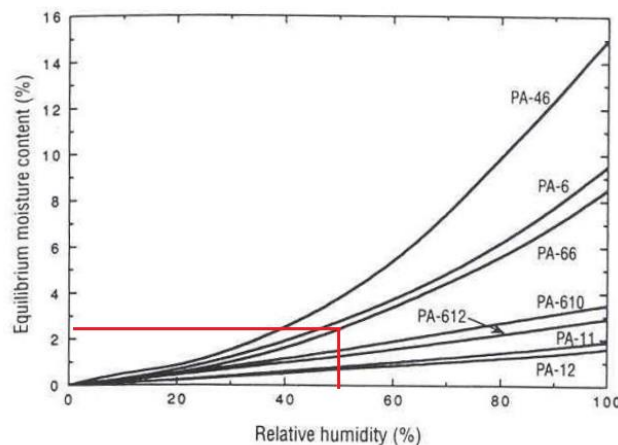


Figura 3.20. Grafica de humedad relativa en el medio ambiente contra contenido de humedad en el material [26].

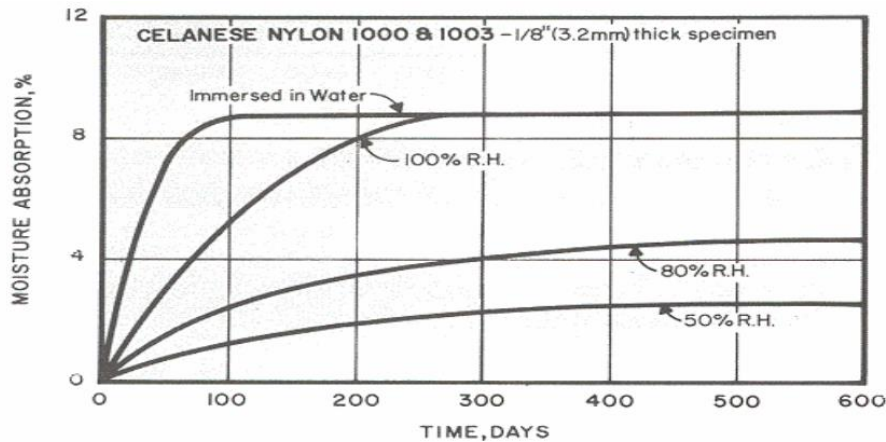


Figura 3.21. Grafica de tiempo en días contra el porcentaje de absorción de humedad del material [26].

En la ciudad de México a lo largo del año se tiene una humedad relativa cercana al 50% [25] y de acuerdo con la figura 3.20 de la figura para esta humedad relativa se tiene un contenido de humedad en el material cercano al 2.5%, mientras que para el mismo valor de humedad relativa se puede notar en la figura 3.21 que pasando los 400 días (1 año) el contenido de humedad en el material ronda el 2%, y de acuerdo con el fabricante para este contenido de humedad en el material (2.5%) el esfuerzo de cedencia se reduce en un 30 por ciento pues paso de 82 [MPa] a 58 [MPa] para el material que se probó [26].

Del análisis que se hizo con el nylon sin refuerzo de fibras se anotó que el componente con este material tuvo una reducción del 40 por ciento en sus propiedades mecánicas, sin embargo aun con esta reducción el componente no presento ruptura ni se deformato plásticamente, por lo que se puede predecir que la humedad no afectara en el rendimiento de los componentes ya que el valor de reducción de propiedades debido a la humedad (30%) es menor al valor de reducción de las propiedades para el material sin refuerzo de fibras (40%).

El análisis estructural y las discusiones hechas para los modelos 2 y 3 se pueden consultar en el anexo 1 del presente trabajo.

3.4 Análisis de flujo

Una vez realizado el análisis estructural, para conocer como los modelos soportaron las cargas requeridas sin fallar, se procedió a hacer un análisis de flujo para conocer el comportamiento del material plástico al llenar las cavidades de cada prototipo a fabricar.

Hacer este tipo de análisis es de gran utilidad pues permite conocer con anticipación las condiciones del comportamiento de la masa fundida al ingresar a la cavidad del molde, si se tendrá

3. Diseño para manufactura

algún problema debido al diseño de los conceptos, o si se puede modificar alguna geometría para obtener una mejor calidad, así como conocer la zona idónea de la pieza para realizar la inyección, además de los parámetros particulares de cada prototipo.

El análisis se realizó mediante el software Moldflow Adviser 2017 de Autodesk, el cual en conjunto con el método de los elementos finitos crea las simulaciones de flujo, este software está orientado a proveer una guía para la manufactura de moldes, así como una retroalimentación acerca del diseño de las partes plásticas.

Con este software se puede conocer diversas características tales como: posición de la entrada, llenado de la pieza, configuración del sistema de alimentación, equilibrado de canales, entre otros.

Con la ayuda de este software se verificó que los cambios realizados a los conceptos originales están hechos de acuerdo con lo planteado por la literatura para poder fabricar las piezas por medio del moldeo por inyección.

Posición del punto de inyección

Mediante el software de análisis de flujo se hizo un estudio para conocer qué zona de la pieza es la más adecuada para colocar el punto por donde ingresara el plástico a la cavidad para la fabricación del componente, para este análisis el software se basa en criterios tales como la geometría de la pieza, el espesor, la viabilidad del moldeo y la resistencia de flujo, el resultado que se produce es el mostrado en la figura 3.22 en el que se muestran las regiones óptimas para colocar el punto de inyección marcadas en color azul mientras que las zonas marcadas de color rojo son las regiones con peor idoneidad para la colocación del punto de inyección.

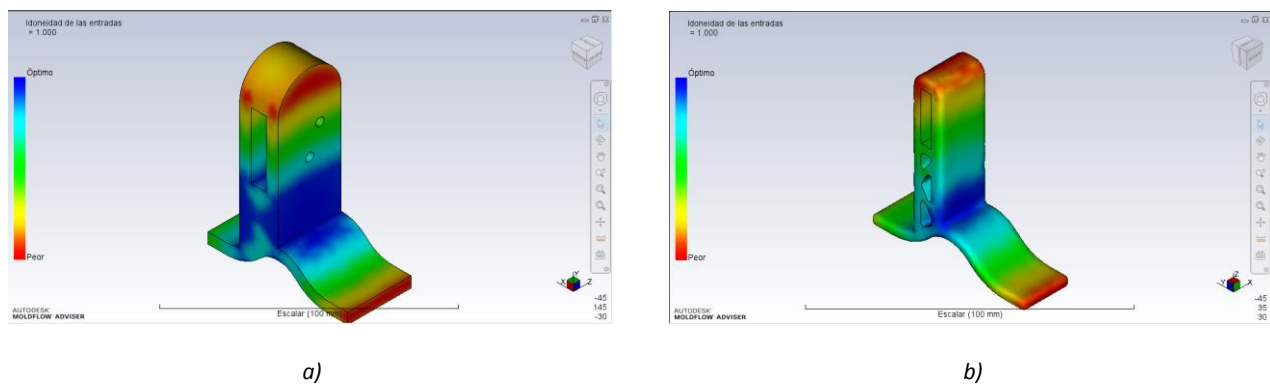
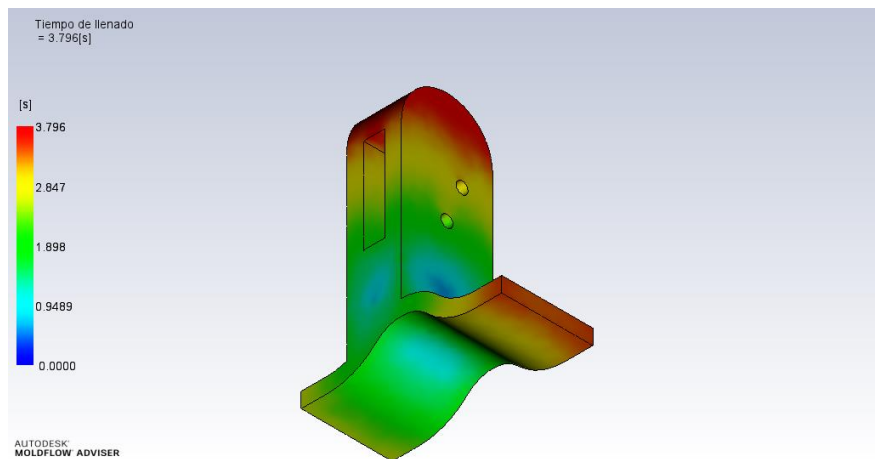


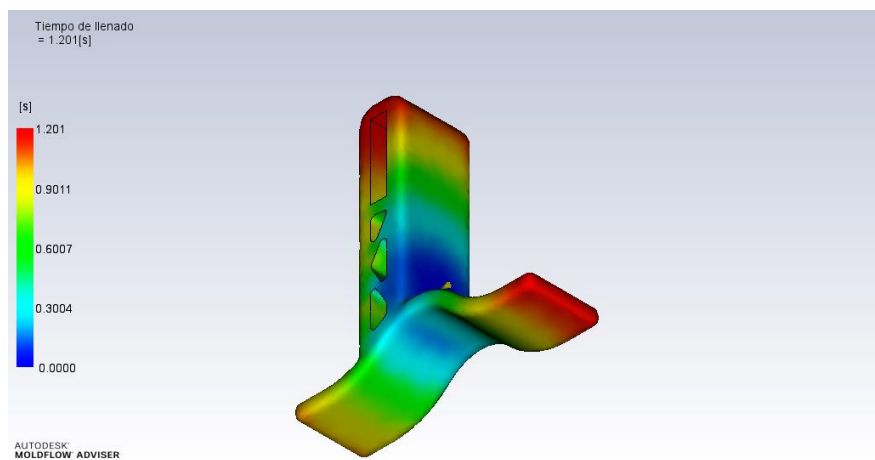
Figura 3.22. Región óptima para la colocación de las entradas para el componente 1.
a) Modelo del diseño original, b) Modelo rediseñado.

Tiempo de llenado

Como se anotó anteriormente, la geometría del componente número uno se redujo y se mencionó que el tiempo de inyección en la pieza tendería a disminuir ya que se ocupa menos material para el llenado de la cavidad, en la figura 3.23 se puede comprobar ya que de acuerdo al análisis hecho, el tiempo de llenado paso de 3.79 segundos para el concepto original a 1.2 segundos para el concepto modificado, en la figura 3.23 la zona de las piezas marcada con el color rojo es el lugar que ocupa más tiempo en llenar las cavidades, por el contrario la zona marcada con el color azul es el lugar en donde la masa fundida ocupa el menor tiempo en llegar.



a)

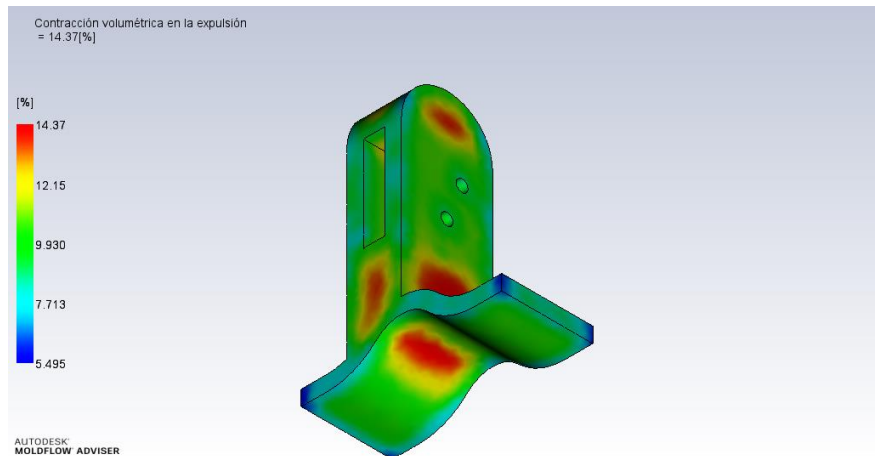


b)

Figura 3.23. Tiempo que toma para llenar las cavidades con el plástico fundido.
a) Modelo del diseño original, b) Modelo rediseñado.

Contracción volumétrica en la expulsión

Reducir material en el concepto original, conlleva en una menor contracción al expulsar las piezas de la cavidad donde serán moldeadas, una excesiva contracción podría ocasionar problemas estéticos en la pieza además de posibles huecos o hundimientos que podrían afectar el desempeño mecánico de la pieza. En este análisis se pudo notar que en el concepto original sufrió una contracción volumétrica máxima de 14.37% que se aprecia en las zonas marcadas con el color rojo de la figura 3.24a, esta contracción aparece en las zonas donde hay una mayor cantidad de material, al reducir material en el concepto rediseñado (figura 3.24b), disminuyó el porcentaje de contracción (14.04%), que si bien en magnitud no disminuyó en gran medida, al comparar los dos análisis se puede notar que se redujeron las áreas de contracción, las zonas que en el modelo original estaban completamente rojas, en el modelo rediseñado se difuminaron hacia un color amarillo, lo que indica que el efecto para el modelo original estaba concentrado en las zonas rojas, mientras que para el modelo modificado este efecto se distribuyó a lo largo de la pieza.



a)

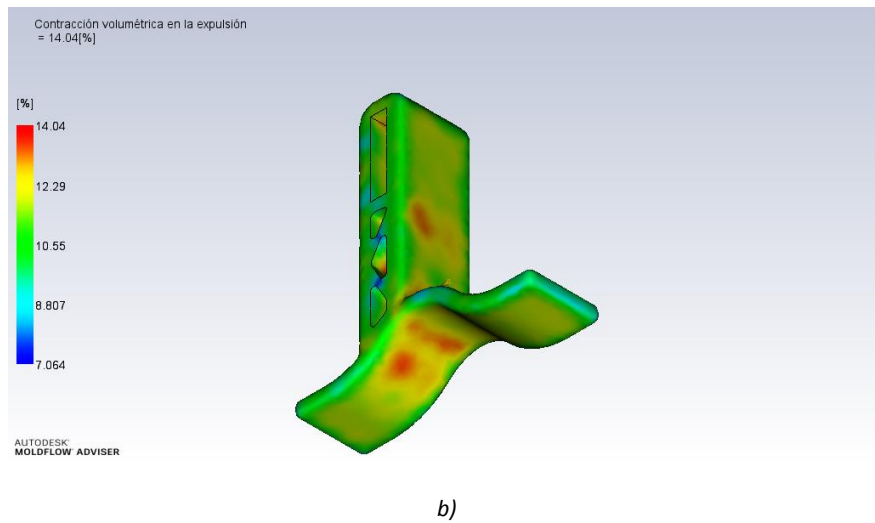
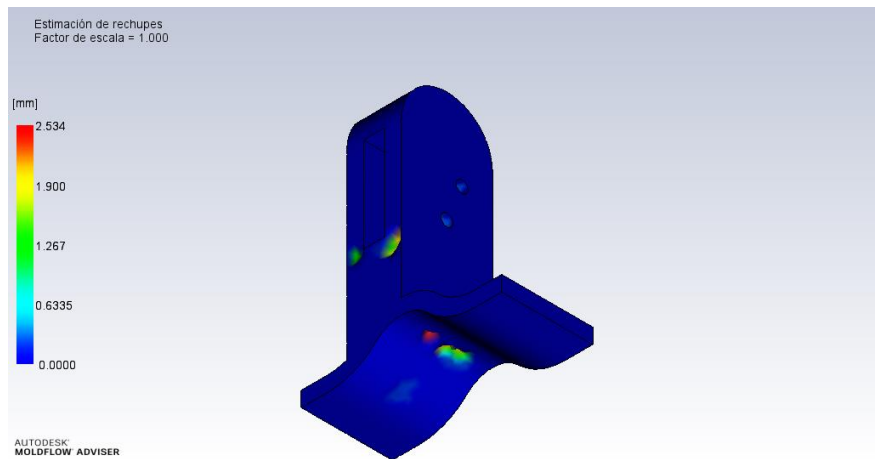


Figura 3.24. Contracción en las piezas inyectadas al expulsarse de la cavidad debido al enfriamiento del material plástico. a) Modelo del diseño original, b) Modelo rediseñado.

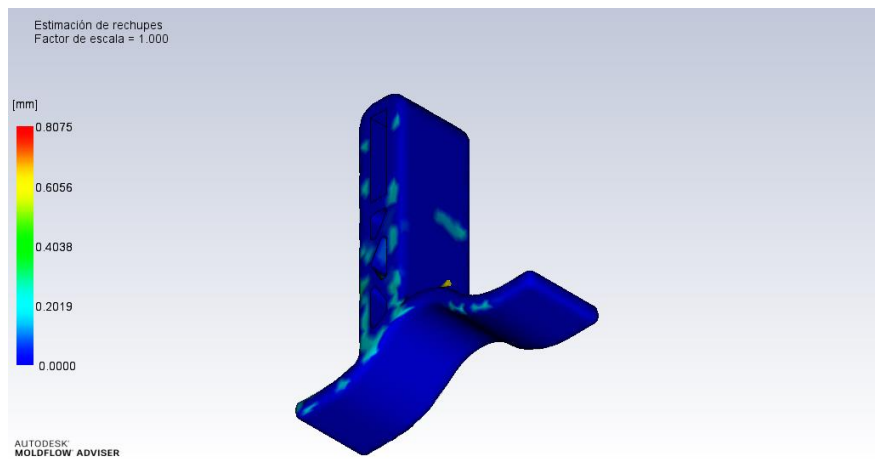
Estimación de marcas de hundimiento

Otro problema que se presentó en el concepto original y que se encuentra relacionado con la contracción volumétrica debido al enfriamiento del material, es la aparición de hendiduras en la pieza, como se puede notar en la figura 3.25, se tenían hendiduras de hasta 2.53 milímetros en el modelo original, que aparecieron principalmente en las zonas donde se tenía una gran cantidad de material, las zonas con una gran cantidad de hendiduras se puede apreciar que en la figura 3.25a, en modelo aparecen hundimientos marcados con un color diferente al azul predominante a lo largo de la pieza. Al reducir el espesor de pared nominal y eliminar la concentración de volumen de material en la pieza, se pudo reducir la aparición de hendiduras hasta en 0.8 milímetros, por lo que mermo la aparición de esta posible falla que pudo afectar el rendimiento de la pieza, en la figura 3.25b se puede notar que las zonas anteriormente hundidas y con colores diferentes al azul, ahora desaparecieron o tomaron un color azul tenue, lo que indica que la formación de hendiduras tiene una magnitud pequeña.

3. Diseño para manufactura



a)



b)

Figura 3.25. Defecto presentes en las piezas que tienen un elevado gradiente térmico en la pieza moldeada.
a) Modelo del diseño original, b) Modelo rediseñado.

El análisis de flujo y los resultados de los modelos 2 y 3, están disponibles para su consulta en el anexo 2 del presente trabajo.

Capítulo 4. Diseño del molde y su fabricación

Una vez que se comprobó que los componentes con las modificaciones propuestas son viables para fabricar por el método de moldeo por inyección de plástico, se analizó la forma de poder llevar a cabo dicha fabricación ocupando los recursos con los que se cuentan en el Laboratorio de Procesamiento de Plásticos de la Facultad de Ingeniería.

En dicho laboratorio se cuenta con una máquina de inyección automática Demag Ergotech pro 50-270, la cual tiene una fuerza de cierre de 50 toneladas. Además de un porta molde compatible con dicha máquina, en el cual se pueden insertar dos placas con cavidades de las siguientes dimensiones, las placas pueden tener una área máxima de 210 [mm] x 115 [mm] así como un espesor de 12.7 [mm], dicho porta moldes cuenta con cuatro pernos botadores para la expulsión de las piezas, ocho orificios roscados para la fijación de las placas como lo muestra la figura 4.1, así como un bebedero para la entrada del plástico con un diámetro de 6 [mm], el molde cuenta con apertura en una sola dirección la cual es perpendicular a la superficie de las placas.

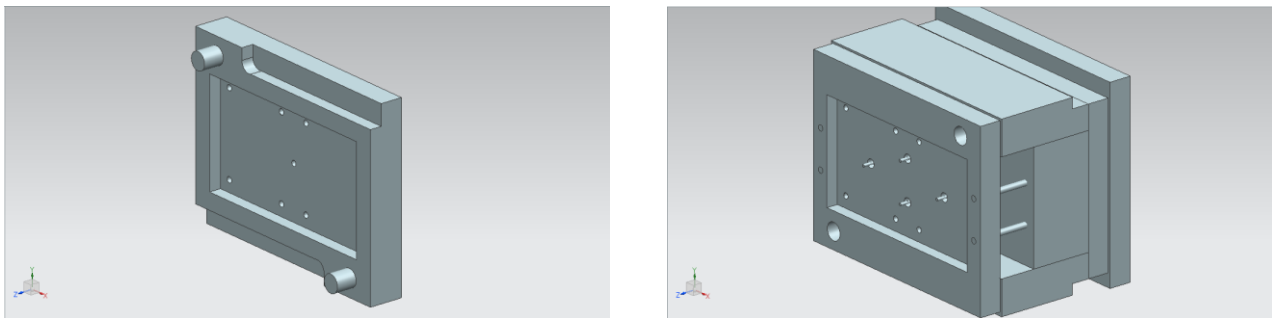


Figura 4.1. Modelo del portamoldes que se tiene en la Facultad de Ingeniería.

Se decidió ocupar el porta-molde debido a que es el recurso que se tiene en el laboratorio de procesamiento de plásticos, si bien se podría fabricar un molde completo para ajustarlo a las necesidades de este proyecto, y que permita tener un mayor rango de operación, esto representa un gasto considerable ya que se tiene que fabricar o comprar el molde por completo. Tomando en cuenta el bajo presupuesto con el que se contó, se consideró ajustar las necesidades del proyecto a las características del porta-molde que se tiene disponible.

Una de las complicaciones presentes en este proyecto radicó en el acomodo de las cavidades en las placas destinadas para este fin, debido a las características de los pernos botadores para la

4. Diseño del molde y su fabricación.

expulsión de las piezas moldeadas, ya que la profundidad disponible para cada cavidad en las placas es de máximo 4 [mm] según González Hernández [12].

Se hizo un análisis para determinar la mejor solución para este proyecto.

4.1 Determinación de la fuerza de cierre.

Se calculó la fuerza de cierre para conocer cuál es la fuerza requerida para llenar las cavidades sin que el molde sufriera una apertura prematura durante el proceso de inyección causando posibles fallas en las piezas fabricadas, para este cálculo se emplearon las áreas proyectadas de los componentes en cada cavidad, además de la presión máxima que ocurre durante la inyección de la masa fundida, estos datos se recabaron de los modelos computacionales así como de las simulaciones de flujo hechas anteriormente.

Esta fuerza que se presenta cuando la masa fundida entra en las cavidades, esta masa es obligada a entrar a las cavidades mediante una presión generada por la máquina de inyección, en el interior de la cavidades la presión aumenta debido a la masa de flujo, esta presión al interactuar con las superficies de la cavidad genera una fuerza que intenta abrir el molde, así esta fuerza se puede calcular mediante el producto del área que ocupa la cavidad por la presión existente durante la inyección del plástico, el área ocupada para el cálculo, es el área proyectada por la cavidad en la superficie del molde perpendicular a la dirección de apertura del mismo.

$$F = P_{cavidad} A_{proyectada}$$

Componente 1

$$F = (7.141 \times 10^6 [Pa]) \times (63.2 \text{ cm}^2) \times \left(\frac{1m}{100 \text{ cm}}\right)^2 = 45.13 \text{ KN} = 4.6 \text{ Ton}$$

Componente 2

$$F = (3.281 \times 10^6 [Pa]) \times (52.08 \text{ cm}^2) \times \left(\frac{1m}{100 \text{ cm}}\right)^2 = 17.08 \text{ KN} = 1.74 \text{ Ton}$$

Componente 3

$$F = (4.60 \times 10^6 [Pa]) \times (60.78 \text{ cm}^2) \times \left(\frac{1m}{100 \text{ cm}}\right)^2 = 27.96 \text{ KN} = 2.85 \text{ Ton}$$

4. Diseño del molde y su fabricación.

De lo anterior se muestra que los valores de fuerza de cierre son inferiores comparándolos con la capacidad máxima de la maquina Demag Ergotech con 50 toneladas de fuerza de cierre, además González Hernández [12], en su trabajo realizó un estudio de funcionalidad al portamoldes que se ocupara en el presente trabajo, en donde determinó que la presión de inyección no debía de rebasar los 24 [MPa] para no sobrepasar la fuerza de cierre de dicha máquina.

Otro parámetro recomendado por González Hernández [12] es que en las placas de cavidades se puede inyectar un volumen máximo de 89.04 [cm³]. Y de acuerdo con los volúmenes de los componentes anteriores, es factible de inyectar dos componentes en cada inserto de cavidades, es decir tener un inserto con 2 cavidades.

Se propuso fabricar dos pares de placas de cavidades para lograr la fabricación de los componentes, en el primer par de placas se planteó fabricar el componente 1 y 2 ya que estos componentes son piezas que son ensambladas una con otra, por lo que con estas placas se tiene un molde de familia.

En el segundo par de placas se planteó fabricar el componente número 3, al igual que en las dos placas anteriores se propone un molde con dos cavidades; Para la utilización de estos sujetadores se necesitan dos componentes para crear el ensamble y hacer la fijación de los bambúes, por esta razón se planteó fabricar dos piezas en un solo disparo para acortar el tiempo de producción.

De acuerdo con González Hernández [12] los pernos expulsores están colocados en cruz a partir del centro de la cavidad porta placas, es por ello que las cavidades a fabricar tuvieron que estar posicionadas sobre estos pernos, para asegurar la expulsión de las piezas de plástico.

Con base en el análisis de flujo hecho con el software Moldflow® y las restricciones presentes en el portamoldes, se planteó el acomodo de las piezas de la siguiente manera.

Los componentes se colocaron a 55.5 milímetros del centro ya que es donde se localizan los pernos botadores, en la imagen 4.2 se pudo notar el tamaño de las placas y la localización de los componentes, así como los puntos de inyección propuestos para la fabricación de las cavidades.

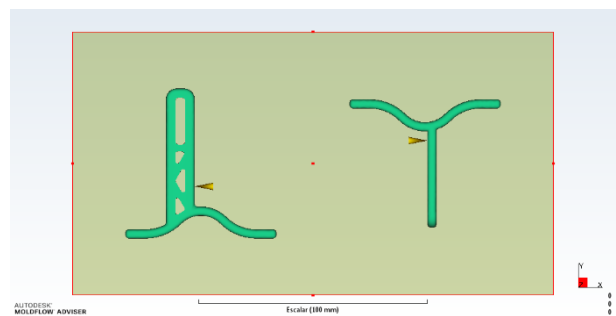


Figura 4.2. Vista frontal del posicionamiento de las cavidades y puntos de inyección propuestos para el molde 1.

4. Diseño del molde y su fabricación.

El plano de partición se muestra en la figura 4.3, el cual está a la mitad de las componentes en un plano paralelo a la superficie de las placas, teniendo las cavidades una profundidad de 10 milímetros, considerando la recomendación de González Hernández, estas cavidades no podrían fabricarse en las placas de 12.7 [mm] de espesor, pues rebasan la longitud recomendada en su trabajo para la profundidad de las cavidades (4 mm).

En el segundo par de placas, la colocación de ambos dispositivos se hizo en el lugar donde se encuentran colocados los pernos expulsores, esto para asegurar la expulsión de cada componente fabricado, los puntos de inyección de los componentes son los propuestos tomando como base los análisis hechos con el software especializado Moldflow®.

El plano de partición se encuentra ortogonal a la superficie de las placas porta cavidades, para la geometría de este componente (componente 3 fig. 3.6) el espesor de las placas propuesto por González Hernández [12] no tienen la capacidad de fabricación de dichos componentes, ya que la cavidad puede tener un máximo de 8 milímetros de profundidad en conjunto y este componente tiene una dimensión de 26 milímetros.

Debido a las características dimensionales de los componentes diseñados, así como las características del porta-molde y sus placas de cavidades, se propusieron distintas soluciones para resolver el problema de profundidad en las placas de cavidades.

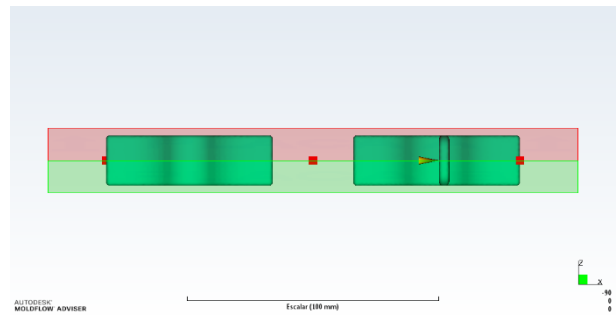


Figura 4.3. Vista inferior del molde 1, donde se puede notar el plano de partición propuesto para el molde.

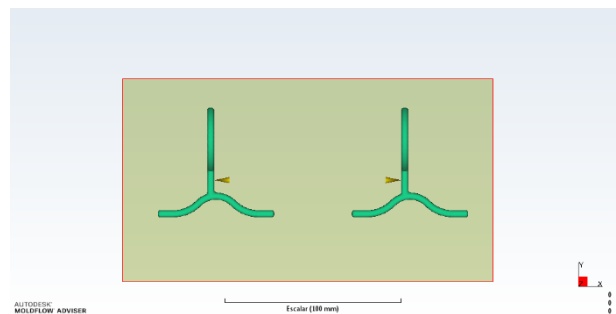


Figura 4.4. Vista frontal del posicionamiento de las cavidades y puntos de inyección propuestos para el molde 2.

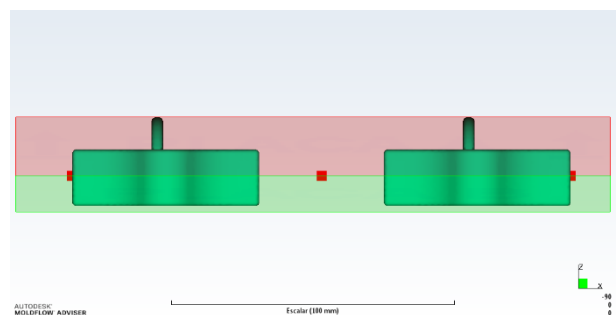


Figura 4.5. Vista inferior del molde 2, donde se puede notar el plano de partición propuesto para el molde.

4.2 Propuestas de solución para el uso del portamoldes

4.2.1 Alternativa 1. Para esta solución, se plantea que los componentes se dividan en dos, inyectarlas por separado y después de la fabricación crear el ensamblaje de dichos componentes para que puedan ser utilizadas con el propósito requerido originalmente. De acuerdo con esta solución se puede ocupar un componente base para los tres componentes, dicho componente base puede ser la geometría que los tres componentes tienen en común, esta geometría es la sinusoide de sujeción de los bambúes, así se plantea fabricar el componente base además de los componentes secundarios para ensamblar y crear cada sujetador.

Se modelaron los conceptos propuestos en el software de diseño y se muestran en la figura 4.6.

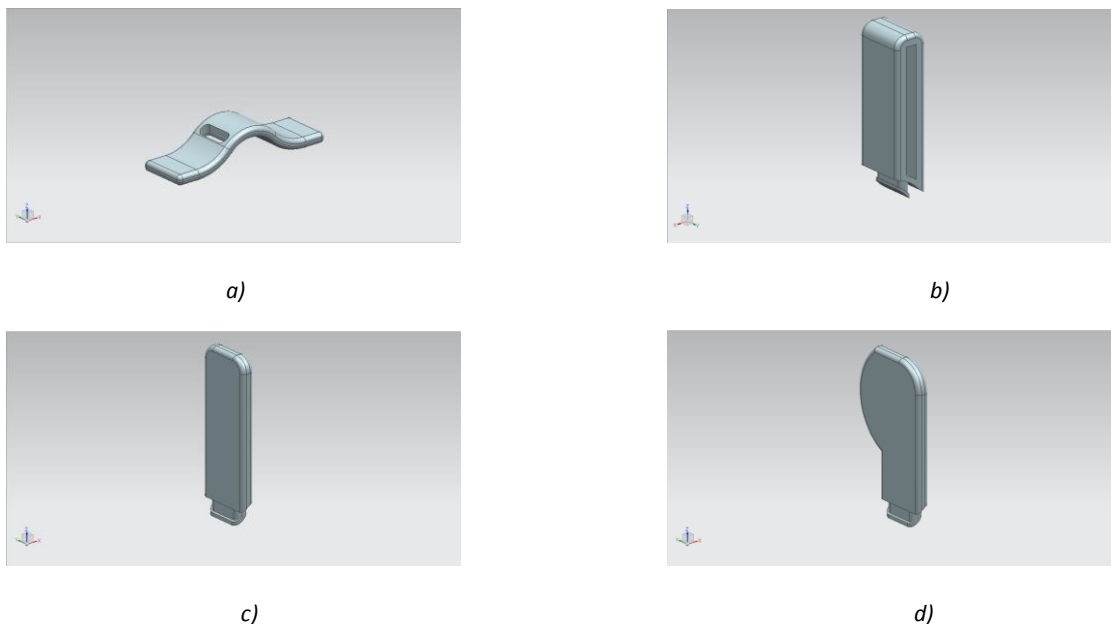


Figura 4.6. Modelos propuestos para la solución para la resolución del problema ocupando ensambles mediante “Press fit”.
a) Modelo base para crear ensamble, b) Modelo secundario para ensamblar componente 1,
c) Modelo secundario para ensamblar componente 2, d) Modelo secundario para ensamblar componente 3.

Se desea que las componentes tengan un ensamble por ajuste, lo que en la literatura se conoce como “press fit”, este método de anclaje ocupa las características elásticas o de tipo resorte que presentan particularmente los plásticos para producir un ensamble de ajuste a presión (Malloy [5]). Las piezas ensambladas por un “press fit” dependen de la interferencia entre dos componentes para mantenerlos unidos entre sí. La principal ventaja de esta técnica es su simplicidad, además de que las piezas no necesitaran sujetadores mecánicos adicionales, como tornillos o pernos de fijación.

4. Diseño del molde y su fabricación.

Para este caso se necesita que el plano de partición este colocado de tal manera que las cavidades puedan cumplir con las restricciones dimensionales anotadas en el trabajo de González Hernández [12], se muestran las propuestas de plano de partición en la figura 4.7.

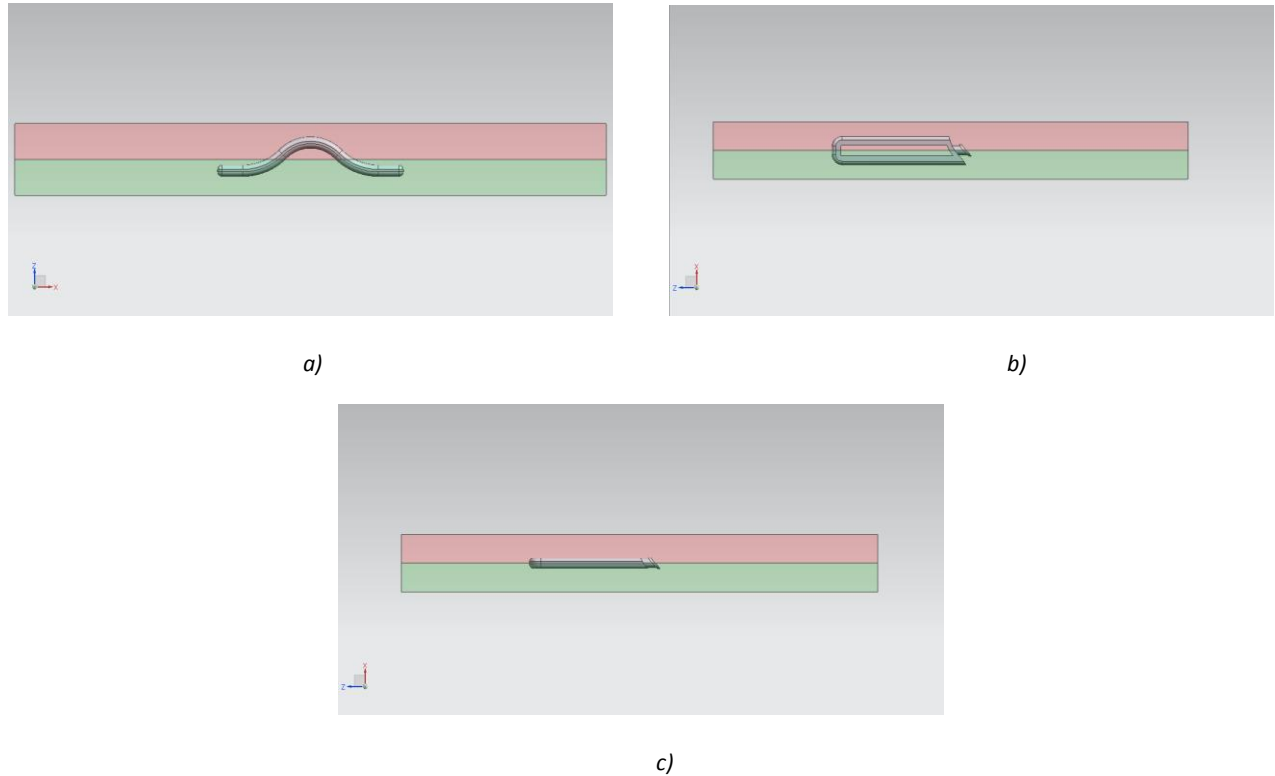


Figura 4.7. Vista inferior de los moldes en donde se muestra el plano de partición propuestos.
a) Componente base, b) Componente secundaria 1, c) Componente secundaria 2.

Si bien para los componentes complementarias de cada sujetador se infiere que el maquinado de las cavidades se facilitara no lo es así para el componente base, ya que, en éste, para la forma en que se plantea, se necesita crear un plano de partición sin una superficie plana, es decir una partición con una superficie curva de acuerdo con la geometría del componente que permita el maquinado de las cavidades.

4.2.2 Alternativa 2. De tal manera de no dividir los componentes y conservarlos en uno solo, se plantea ocupar la primera propuesta para el acomodo de los componentes (Fig. 4.2), pero a diferencia, en esta solución se planea ocupar las placas de cavidades con un espesor mayor al especificado por González Hernández [12], de tal modo que se puedan fabricar cavidades con una mayor profundidad, lo que implica fabricar o comprar pernos botadores a la medida necesaria

4. Diseño del molde y su fabricación.

para expulsar cada componente. Sin embargo, se modificaría la superficie que soporta la fuerza de cierre de la máquina de inyección, ya que, al aumentar el espesor de las placas, el área de contacto será solamente el área que ocupan las placas de cavidades y no la superficie del portamolde entero, por lo que las placas de cavidades sufrirían un mayor esfuerzo que puede provocar una deformación en dichas placas al cerrar el molde.

El inconveniente de esta propuesta radica en las herramientas de corte a ocupar, ya que se tiene que comprar herramientas con una longitud suficiente para alcanzar el corte en la profundidad requerida por cada cavidad, teniendo en cuenta que una herramienta con una longitud de corte mayor representa un costo elevado. Además de que, al aumentar el espesor de las placas, la masa fundida tiene que recorrer una mayor distancia en el bebedero de alimentación para el llenado de las cavidades, por lo que puede presentarse algún problema de atascamiento de la masa fundida o atoramiento de los componentes del lado de la platina fija debido al gran volumen de plástico presente en este lado del molde.

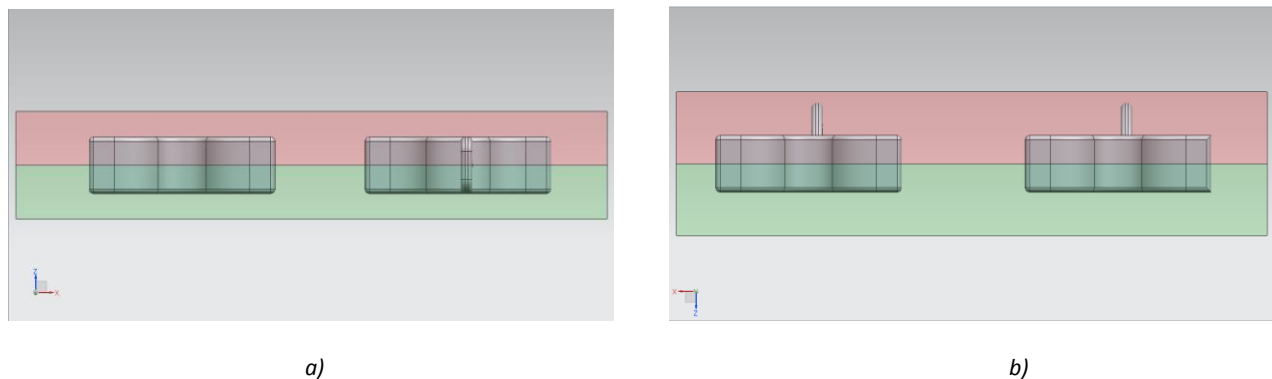


Figura 4.8. Plano de partición propuesto para la solución 2.
a) Propuesta de solución molde 1, b) Propuesta de solución molde 2.

4.2.3 Alternativa 3. Con el fin de trabajar con placas del tamaño diseñado por González Hernández [12] para el portamolde, se propone ocupar 3 placas de cavidades para la fabricación de los componentes, dos de las cuales estarán fijas en los huecos porta placas con el espesor diseñado por González Hernández, y que la tercer placa actúe como una placa flotante, la cual se ocupa para lograr la fabricación de los componentes, ya que dota de mayor área para la manufactura de las cavidades. De esta manera se tienen cavidades menos profundas que facilitan el mecanizado de las placas. Además de disminuir la posibilidad de que los componentes fabricados se queden atorados en la cavidad de la platina fija, si el volumen de los componentes se carga hacia la placa flotante y la placa fija del lado de la platina móvil de modo que el componente se quede entre estas dos y posteriormente se retire. De este modo se tienen dos particiones en el

4. Diseño del molde y su fabricación.

componente y quedaría como se muestra en la figura 4.9. Además debido a que las cavidades ya no tienen una profundidad tan grande se evita el comprar o mandar a fabricar herramienta de corte especializada para la manufactura.

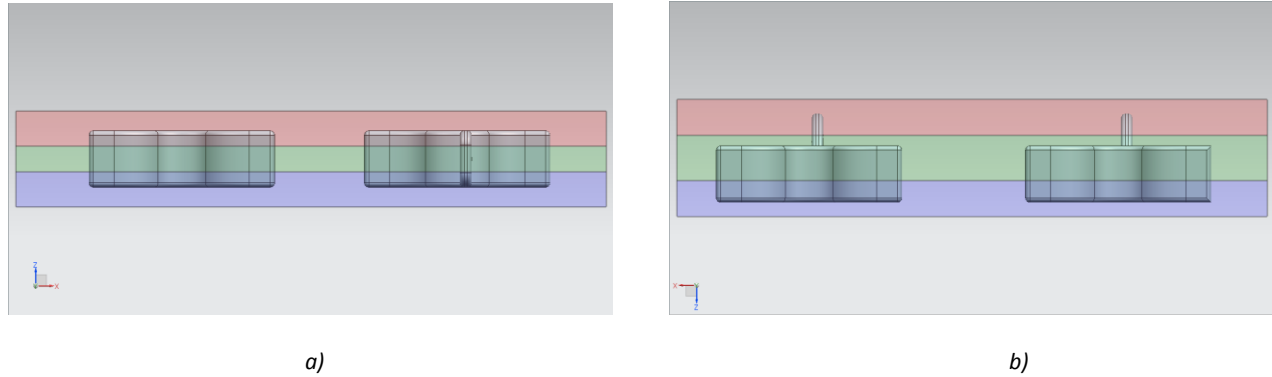


Figura 4.9. Plano de partición para la solución 3 ocupando 2 planos de partición debido al uso de 1 placa flotante.
a) Molde 1, b) Molde 2.

4.5 Toma de decisión.

Con el fin de identificar la solución que se adapte a las necesidades requeridas para este problema, se realizó una ponderación para determinar la solución que tuvo la mayor fuerza entre las tres posibles alternativas, utilizando la herramienta llamada matriz de decisión, se ponderaron diversos factores particulares de la siguiente manera.

Si alguna de las características tuvo un desempeño bueno, obtuvo una calificación de 10, para un desempeño regular se asignaron 5 puntos, y para un mal desempeño 1 punto, la solución que sumó más puntos fue la solución elegida, ya que fue la opción que tuvo el mejor desempeño de acuerdo a los criterios considerados durante la toma de decisión

Criterios/Opciones	Maquinabilidad de las cavidades	Moldeabilidad de los componentes	Expulsión de los componentes	Estimación costo de maquinado	Costo de herramienta	Total
Alternativa 1	1	5	10	5	5	26
Alternativa 2	5	5	1	5	1	17
Alternativa 3	10	5	5	10	5	35

Tabla 4.0.1. Matriz de decisión para la elección de la alternativa.

En este caso la alternativa 3 es la que obtuvo el mayor puntaje en la ponderación, por lo que sobre esta alternativa se trabajó para la fabricación de los prototipos y herramientas.

4. Diseño del molde y su fabricación.

Una vez que se eligió la alternativa se crearon los conceptos y diseños para la realización de las cavidades.

4.6 Propuesta de cavidades

Primeramente, con base en las dimensiones de los componentes se propuso el espesor de la placa flotante, considerando que las otras dos placas debían tener el espesor recomendado por Gonzales Hernández (12.7 [mm]).

Para el primer conjunto de placas, los componentes 1 y 2 tienen una dimensión de 20 milímetros, en conjunto las dos placas de 12.7 milímetros suman 24.5 [mm] que en teoría, las cavidades cabrían con estas dimensiones, sin embargo, se estaría maquinando una cavidad de 10 [mm] por placa y de respaldo en el metal de la placa solamente quedarían 2.7 [mm] lo que podría provocar una falla debido a la presión ejercida por el plástico al llenar la cavidad, para aumentar esta longitud de respaldo en la placa, se propuso que el espesor de la placa flotante fuera de 9 [mm] y las cavidades en las placas sujetas a las platinas de 5.5 [mm] por placa, con un respaldo de metal de 7.2 [mm] por placa.

En el otro conjunto de placas, se planteó maquinar las cavidades del tercer componente, en este la dimensión más grande es de 26 milímetros, por lo que solo dos placas de 12.7 milímetros quedan cortas para el maquinado de las cavidades, se propuso ocupar una placa flotante de 10.8 [mm] para que las cavidades pudieran ser maquinadas.

Posteriormente utilizando el software Moldflow® se simuló la propuesta de los moldes para el diseño del sistema de alimentación que permite el llenado de las cavidades.

Se propuso que los canales de alimentación quedaran entre la placa de la platina móvil y de la placa flotante, con el fin de recargar el volumen de plástico hacia estas dos placas y asegurar que el componente se quede en el lado de la platina móvil y que esta pueda ser expulsada, mediante el mecanismo de expulsión

En Moldflow® se simularon dos placas, de modo que permitiera tener el sistema de alimentación en las placas que se planteó, para el análisis, la placa móvil tuvo el espesor sugerido por González Hernández 12.7 [mm], mientras que en la placa fijase tuvo la suma de los espesores de la placa fija y la placa flotante, este espesor fue de 21.7 [mm] para el primer caso y de 23.5 [mm] para el segundo caso.

De este análisis se logró estimar los parámetros de inyección para cada molde, como son: ventana de proceso, tiempo de inyección, temperatura del molde, temperatura de la masa fundida, presión de inyección, tiempo de enfriamiento, etc. Además de estimar cuáles son los diámetros de los

4. Diseño del molde y su fabricación.

canales de alimentación, las dimensiones de los puntos de inyección, así como el equilibrado de los canales para que las cavidades se llenen al mismo tiempo.

Como se mencionó anteriormente se simularon los modelos de los moldes en el software Moldflow®, se eligió un molde de dos cavidades, cada cavidad se situó sobre los puntos donde están colocados los pernos botadores (a 55.5 milímetros del centro del molde), mostrados en color amarillo en la figura 4.10.

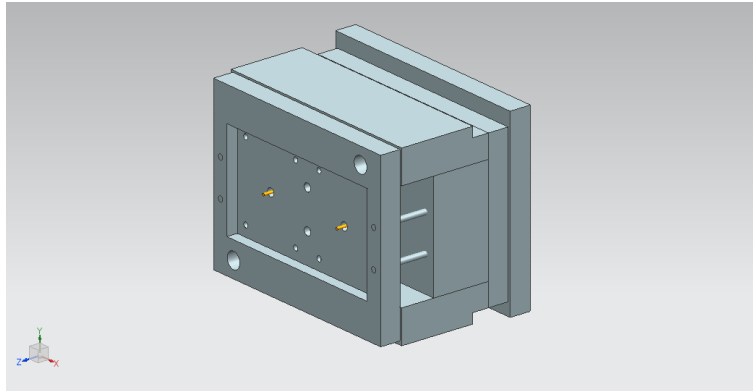


Figura 4.10. Portamoldes de la platina fija en donde se muestran los pernos botadores (pernos amarillos).

Se propusieron los canales de alimentación, ya que el software cuenta con un apartado para la creación del sistema de alimentación, se tomó como base el bebedero de alimentación, el cual se encuentra en el centro del portamoldes, el diámetro de este se propuso de 7.937 milímetros (5/16 de pulgada) ya que la entrada de plástico en el portamolde tiene un diámetro de 6 milímetros, al aumentar el diámetro del bebedero en las placas, se asegura que el material pase a través de estas y se evita que al retirar la presión de inyección, la masa fundida regrese por este conducto y se creen hendiduras en la pieza.

Otro de los parámetros que se tomó en consideración para el diseño de los canales de alimentación son los puntos de inyección, estos se colocaron de acuerdo con el análisis de flujo hecho a cada concepto, en este análisis se muestra en que zona del componente es la zona idónea para colocar dichos puntos.

Una vez ajustadas las geometrías de las cavidades, el tamaño, el espesor de las placas, la posición y geometría del bebedero, así como la posición de los puntos de inyección, además de tomar en cuenta la facilidad de maquinado de dicho sistema de alimentación, se propuso el sistema en el software.

4. Diseño del molde y su fabricación.

Los sistemas de alimentación quedaron de la siguiente manera:

Para el primer par de placas se tiene un bebedero de 7.937 milímetros de diámetro con una longitud de 21.7 milímetros, se propusieron canales de 4.763 milímetros de diámetro hacia los dos conceptos, una longitud de 38.75 y 43 milímetros, el más largo hacia el concepto de la derecha y el corto al de la izquierda (fig. 4.11), las entradas tienen una forma circular con diámetro de 4.763 [mm], y una longitud de 10 [mm].

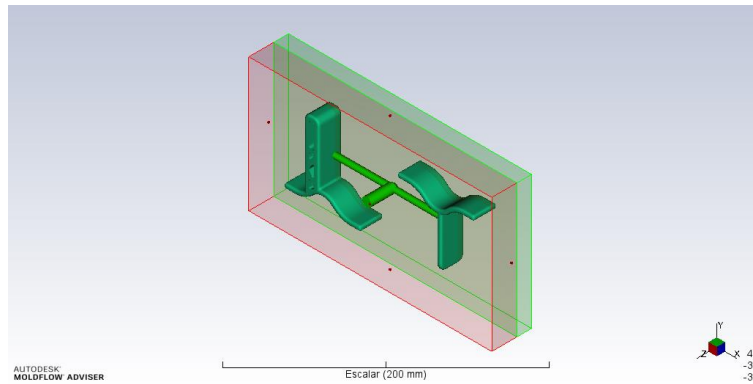


Figura 4.11. Configuración de molde 1 en donde se muestran el sistema de alimentación y las cavidades.

En el segundo par de placas (fig. 4.12) tal como en el primer par tiene un bebedero de 7.937 [mm] de diámetro, pero en este caso, la longitud es de 23.5 [mm], los canales de alimentación tienen un diámetro de 4.762 milímetros y una longitud de 43 [mm] hacia cada cavidad, las entradas son de geometría circular con un diámetro de 4.763[mm] y un largo de 10 [mm].

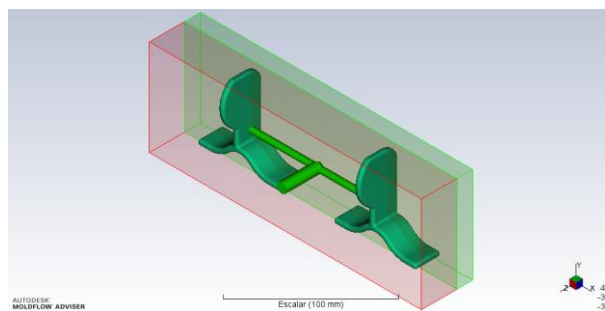


Figura 4.12. Configuración de molde 2 en donde se muestran el sistema de alimentación y las cavidades.

Una vez propuesto el sistema de alimentación, se relizo un analisis para saber si las cavidades de las placas estan balanceadas, y de no ser asi el sotfware proporciona las medidas correctivas para balancear las cavidades.

4. Diseño del molde y su fabricación.

Los canales de alimentación pueden sufrir modificaciones, debido a la diferencia de volúmenes que hay en las cavidades, esta diferencia se puede compensar con los volúmenes de los canales de alimentación y asegurar un equilibrio en los dos lados de las cavidades.

Para el primer par de placas el software recomienda se modifiquen las dimensiones como muestra la figura 4.13, con esta modificación se logra pasar de un volumen original de 1.8130 cm^3 a un volumen equilibrado de 1.8538 cm^3 , y así asegurar que las dos cavidades se llenen al mismo tiempo.


Canales		
Forma	Tamaño del original	Tamaño equilibrado
	ø4.76 (mm) x Longitud 48.75 (mm)	ø4.87 (mm) x Longitud 48.75 (mm)

Figura 4.13. Modificación propuesta por el software MoldFlow® para el balanceo de cavidades.

Sin embargo debido a que las dimensiones que se recomiendan cambiar son pequeñas y que la diferencia de volúmenes entre el original y el equilibrado es mínimo (0.04 cm^3), se tomó la decisión de no hacer esta modificación y dejar los dos canales de alimentación con la misma dimensión diametral con el objetivo de facilitar el maquinado y hacerlo con una sola herramienta de corte.

En el segundo par de placas debido a que las cavidades son las mismas y el sistema de alimentación tiene las mismas dimensiones para cada cavidad, se asume que no hay diferencia de volúmenes por lo que no habrá desbalanceo en las cavidades del molde.

Con las dimensiones del sistema de alimentación fijada, se hace una última simulación de flujo para conocer el comportamiento del plástico con la configuración de los moldes propuestos, y así conocer los parámetros esperados para la inyección de los prototipos.

4.7 Simulación de flujo en la propuesta de cavidades.

Tiempo de inyección.

En la figura 4.14 se puede ver el tiempo que tarda cada cavidad en llenarse por completo, como se puede notar en las partes marcadas con el color rojo son las zonas en donde el material fundido tarda más tiempo en llegar, comúnmente estas zonas son las más alejadas al punto de inyección.

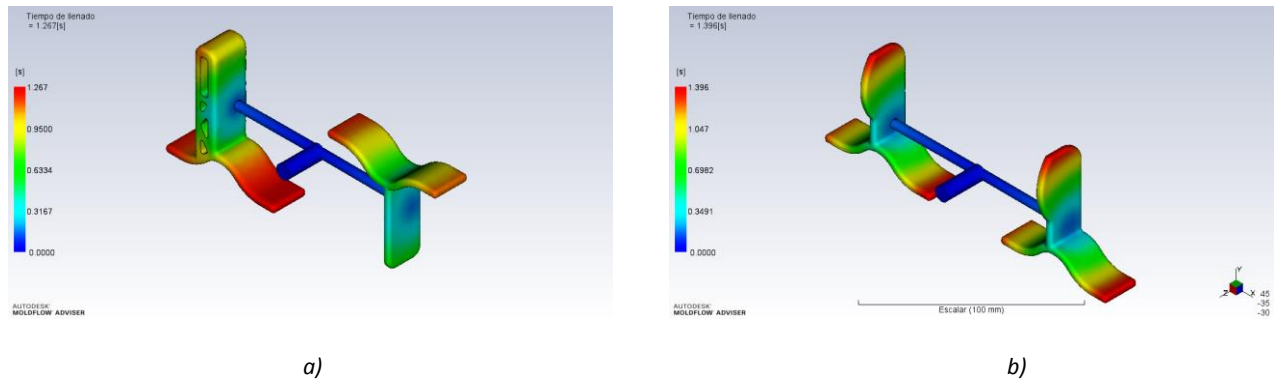


Figura 4.14. Tiempo de llenado.
a) Molde 1, b) Molde 2.

Confianza de llenado.

La confianza de llenado (figura 4.15) nos indica cual es la probabilidad de que el material fundido llene las cavidades del molde, este resultado se deriva de los resultados de temperatura y presión; como lo indica la paleta de colores en la figura 4.15, el color verde nos indica que las cavidades se llenaran fácilmente y la calidad será aceptable, pues la probabilidad de llenar las cavidades es del 100 por ciento.

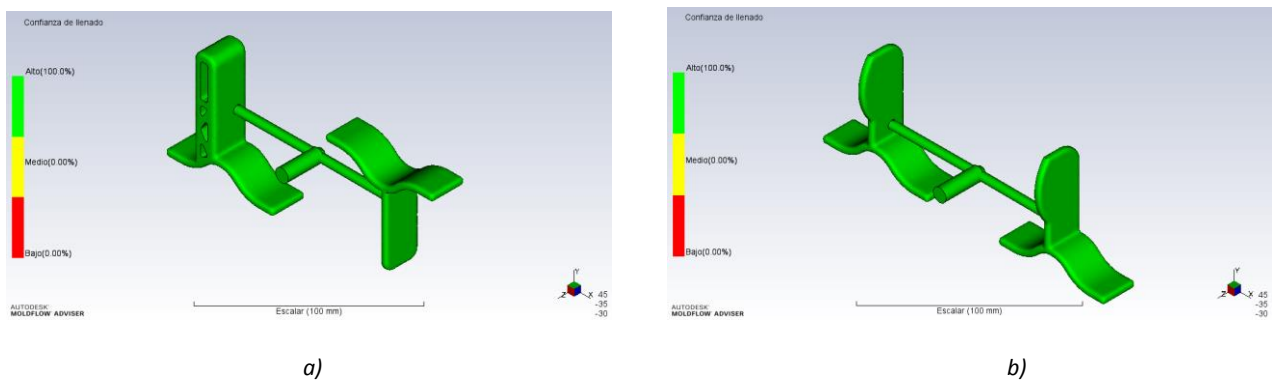


Figura 4.15. Confianza de llenado
a) Molde 1, b) Molde 2.

4. Diseño del molde y su fabricación.

Predicción de la calidad.

El resultado de la figura 4.16 se utiliza para conocer la calidad de las propiedades mecánicas así como de la apariencia del componente, zonas de color verde indica que la calidad del componente será aceptable, y zonas con color amarillo indican que la calidad del componente puede disminuir en estas zonas, sin embargo muchas veces esta baja calidad que marca el software se puede corregir mediante los parámetros de inyección en el proceso.

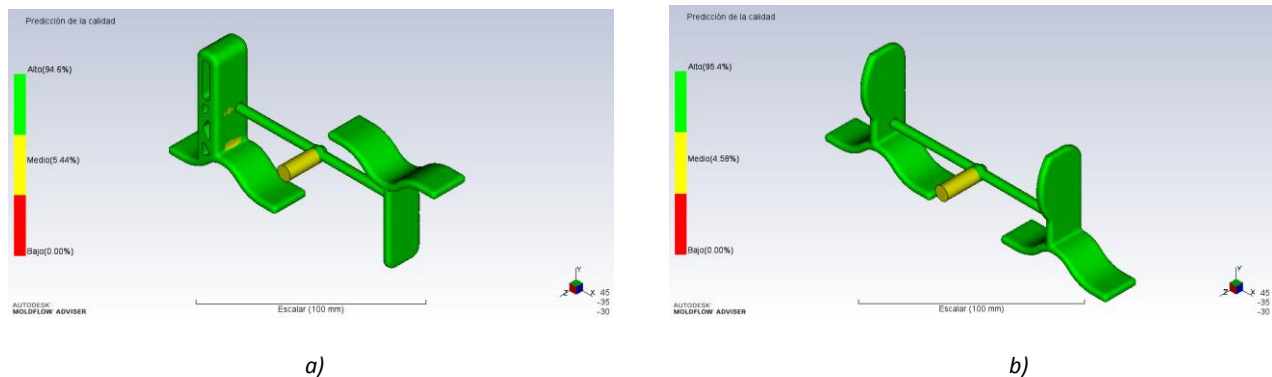
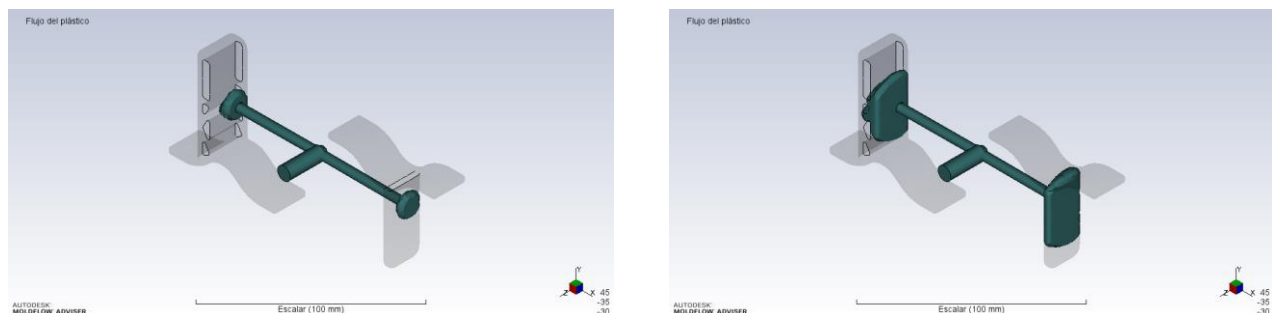


Figura 4.16. Predicción de la calidad en los componentes.
a) Molde 1, b) Molde 2.

Flujo de plástico.

En la figura 4.17.1 y 4.17.2 se muestra como ocurre el proceso de llenado de las cavidades, en las primeras imágenes se muestra como el flujo ingresa en la cavidad, después muestra como el flujo de plástico camina dentro de las cavidades hasta llenar todo el molde, cabe resaltar que en los dos moldes las cavidades están balanceadas ya que el flujo termina de llenar las cavidades al mismo tiempo.



4. Diseño del molde y su fabricación.

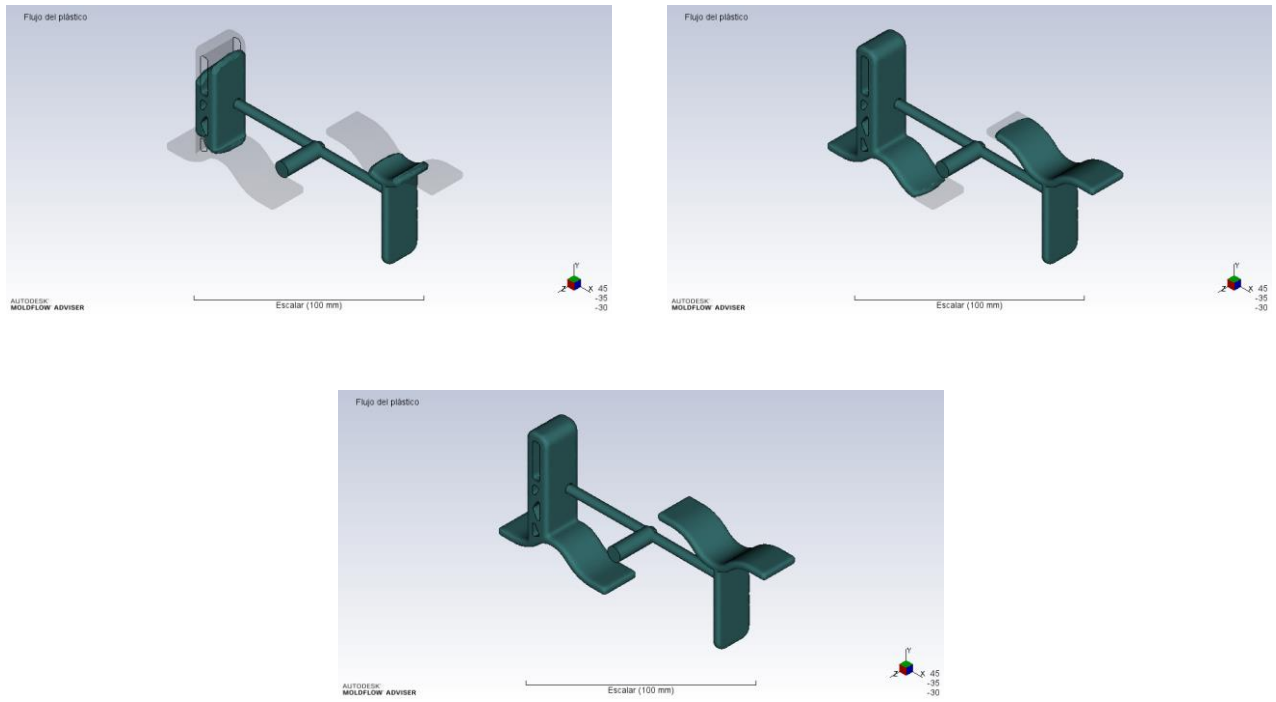
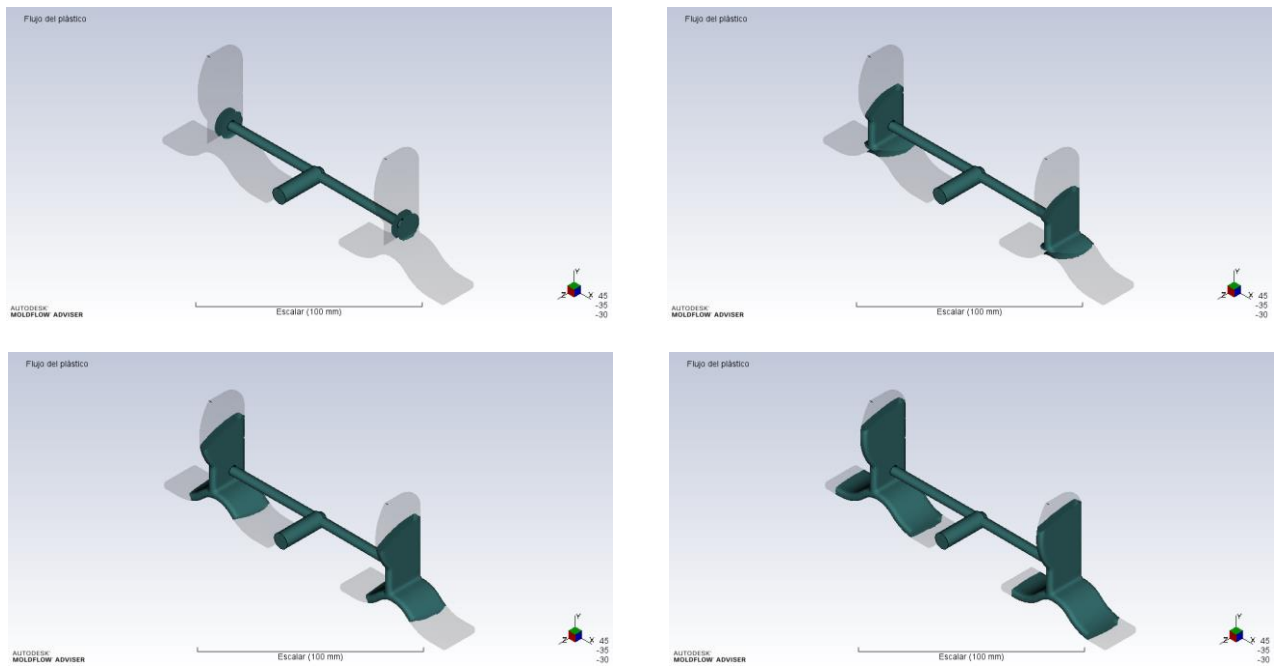


Figura 4.17.1. Proceso de llenado de las cavidades molde 1.



4. Diseño del molde y su fabricación.

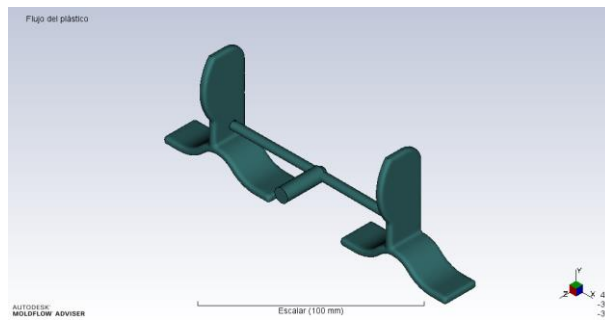


Figura 4.17.2. Proceso de llenado de las cavidades molde 2.

Una vez definida la propuesta de las placas de cavidades para cada molde, ocupando el software de Ingeniería asistida por computadora, se creó el diseño a detalle de los modelos de las placas.

Debido a la utilización de una placa flotante se debía de tener un medio para posicionar esta durante la apertura y cierre del molde, por tal razón se diseñaron dos pernos guía, de tal modo que la placa estuviese posicionada durante este tiempo, estos pernos guía están ubicados en dos esquinas de la placa fijada a la platina móvil.

Para la sujeción de las placas a los huecos del portamoldes diseñados por Hernández Gonzales, este cuenta con ocho agujeros roscados para la fijación de las placas, a las placas se les diseñaron cuatro agujeros además de sus cajas para posicionar los tornillos de sujeción y que estos no interfieran con las otras placas en contacto.

Tomando como base la geometría de los componentes y las dimensiones propuestas en el software de simulación de flujo Moldflow® para el sistema de alimentación, se crearon los modelos de las placas de cavidades en el software de diseño asistido por computadora, obteniendo 3 placas por molde, que en conjunto fabricarán los prototipos rediseñados.

El conjunto de tres placas del primer molde se muestra a continuación.

Placa de la platina fija (fig. 4.18), cuenta con 4 orificios y cajas para la colocación de los pernos fijadores, bebedero, así como un tercio de las cavidades de loa componentes a fabricar.

4. Diseño del molde y su fabricación.

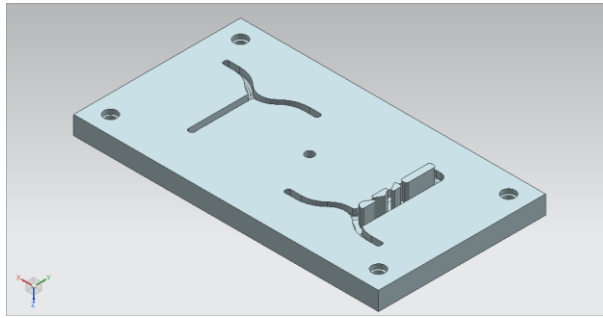


Figura 4.18. Modelo del diseño de la placa de la platina fija molde 1.

Placa flotante (fig. 4.19), tiene la siguiente parte del bebedero, el segundo tercio de las cavidades de los componentes, así como la mitad del sistema de alimentación, cabe resaltar los orificios que sirven como guías para posicionar la placa flotante sobre la placa de la platina móvil.

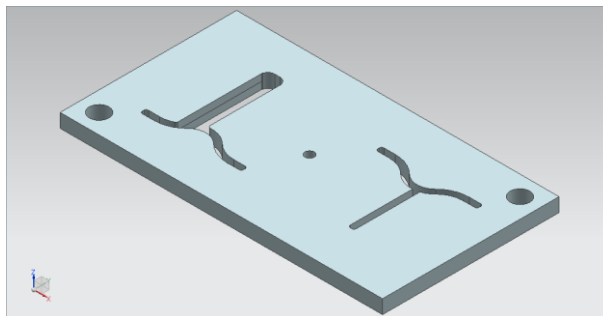


Figura 4.19. Modelo de diseño de la placa flotante molde 1.

Placa de la platina móvil (fig. 4.20), contiene el último tercio de las cavidades, la segunda mitad del sistema de alimentación, los orificios para el sistema de expulsión, los orificios para la fijación de la placa al portamolde, así como dos pernos guías para la sujeción de la placa flotante.

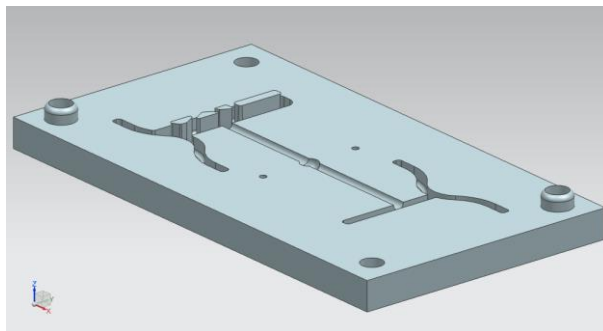
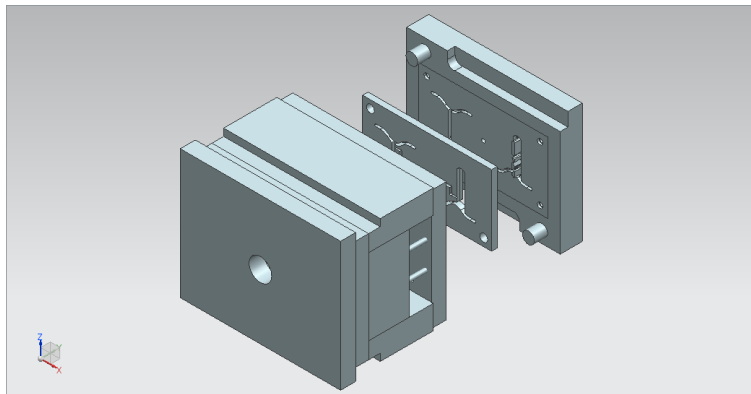


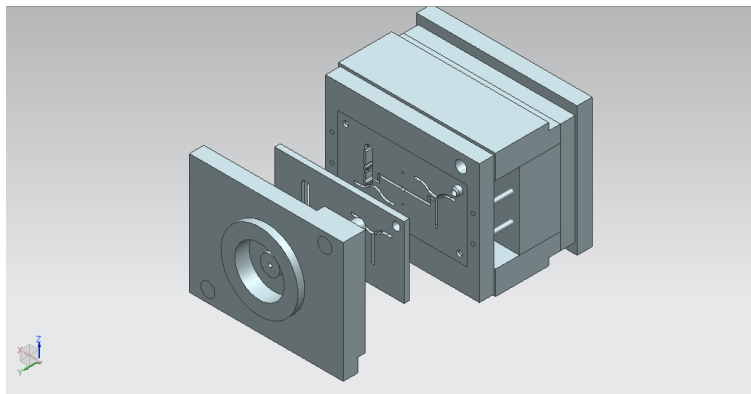
Figura 4.20. Modelo del diseño de la placa del lado de la platina móvil molde 1.

4. Diseño del molde y su fabricación.

El conjunto de portamolde y placas se muestra en la figura 4.21.



a)



b)

Figura 4.21. Vista del portamolde en conjunto con las placas de cavidades del molde 1.
a) Isométrico, b) Isométrico con rotación de 180°.

El conjunto de tres placas del segundo molde se muestra a continuación.

Placa de la platina fija (fig. 4.22), al igual que en el anterior molde, cuenta con 4 orificios y cajas para la colocación de los pernos fijadores, un bebedero, así como un tercio de las cavidades de los componentes a fabricar.

4. Diseño del molde y su fabricación.

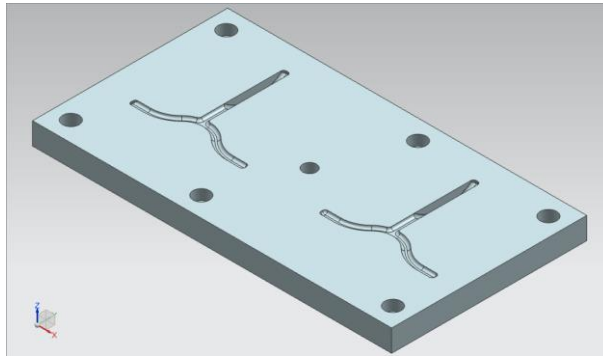


Figura 4.22. Modelo del diseño de la placa de la platina fija molde 2.

Placa flotante (fig. 4.23), tiene la misma configuración que la placa flotante del molde pasado, el segundo tercio de las cavidades, orificios para la fijación de la placa, así como la segunda mitad del bebedero.

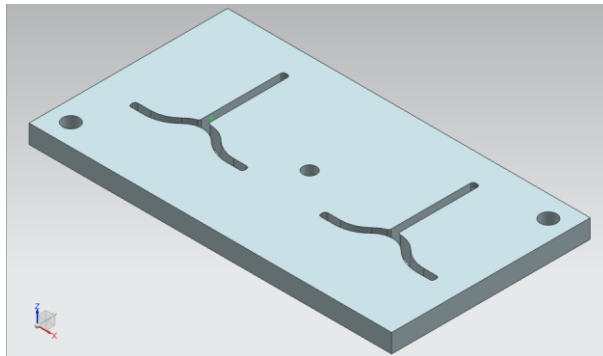
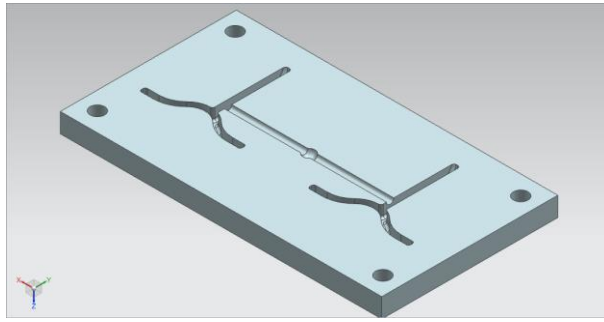


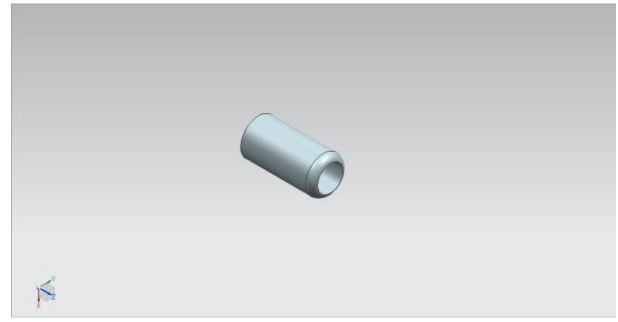
Figura 4.23. Modelo de diseño de la placa flotante molde 2.

Placa de la platina móvil (fig. 4.24a), esta placa tiene la misma configuración de la tercera placa del molde anterior, sin embargo, en esta, los pernos guía no serán manufacturados sobre la placa, sino que se manufacturan aparte y al final se ensamblan a la placa mediante el ajuste de los dos componentes, esto con el fin de no desperdiciar material durante el proceso de manufactura.

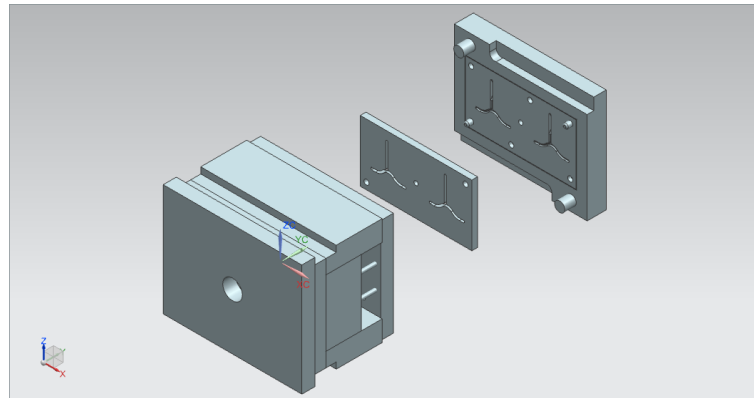
4. Diseño del molde y su fabricación.



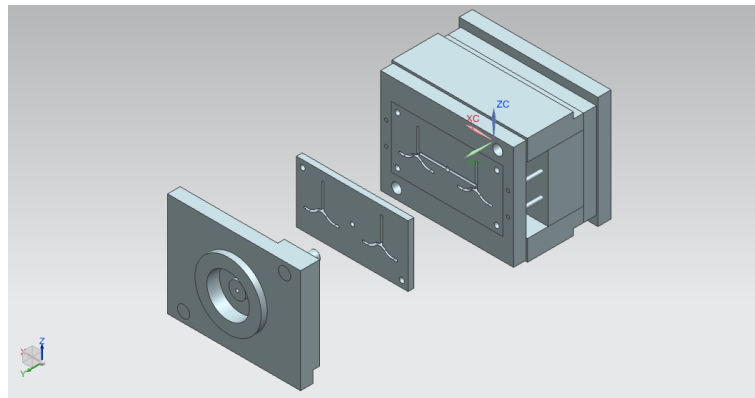
a)



b)



c)



d)

Figura 4.24. Vistas de los modelos diseñados para molde 2.
a) Modelo de diseño de la placa de la platina fija molde 2, b) Modelo del perno guía molde 2,
c) Vista isométrica portamolde y placas de cavidades molde 2, d) Vista isométrica con una rotación de 180°.

4.8 Material

Para procesar polímeros por moldeo por inyección, son indispensables moldes de gran calidad, con una elaboración muy precisa, y que deben presentar una elevada duración.

El tipo de molde a elegir viene determinado esencialmente por consideraciones de rentabilidad que dependen de las exigencias impuestas por la pieza fabricada, de los costos de fabricación del molde, del tiempo de ciclo y del número de piezas a fabricar en el molde. Estas condiciones no van incondicionalmente unidas con las propiedades térmicas y mecánicas, ni tampoco con la facilidad de elaboración de los materiales. Por ejemplo, los materiales con buenas propiedades térmicas presentan generalmente propiedades mecánicas menos buenas. Así al elegir los materiales, deben aceptarse ciertos compromisos. Sin un producto está sometido a ciertas exigencias especiales, tales como, buen aspecto de la superficie, exactitud de medidas, elevada velocidad de producción, gran número de piezas, etc., los moldes se laboran casi exclusivamente, por arranque de viruta. Sin embargo, si solo se requiere efectuar algunas inyecciones de ensayo para obtener muestras de un artículo se elegirán materiales más económicos y métodos de fabricación más sencillos para el molde. [2]

Si se utiliza un material con una resistencia reducida, se corre el riesgo de deformación a causa de la fuerza de cierre, así como la fuerza causa por la presión debido a la inyección del material fundido, los aceros de grado herramental tal como un AISI P20 suelen usarse para moldes con una producción de piezas elevada ya que este tipo de material tiene una buena resistencia, sin embargo para este trabajo la producción requerida es baja (50-100 piezas), por lo que se planteó ocupar un acero rolo en caliente AISI 1018 proporcionado por el cliente, este material es uno de los aceros más comunes en la industria, ya que presenta una buena resistencia mecánica, ductilidad, tenacidad y maquinabilidad, este tipo de acero suele ser ocupado como flechas, pernos, tornillos, manivelas, bielas, etc.

4.9 Proceso de manufactura

Se planteó la fabricación de las cavidades de las placas por medio de un proceso de arranque de viruta, para el cual se hizo uso de una maquina fresadora de control numérico, comúnmente conocida como "CNC", en la facultad de Ingeniería se cuenta con un centro de maquinado vertical EMCO VMC-300, con un control numérico Sinumerik de la marca Siemens.

Con base en los modelos creados en el software de Ingeniería Asistida por Computadora, se propuso una ruta de trabajo para la manufactura de cada placa.

Se cuenta con 6 placas de acero con las siguientes dimensiones: placas de 212 [mm] x 119 [mm], 1 con 25.4 [mm] de espesor 2 con espesor de 19.05 [mm] 2 con 15.875 [mm] y 1 con 9.525 [mm] ,

4. Diseño del molde y su fabricación.

también se tienen cortadores verticales de 1/2, 1/4, 1/8, y 1/16 de pulgada además de cortadores de punta de bola de 1/8 y 3/16 de pulgada para los redondeos en las cavidades y canales de alimentación.

Las placas requieren de una dimensión nominal de 210 [mm] x 115 [mm], sin embargo, si se fabrican las placas con estas dimensiones, estas tendrían una tolerancia nula con respecto al hueco destinado para insertar las placas, además es conveniente considerar que el proceso de fabricación de las piezas genera calor en dichos elementos, por lo que al sufrir un cambio de temperatura las placas tenderían a sufrir una expansión debido a este cambio.

El cálculo del cambio volumétrico se realiza por medio del coeficiente de expansión térmica, el cual es el cociente que mide el cambio relativo de longitud y volumen que se produce cuando un cuerpo sólido o fluido cambia de temperatura provocando una dilatación térmica. Esta relación se considera lineal para cierto rango de temperatura. El coeficiente de expansión térmica de un acero rolado en caliente AISI 1018 lo podemos encontrar en los datos reportados por los fabricantes de dicho material, el cual es de $11.6 \times 10^{-6} [1/^\circ\text{C}]$ para un rango de temperaturas de 0 - 100 [°C], y de acuerdo al análisis hecho con el programa especializado Moldflow®, la temperatura máxima alcanzada por las placas será de 90 grados centígrados, por lo que este valor será de utilidad para el cálculo de la expansión térmica.

La expresión utilizada para calcular el coeficiente de expansión térmica lineal es el siguiente:

$$\frac{x_f - x_i}{x_i} = \alpha (T_f - T_i)$$

En donde:

x_f - longitud final

x_i - longitud inicial

α - coeficiente de expansión térmica

T_f - temperatura final

T_i - temperatura inicial

Para este caso se necesitó conocer la longitud inicial, para después de que las placas incrementen su temperatura y por ende sus dimensiones, estas puedan ser retiradas del porta moldes sin que exista alguna interferencia, para este cálculo se consideró una temperatura ambiente estándar y una longitud final de 114 milímetros y 209 milímetros para cada lado de la placa, despejando y sustituyendo los valores en las ecuaciones se obtuvo lo siguiente:

4. Diseño del molde y su fabricación.

$$x_i = \frac{x_f}{1 + \alpha (T_f - T_i)} = \frac{114[mm]}{\left\{1 + (11.16 \times 10^{-6}) \left[\frac{1}{c}^{\circ}\right] (90 - 25)[^{\circ}c]\right\}} = 113.9[mm]$$
$$y_i = \frac{y_f}{1 + \alpha (T_f - T_i)} = \frac{209[mm]}{\left\{1 + (11.16 \times 10^{-6}) \left[\frac{1}{c}^{\circ}\right] (90 - 25)[^{\circ}c]\right\}} = 208.8 [mm]$$

De acuerdo con los cálculos, se propuso reducir la dimensión nominal de las placas quedando con dimensiones de 113 x 208 milímetros.

Los parámetros relevantes para el proceso de fresado son: el avance, la velocidad angular y la profundidad de corte, la velocidad angular significa cuantas vueltas gira la herramienta en cierto periodo de tiempo, comúnmente este valor está dado en revoluciones por minuto, por su parte el avance nos indica la velocidad relativa entre la herramienta y la pieza de trabajo y suele expresarse en milímetros por minuto, mientras que la profundidad de corte hace referencia a la distancia que penetra la herramienta en la pieza en cada pasada de fresado, estos parámetros se ocupan para que las herramientas puedan cortar el material sin sufrir desgaste excesivo, y de acuerdo con la dureza de cada material se tendrán diferentes parámetros.

La velocidad angular o número de revoluciones depende de la velocidad de corte y del diámetro de la herramienta de corte, en el fresado la velocidad de corte se entiende como el recorrido de un filo de la herramienta y está medido en metros por minuto, este valor comúnmente es proporcionado por los fabricantes de las herramientas o bien se pueden encontrar en tablas en donde ya se parametrizaron dichos valores.

La velocidad de avance o avance es el recorrido en milímetros que realiza la pieza en un minuto, este valor puede calcularse de acuerdo con los parámetros antes mencionados, se calcula usando el valor de la velocidad angular, el número de dientes o gabilanes de la herramienta, así como el avance por diente, este último es un valor que se obtiene de los datos de fabricación de la herramienta.

La profundidad de corte de una herramienta, tiene un valor máximo admisible, para mecanizar una profundidad muy grande es necesario hacer varias pasadas repetitivas sobre la superficie a mecanizar con diferentes profundidades, esta profundidad depende principalmente de la herramienta, de la rigidez del portaherramientas, de la potencia de la máquina, de los gabilanes de la herramienta, de la calidad requerida y del avance, comúnmente se suele utilizar como valor de profundidad máxima el valor del radio de la herramienta utilizada.

4. Diseño del molde y su fabricación.

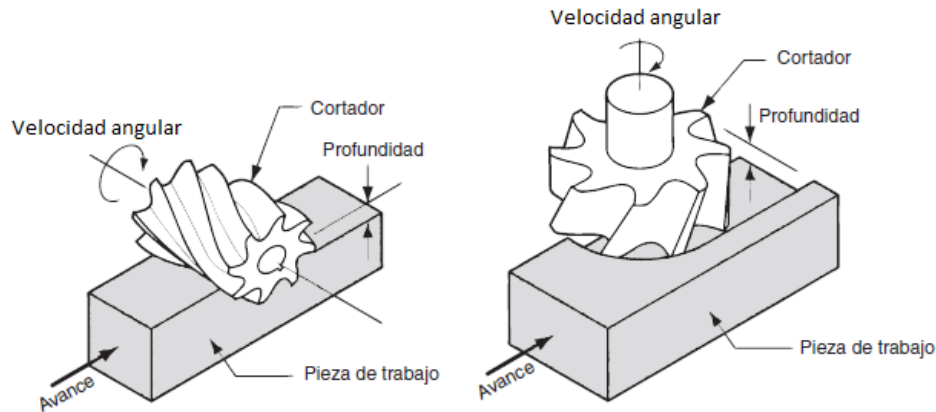


Figura 4.25. Conceptos relevantes para el proceso de fresado [11].

Durante el proceso de mecanizado se recomienda el uso de lubricación refrigerante, ya que una buena lubricación refrigerante se traduce en una mejor calidad superficial y una mayor duración de la herramienta, ya que evita que los dientes se calienten excesivamente debido al corte, además el medio refrigerante proyectado mediante un chorro a gran velocidad sobre el punto de corte, arrastra las virutas que se desprenden, de modo que estas no queden enganchadas entre la superficie de trabajo y los dientes o gavilanes de la fresa.

Las ecuaciones ocupadas para el cálculo de los parámetros de corte fueron las siguientes:

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d}$$

$$v_f = f_r \cdot n \cdot z$$

En donde:

n - velocidad angular del husillo [rpm]

v_c - velocidad de corte [m/min]

d - diámetro [mm]

v_f - velocidad de avance [mm/min]

f_r - avance por diente [mm/Rev.]

z - número de dientes (gavilanes)

Para la herramienta de ½ pulgada se hizo el cálculo de los parámetros de corte de acuerdo a las ecuaciones presentadas anteriormente, se tomó como base la velocidad de corte y el avance por diente, estos datos fueron proporcionados por los fabricantes de las herramientas y se consultaron en la página web [23] de la empresa de acuerdo al tipo de material a cortar.

4. Diseño del molde y su fabricación.

Para esta herramienta se consultó que la velocidad de corte esta entre un rango de 60 a 80 sfm (pies por minuto) y el avance por diente de 0.001 a 0.003 [in] (pulgadas). El fabricante proporciona un rango para los parámetros de operación en los cuales se puede trabajar la herramienta.

En el maquinado de una pieza se puede hacer un corte de desbaste o un corte de acabado. El corte de desbaste trata de eliminar el exceso de material en el tiempo más corto posible. Para este tipo de corte se elige una velocidad de avance grande, y se deja un remanente de material de 0.5 a 1 [mm] con el propósito de eliminarlo en el corte de acabado, a manera de conservar la herramienta en un buen estado, se recomienda de elegir una velocidad de corte pequeña.

Mediante el corte de acabado la pieza obtiene sus dimensiones finales y la calidad superficial que se requiere, para este tipo de corte es necesario una mayor velocidad de corte y una velocidad de avance pequeña. Cuando el exceso de material en una pieza no es demasiado grande, la pieza puede obtener sus dimensiones y calidad superficial definitivas con una sola pasada.

En este trabajo se ocuparon las velocidades medias del rango otorgado por los fabricantes para el proceso de desbaste, mientras que para el proceso de acabado se tomaran las velocidades mínimas de operación de las herramientas.

Los parámetros de corte calculados para la herramienta de media pulgada se muestran a continuación.

$$v_c = 70 \frac{\text{pie}}{\text{min}} \left(\frac{0.3048 \text{ metro}}{1 \text{ pie}} \right) = 21.33 \left[\frac{\text{m}}{\text{min}} \right]$$

$$f_r = 0.002 \frac{\text{pulg}}{\text{rev}} \left(\frac{25.4 \text{ mm}}{1 \text{ pulg}} \right) = 0.0508 \left[\frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right]$$

$$n = \frac{v_c \cdot 1000}{\pi \cdot d} = \frac{\left(21.3 \frac{\text{m}}{\text{min}} \right) \left(\frac{1000 \text{ mm}}{1 \text{ m}} \right)}{(\pi) (12.7 \text{ mm})} = 533.86 \left[\frac{\text{rev}}{\text{min}} \right]$$

$$v_f = f_r \cdot n \cdot z = \left(0.0508 \frac{\text{mm}}{\text{rev}} \right) \left(533.86 \frac{\text{rev}}{\text{min}} \right) (4) = 108.48 \left[\frac{\text{mm}}{\text{min}} \right]$$

4. Diseño del molde y su fabricación.

La profundidad máxima de corte para esta herramienta es de 6.35 [mm] la cual es la mitad del diámetro nominal de corte de la herramienta.

En las tablas 4.2 y 4.3 se muestran los parámetros de operación calculados para las herramientas de corte a emplear.

Desbaste

Diámetro [in]	Diámetro [mm]	Avance por diente [mm/Rev.]	Vel. corte [m/min]	Vel. Ang. [rpm]	Gavilanes	Avance [mm/min]	Prof. corte máx. [mm]
1/2	12.700	0.076	21.35	535.11	4	163.10	6.35
3/8	9.525	0.076	25.00	835.46	4	254.65	4.76
1/4	6.350	0.051	25.00	1253.19	4	254.65	3.18
1/8	3.175	0.025	25.00	2506.38	4	254.75	1.59
1/16	1.588	0.013	25.00	5012.75	2	127.32	0.79

Tabla 4.0.2. Parámetros de operación calculados para fresado de desbaste.

Acabado

Diámetro [in]	Diámetro [mm]	Avance por diente [mm/Rev.]	Vel. corte [m/min]	Vel. Ang. [rpm]	Gavilanes	Avance [mm/min]	Prof. corte máx. [mm]
1/2	12.700	0.025	24.40	611.56	4	62.13	6.35
3/8	9.525	0.025	30.00	1002.55	4	101.86	4.76
1/4	6.350	0.013	30.00	1503.83	4	76.39	3.18
3/16	4.763	0.005	30.00	2005.10	2	20.37	2.38
1/8	3.175	0.005	30.00	3007.65	4	61.12	1.59
1/16	1.588	0.005	30.00	6015.30	2	60.15	0.79

Tabla 4.0.3. Parámetros de operación calculados para fresado de acabado.

Nota: La tabla de especificaciones de los fabricantes se pueden consultar en el anexo 3.

4. Diseño del molde y su fabricación.

Con la herramienta de media pulgada se carearon las caras de las placas marcadas en la figura 4.26 con la letra A y C.

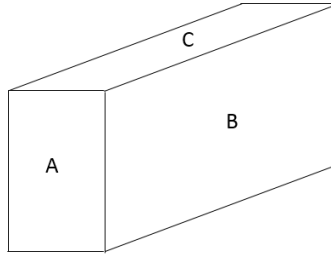


Figura 4.26. Representación del material en bruto y sus superficies de trabajo.

Para la placa de espesor de 25.4 [mm], la herramienta necesito de 4 movimientos para realizar el corte de la cara C considerando un traslape del 50% del diámetro de la herramienta, cada carrera consta del largo de la placa más el diámetro de la herramienta por lo que:

$$L = 212 + 12.7 = 224.7 \text{ [mm]}$$

Para el cálculo del tiempo de fresado se ocupó la siguiente ecuación:

$$t = \frac{\text{carrera de la mesa de fresado}}{\text{velocidad de avance}} = \frac{L}{v_f}$$

Por lo que para una carrera en la superficie C el tiempo que tardo es:

$$t = \frac{224.7 \text{ mm}}{108.73 \frac{\text{mm}}{\text{min}}} = 2.07 \text{ [min]}$$

Y para los cuatro movimientos que hizo la herramienta para el corte de la superficie completa se tiene que el tiempo es de 8.27 minutos. La profundidad de corte máxima es 6.35 [mm], sin embargo para evitar el desgaste de la herramienta se cortó 1.5 [mm] por pasada, en total se tuvieron que cortar 6 milímetros en la cara C por lo que tomo 4 pasadas, en total el tiempo de maquinado para esta superficie fue de 33.07 [min].

La superficie A tiene una carrera de 125.7 [mm] y un tiempo de maquinado por carrera de 1.15 [min], considerando que es el mismo espesor necesita de cuatro movimientos para el corte de la superficie, sin embargo en este caso el material se colocó de tal manera de hacer un fresado cilíndrico, a diferencia del corte anterior el cual fue un fresado frontal (figura 4.27), de esta manera el corte se hizo en un solo movimiento abarcando toda la cara con la longitud de corte de la

4. Diseño del molde y su fabricación.

herramienta, por lo que en este caso se cortó 1 milímetro por pasada, y se necesitaron 4 pasadas para llegar a la dimensión requerida, por lo que el tiempo de fresado de esta superficie se calculó de 4.62 [min].

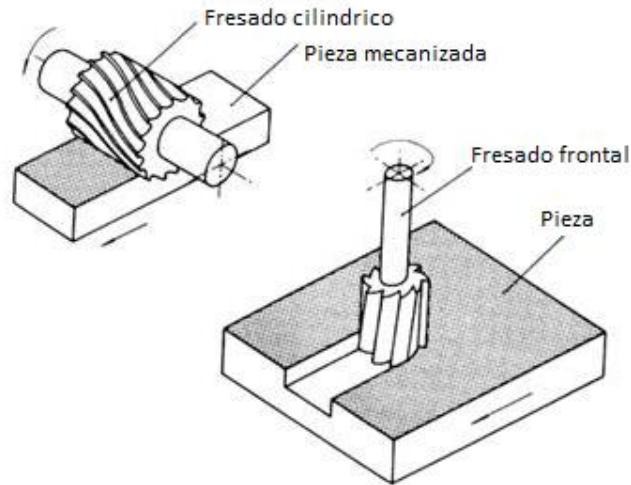


Figura 4.27. Fresado tangencial o cilíndrico (izquierda) y fresado frontal (derecha) [10].

Por último la superficie B se maquina con una fresa de corona porta plaquitas, con un diámetro de 2 pulgadas y media (63.5 [mm]) la carrea de dicha herramienta es de 176.5 [mm] y se calculó un tiempo de maquinado de 0.44 [min] por carrera debido a que esta herramienta trabaja con un avance de 400 [mm/min], se necesitan 7 movimientos para cortar la superficie completa y el corte se hizo en dos pasadas, para este caso se cortó 1.85 [mm] por pasada, el tiempo de maquinado para esta superficie se calculó de 6.18 [min].

Por lo que el tiempo total de careado y escuadrado para esta placa suma 43.87 [min].

A continuación se muestran los resultados de cálculos de tiempo de maquinado para el careado y escuadrado de las placas restantes:

Espesor [mm]	Tiempo Sup. A [min]	Tiempo Sup. B [min]	Tiempo Sup. C [min]	Total [min]
25.4	4.62	6.18	33.07	43.87
19.05	4.62	6.18	24.80	35.60
15.875	4.62	6.18	20.67	31.47
9.525	4.62	6.18	12.40	23.20

Tabla 4. 0.4. Tiempo de maquinado para el careado del material en bruto.

4. Diseño del molde y su fabricación.

Otro de los procesos de manufactura que se ocupó para generar el bebedero de alimentación, los orificios para la sujeción de las placas y el sistema de expulsión, es el proceso de taladrado, ya que esta es una operación que comúnmente se utiliza para crear agujeros redondos en una pieza de trabajo con el fin de alojar remaches, tornillos, pernos, émbolos o para dar paso a gases, líquidos, etc.

La velocidad de corte en una operación de taladrado es la velocidad superficial en el diámetro exterior de la broca. Se especifica de esta forma por conveniencia, aunque casi todo el corte se realiza realmente a las velocidades más bajas cercanas al eje de rotación [11].

Para fijar la velocidad de corte deseada es necesario determinar la velocidad de rotación de la broca, con base en su diámetro, se ocupó la siguiente ecuación:

$$n = \frac{v \cdot 1000}{\pi \cdot D}$$

En donde:

v – velocidad de corte [mm/min]

D – diámetro de la broca [mm]

En el taladrado el avance f se especifica en mm/rev, y las velocidades recomendadas son aproximadamente proporcionales al diámetro de la broca, el avance puede convertirse en velocidad de avance si se utiliza la siguiente ecuación:

$$f_r = n f$$

En donde:

f_r – velocidad de avance [mm/min]

Los agujeros taladrados pueden ser agujeros pasados o agujeros ciegos. En los agujeros pasados, la broca sale en el lado opuesto de la pieza de trabajo, mientras que en los agujeros ciegos no, ver figura 4.28.

4. Diseño del molde y su fabricación.

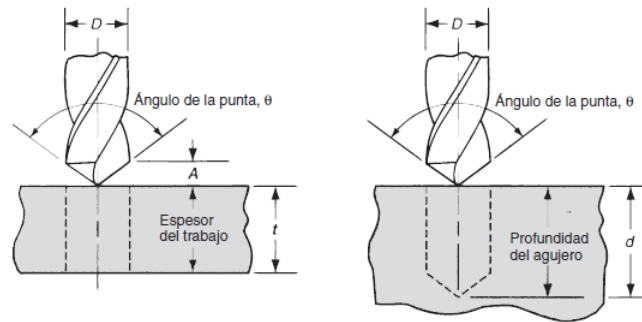


Figura 4.28. Taladrado de agujeros pasados y agujeros ciegos [11].

El tiempo de maquinado requerido para taladrar un agujero pasado se determinó con la siguiente formula:

$$T_m = \frac{t + A}{f_r}$$

Donde:

T_m – tiempo de maquinado [min]

t - espesor de trabajo [mm]

f_r – Velocidad de avance [mm/min]

A – tolerancia de aproximación

En esta ecuación aparece una tolerancia, denominada tolerancia de aproximación, es la que toma en cuenta el ángulo de punta de la broca, y representa la distancia que la broca debe avanzar dentro de la pieza de trabajo antes de alcanzar el diámetro completo y se determina por:

$$A = 0.5 D \tan\left(90 - \frac{\theta}{2}\right)$$

En un agujero ciego la profundidad se define como la distancia entre la superficie de trabajo y la punta del agujero, por esta definición el ángulo de tolerancia de la punta de la broca no afecta el tiempo para taladrar el agujero, por lo que se ocupó la siguiente ecuación:

$$T_m = \frac{d}{f_r}$$

4. Diseño del molde y su fabricación.

Para el taladrado de los agujeros necesarios para el maquinado de las placas de cavidades se utilizaron brocas de los siguientes diámetros: 1/2" (12.7 [mm]), 3/8" (9.525 [mm]), 5/16" (7.937 [mm]), 1/4" (6.35 [mm]), y 1/8" (3.175 [mm]), por lo que se calcularon los parámetros de corte de estas herramientas, se muestran en la siguiente tabla.

Diámetro [mm]	Diámetro [mm]	Avance por filo [mm/Rev.]	Velocidad de corte [m/min]	Vel. angular [rpm]	Filos	Velocidad de avance [mm/min]
1/2	12.700	0.25	20	501.28	2	250.64
3/8	9.525	0.18	16	534.69	2	192.49
5/16	7.938	0.10	14	561.43	2	112.29
1/4	6.350	0.10	13	651.66	2	130.33
5/32	3.969	0.10	7	561.43	2	112.29
1/8	3.175	0.10	6	601.53	2	120.31

Tabla 4.0.5. Parámetros de operación para taladrado.

Utilizando el software de ingeniería se simuló el proceso de manufactura para el maquinado de las cavidades en donde se fabricaran las piezas rediseñadas, en esta simulación se ocuparon los parámetros calculados para cada herramienta, el software de ingeniería es capaz de proporcionar los movimientos de las herramientas de acuerdo con la estrategia de corte que se seleccione, utilizar este tipo de programas computacionales, permite visualizar y corregir errores que no se hayan detectado en la planeación del proceso de manufactura.

Para el proceso de manufactura se siguió la siguiente ruta de trabajo.

Proceso	Diámetro herramienta [mm]	Material a cortar [mm]	Sobre material [mm]	Profundidad de corte [mm]	N° pasadas	Velocidad de husillo [rpm]	Avance [mm/min]	Tiempo [min]
Desbaste de placa	12.700	3.65	0.25	3.00	2	535	109	56
Contorneado corazón	6.000	0.25	0	1.50	3	1326	42	7
Desbaste cavidad 1	3.175	5.25	0.25	0.75	4	3008	61	48
Desbaste cavidad 2	3.175	3.857	1.643	0.75	3	3008	61	20
Redondeado cavidad 1	3.175	0.75	0	0.75	2	3008	40	35
Redondeado cavidad 2	3.175	0.714	0	0.75	2	3008	40	24
Acabado cavidad 1	1.588	0.25	0	0.75	14	6015	40	13

4. Diseño del molde y su fabricación.

Acabado Cavity 2	1.588	0.929	0.714	0.75	8	6015	40	4
Taladrado orificios sujeción y bebedero	7.938	12.7				561	50	1.51
Taladrado cajas de tornillo	9.525	6				561	50	0.48
Total								208.99

Tabla 4.0.6. Ruta de trabajo para placa de platina fija del molde 1.

Proceso	Diámetro herramienta [mm]	Material a cortar [mm]	Sobre material [mm]	Profundidad de corte [mm]	Nº pasadas	Velocidad de husillo [rpm]	Avance [mm/min]	Tiempo [min]
Desbaste cavidad 1	6.000	9	0.25	3.00	3	1326	42	19
Acabado cavidad 1	3.175	9	0	1.5	6	3008	30	25
Acabado cavidad 2	3.175	9	0	1.5	6	3008	30	14
Acabado canal alimentación	4.763	1.03	0	0.75	1	2032	20.32	16
Taladrado bebedero	7.9375	9				562	50	0.18
Taladrado agujeros de soporte	12.7	9				562	50	0.36
Total								74.54

Tabla 4.0.7. Ruta de trabajo de placa flotante molde 1.

Proceso	Diámetro herramienta [mm]	Material a cortar [mm]	Sobre material [mm]	Profundidad de corte [mm]	Nº pasadas	Velocidad de husillo [rpm]	Avance [mm/min]	Tiempo [min]
Desbaste de placa	12.700	6.5	0.25	4.00	2	535	107.3	57
Contorneado	6.000	0.25	0	3.00	2	1326	42	24
Desbaste cavidad 1	3.175	5.25	0.25	1.5	4	2506	60	47
Desbaste cavidad 2	3.175	3.842	1.658	1.5	3	2506	60	24
Redondeo cavidad 1	3.175	0.75	0	0.75	2	3008	40	34
Redondeo cavidad 2	3.175	0.75	0	0.75	2	3008	40	28
Acabado cavidad 1	1.588	0.25	0	0.75	2	6015	40	14

4. Diseño del molde y su fabricación.

Acabado cavidad 2	1.588	0.941	0	0.75	2	6015	40	3
Redondeo soporte	3.175	0.75	0	0.75	3	3008	40	9
Acabado canal alimentación	4.763	2.381	0	2.381	1	2032	20.32	29
Taladrado orificios sujeción	6.350	21.7				561	50	1.89
Taladrado cajas de tornillo	9.525	15				561	50	1.20
Taladrado orificios pernos botadores	3.175	17.2				561.00	50	1.45
							Total	273.54

Tabla 4.0.8. Ruta de trabajo para placa de platina móvil molde 1.

4.9.1 Simulación de ruta de trabajo de placa de insertos de la platina fija molde 1.

Se realizó la simulación de la ruta de trabajo para el mecanizado de la placa 1 utilizando el centro de maquinado EMCO VMC 300 y cortadores de 1/2" para realizar el desbaste de la placa, posteriormente se ocupó la herramienta de 6 [mm] para cortar el sobre material y dar el acabado del maquinado anterior, el cortador de 1/8" se ocupó para desbastar y abrir las cavidades, posteriormente con la herramienta de 1/8" de punta de bola se realizó el redondeo de los cantos de las cavidades, para dar paso a el cortador de 1/16" que se utilizó para cortar el sobre material y dar el acabado a las cavidades, finalmente se ocuparon brocas de 1/4" para los agujeros de los pernos de sujeción, de 3/8" para las cajas de los tornillos y de 5/16" para perforar el bebedero de alimentación.

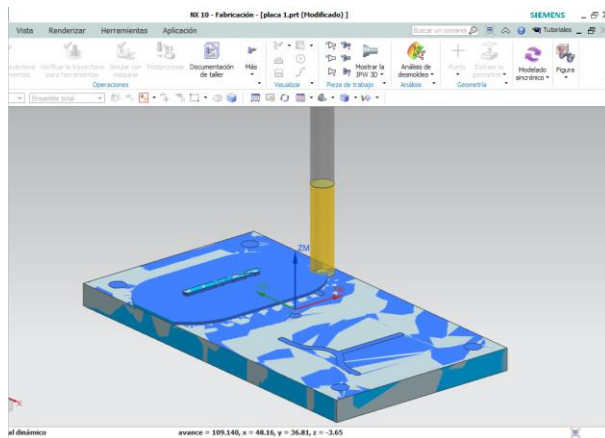


Figura 4.29. Desbaste de placa herramienta de 1/2".

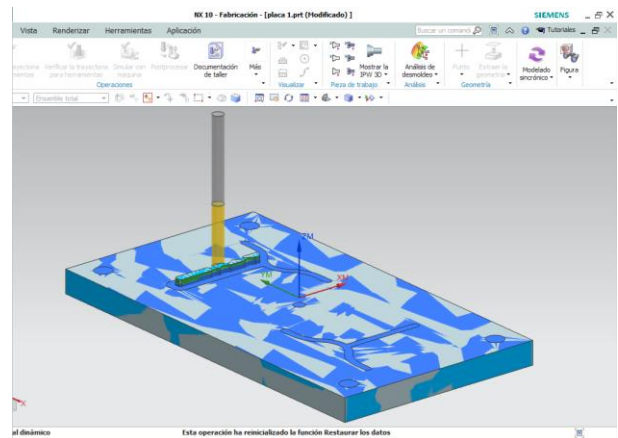


Figura 4.30. Acabado de placa, hta. de 6 [mm].

4. Diseño del molde y su fabricación.

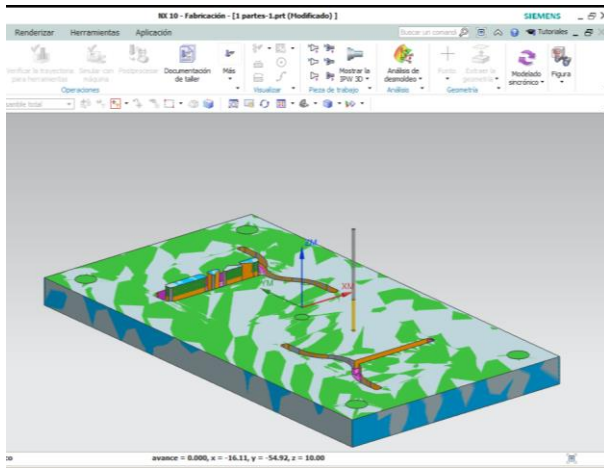


Figura 4.31. Desbaste y acabado de cavidades hta. 1/8" y 1/16".

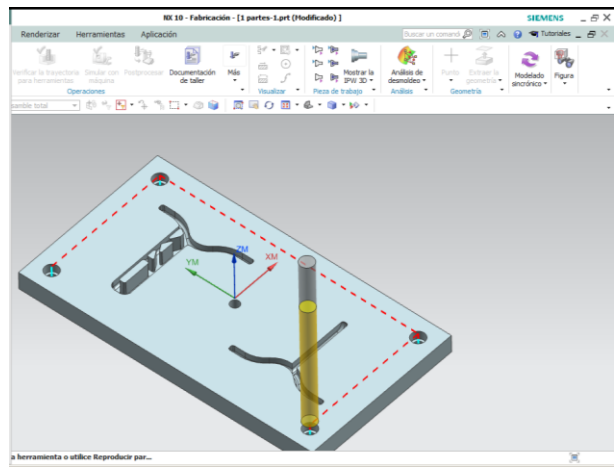


Figura 4.32. Movimiento de herramienta para taladrado.

4.9.2 Simulación ruta de trabajo de placa de insertos flotante molde 1.

Se realizó la simulación de la ruta de trabajo para el mecanizado de la placa 2 utilizando el centro de maquinado EMCO VMC 300 y cortadores de 6 [mm] para el desbaste de las cavidades, de 1/8" para dar el acabado a las cavidades, posteriormente la herramienta de 3/16" de punta de bola para maquinar el canal de alimentación, por último se utilizaron brocas de 1/2" para los orificios de los pernos guías y 5/16" para el bebedero de alimentación.

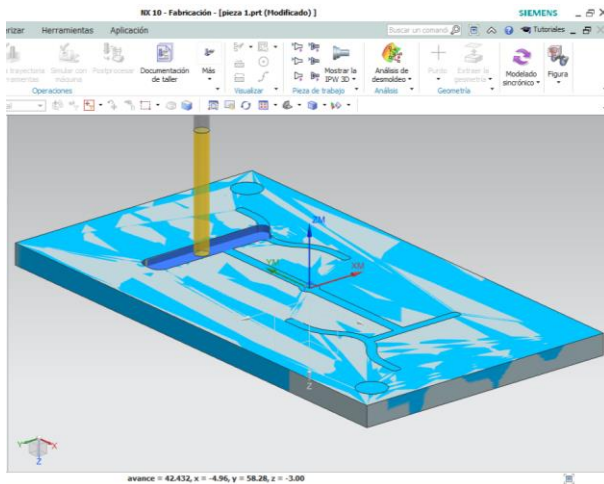


Figura 4.33. Desbaste de cavidad 1 hta. 6 [mm].

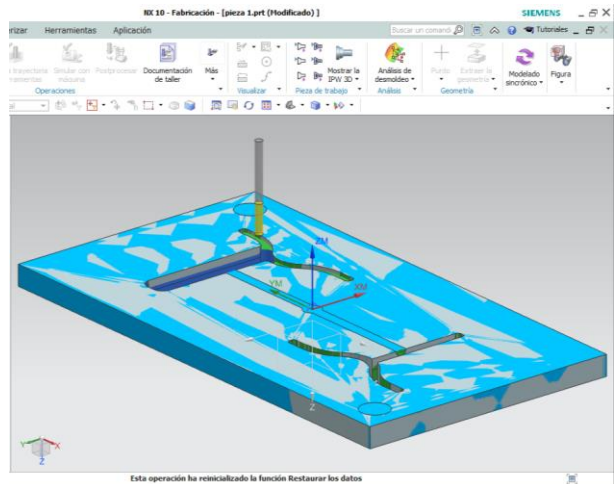


Figura 4.34. Acabado de cavidades 1 y 2, hta. 1/8".

4. Diseño del molde y su fabricación.

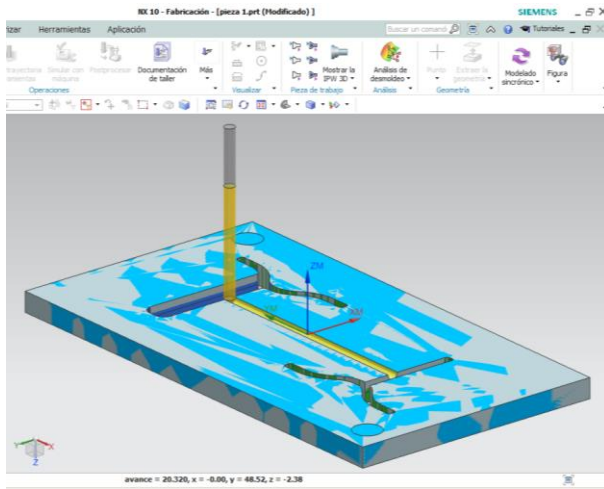


Figura 4.35. Canal de alimentación hta. punta de bola 3/16".

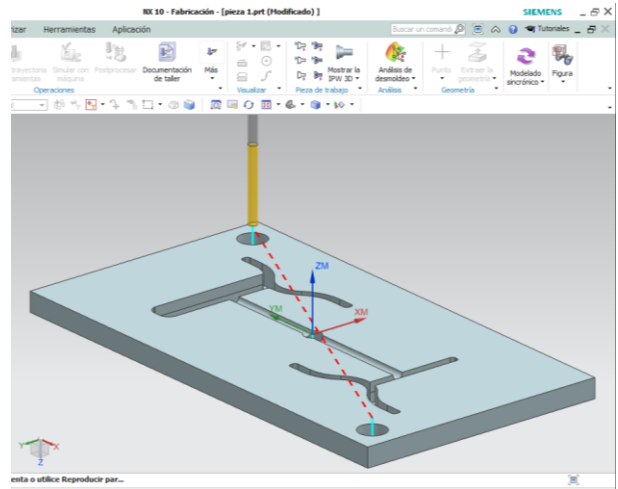


Figura 4.36. Movimiento de herramienta para taladrado.

4.9.3 Simulación ruta de trabajo placa de cavidades de la platina móvil molde 1.

Se realizó la simulación de la ruta de trabajo para el mecanizado de la placa 3 utilizando el centro de maquinado EMCO VMC 300 y cortadores de 1/2" para el desbaste de la placa, herramienta de 6 [mm] para cortar el sobre material y dar el acabado del maquinado previo, posteriormente con el cortador de 1/8" se desbasto y se maquinaron las cavidades así como los pernos guías, luego con la herramienta de 1/8" de punta de bola se redondearon los canto de las cavidades y pernos guías, con el cortador de 1/16" se cortó el material restante para dar el acabado de a las cavidades, para los canales de alimentación se ocupó una herramienta de punta de bola de 3/16", además se utilizaron brocas de 1/4" para taladrar los orificios de los tornillos de sujeción, de 3/8" para las cajas de los tornillos y de 7/64" para los orificios de los pernos botadores.

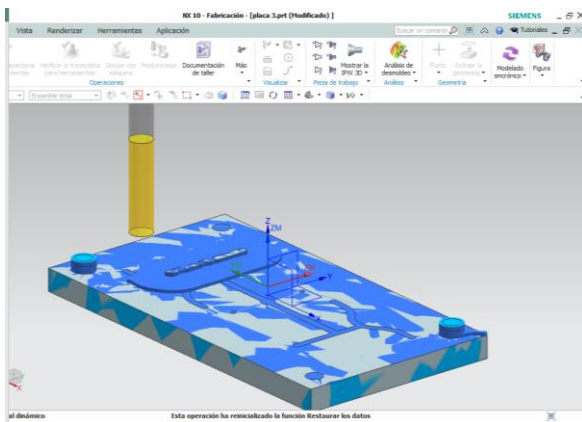


Figura 4.37. Desbaste de placa hta.1/2".

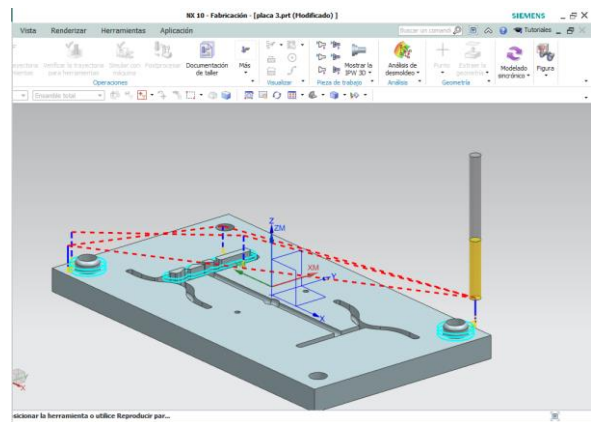


Figura 4.38. Movimiento de hta. 6 [mm] para contorneado.

4. Diseño del molde y su fabricación.

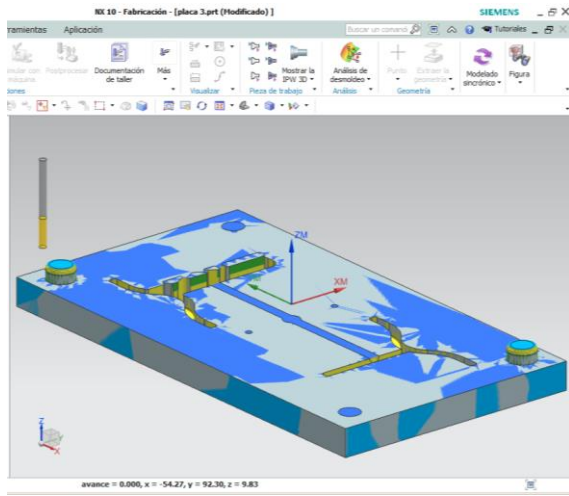


Figura 4.39. Desbaste de cavidades y pernos guía, hta. 1/8".

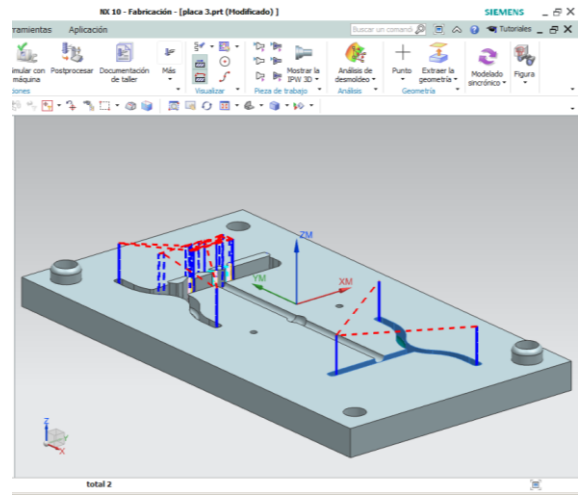


Figura 4.40. Acabado de cavidades 1 y 2, hta. 1/16".

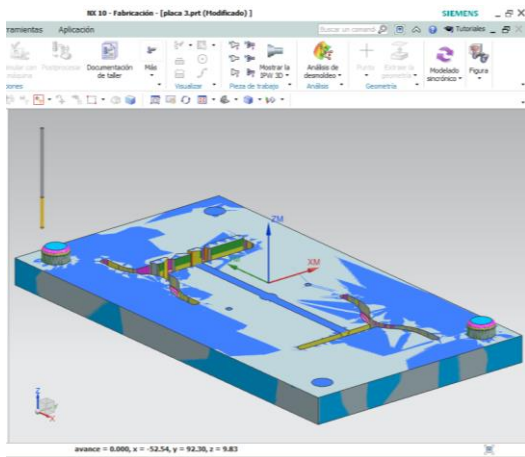


Figura 4.41. Redondeo de cavidades y pernos guía, hta. 1/8".

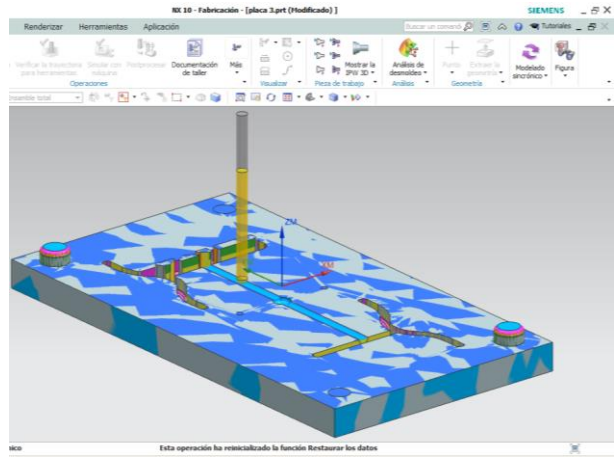


Figura 4.42. Sistema de alimentación, hta 3/16".

4. Diseño del molde y su fabricación.

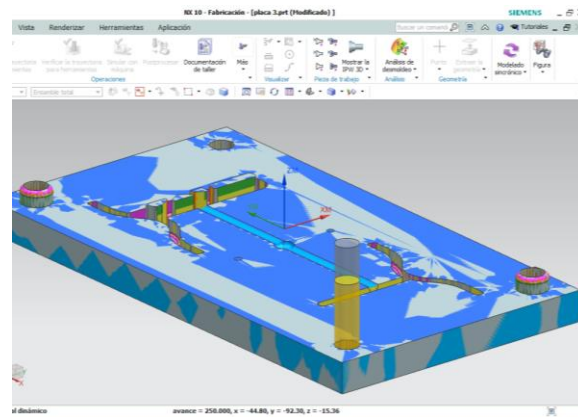


Figura 4.43. Taladrado de placa de platina móvil molde 1, hta. 1/2.

Las rutas de trabajo y simulaciones para las placas (4, 5 y 6) correspondientes al molde 2 se pueden consultar en el anexo 4.

Capítulo 5. Fabricación de cavidades y proceso de inyección.

5.1 Herramental

5.1.1 Careado y escuadrado de placas

Se logró cortar el material en bruto con el propósito de conseguir las dimensiones deseadas, además de escuadrar las placas donde se manufacturaron las cavidades, el proceso se realizó en el centro de maquinado vertical de una manera semi-manual, las placas resultaron en un buen acabado que se requirió para que estas pudieran entrar y salir sin problema de los huecos del portamoldes, además para tener superficies planas que permitieran la sujeción de las mismas mediante la prensa, y de esta manera al momento de manufacturar las cavidades, evitar que las placas pudieran moverse debido a la fuerza provocada por las herramientas al crear las cavidades, así como para asegurar que las cavidades estuviesen en el mismo lugar en todas las placas.



Figura R.1. Escuadrado de las placas mediante centro de maquinado EMCO VMC-300.
Corte de cara C lado izquierdo, Corte de cara A lado derecho.

Una vez que se aseguró que las placas estuviesen escuadradas, se cortaron las caras faltantes (Fig. R.2) este corte se realizó en el centro de maquinado de una manera automática, el proceso se hizo con una corona porta insertos, esta corona tiene dos pulgadas de diámetro e insertos de carburo, el careado de las superficies es importante pues nos permite que haya un contacto homogéneo a lo largo toda el área, lo que se traduce en un sello entre las placas presentes en el molde para que el material fundido se quede dentro de las cavidades y no escape a través las uniones de las mismas.

5. Fabricación de cavidades y proceso de inyección.

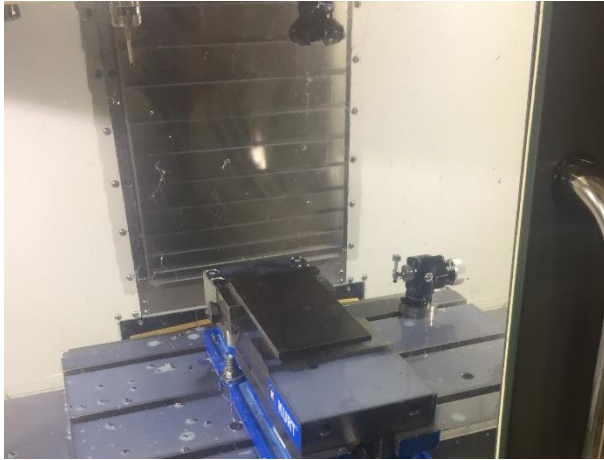


Figura R.2. Careado de placas mediante centro de maquinado Haas VF1, corte de cara B.

El tiempo real de maquinado para el careado y escuadrado de las placas se puede notar en la tabla siguiente.

Espesor [mm]	Tiempo Calculado [min]	Tiempo real [min]	Error [%]
25.4	43.87	68	55.01
19.05	35.60	55	54.49
15.875	31.47	48	52.54
9.525	23.20	36	55.16

Tabla R.0.1. Comparativa entre el tiempo calculado y real para el careado y escuadrado de las placas.

En este proceso se obtuvo un porcentaje de error mayor del 50% ya que para el corte de la cara C (Fig. 4.26), el sistema de refrigeración del centro de maquinado debido a la posición de las placas (Fig. R.1 Izquierda) no fue capaz de retirar las virutas, por lo que se tuvo que detener el proceso y limpiar la superficie de corte mediante una brocha en ciertos intervalos de tiempo, además de que el proceso se realizó de una manera sami-manual por lo que la carrera de la herramienta pudo variar por algunos milímetros.

5.1.2 Proceso de manufactura de placas

Se llevaron a cabo los procesos de manufactura diseñados para el maquinado de las cavidades, haciendo uso del software de ingeniería NX10.0® se generaron códigos en el lenguaje de programación conocido como código G, con este código se programaron las indicaciones de movimiento de las herramientas, velocidades de husillo y velocidades de avance, con el fin de que el centro de mecanizado realizará las operaciones diseñadas para el corte de cada cavidad. Cabe mencionar que se programaron las velocidades de corte calculadas en el presente trabajo sin que las herramientas presentaran desgaste excesivo o ruptura.

5. Fabricación de cavidades y proceso de inyección.



Figura R.3. Fresado de cavidades mediante centro de maquinado EMCO VMC-300.

5. Fabricación de cavidades y proceso de inyección.

El tiempo real de maquinado de las cavidades se muestra en la siguiente tabla.

Placa	Tiempo de simulación [min]	Tiempo real [min]	Error [%]
Placa platina fija molde 1	209	217	3.83
Placa flotante molde 1	75	79	5.33
Placa platina móvil molde1	274	283	3.28
Placa platina fija molde 2	93	98	5.38
Placa flotante molde 2	46	48	4.35
Placa platina móvil molde2	92	98	6.52

Tabla R.0.2. Comparativa entre el tiempo de simulación y real para el maquinado de las cavidades.

Para estos procesos de manufactura, el tiempo estimado en las simulaciones mediante el software NX 10.0®, estuvo acorde con el tiempo en que se realizaron los procesos en el centro de maquinado, el tiempo real difirió entre 2 a 10 minutos con respecto a los procesos simulados, esta variación pudo deberse a que el software realiza los movimientos rápidos sin contabilizar tiempo, mientras que en el centro de maquinado el movimiento rápido se limitó al 50 por ciento de capacidad de la máquina, para evitar daños.

Los pernos guía para el segundo conjunto de placas de cavidades, se fabricaron por el proceso de torneado, para estos pernos se ocupó una barra circular de acero la cual se cilindro para alcanzar las dimensiones requeridas, para insertar los pernos en las placas de cavidades se hizo uso de una prensa manual, ya que el perno se diseñó para ser ensamblado por medio de un ajuste de apriete con la placa.

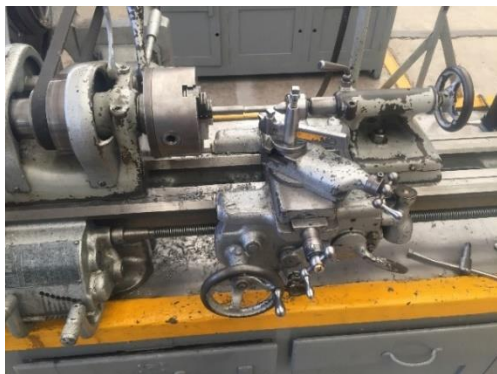


Figura R.4. Torneado de perno y prensado para ajuste por interferencia.

5. Fabricación de cavidades y proceso de inyección.

5.1.3 Placas terminadas

Se consiguió manufacturar las placas de cavidades para la obtención un modelo físico, en el caso del conjunto de placas para el prototipo de los componentes 1 y 2, se manufacturaron los postes sobre la placa de la platina móvil, estos postes tuvieron el ajuste requerido para sujetar la placa flotante además de la posición correcta para que las placas quedaran alineadas en el momento de la inyección, dos de las tres placas de este molde tuvieron que tener otro proceso de careado para poder manufacturar los corazones requeridos para los componentes, así como para los pernos guías.



Figura R.5. Placas de cavidades del molde 1 terminadas.

También se logró la manufactura del conjunto de placas para la fabricación del prototipo del componente 3, en este caso, los pernos guía se manufacturaron con un proceso de torneado y se tuvieron que ajustar para que la placa flotante pudiera ajustarse en los pernos, y que esta pudiera posicionarse y des-posicionarse de una manera fácil, es decir que el usuario pueda colocarla y quitarla con sus propias manos. Los pernos para este caso se colocaron en la placa de la platina

5. Fabricación de cavidades y proceso de inyección.

fija, este cambio se hizo con el fin de evitar que la placa flotante pudiera desacoplarse de los pernos debido al movimiento de la platina móvil.



Figura R.6. Placas de cavidades del molde 2 terminadas.

5.2 Proceso de inyección

En la máquina de inyección Demag Ergotech Pro 50-270, se montó el portamoldes diseñado por González Hernández, en el cual se colocaron las placas de cavidades, y se ajustó el sistema de cierre de acuerdo con las dimensiones del molde en su conjunto. Con base en los parámetros recomendados en el análisis de flujo hecho en el software MoldFlow®, así como con los parámetros indicados por el fabricante del material plástico, se ajustó el proceso para la inyección de los componentess, los datos ocupados para el ajuste del proceso se muestra en las tablas siguientes.

5. Fabricación de cavidades y proceso de inyección.

Parámetro	Valor recomendado
Temperatura de garganta de alimentación	20 – 50 [°C]
Temperatura de alimentación	285 – 295 [°C]
Temperatura de compresión	290 – 305 [°C]
Temperatura de dosificación	300 – 315 [°C]
Temperatura de boquilla	300 – 315 [°C]
Temperatura de masa fundida	300 – 315 [°C]
Temperatura de molde	80 – 100 [°C]
Temperatura de secado	70 – 80 [°C]
Tiempo de secado	2 – 4 [hr]

Tabla R.3. Temperaturas de procesamiento recomendadas por el fabricante.

Predicción de Software MFA	Valor
Tiempo de llenado	1.27 [s]
Presión de inyección	10.16 [MPa]
Tiempo para alcanzar la temperatura de expulsión	40.6 [s]
Fuerza de cierre máxima durante el ciclo	1.12 [Toneladas]
Volumen total inyectado	27.46 [cm ³]

Tabla R.4. Resultados de simulación de llenado para molde 1.

Predicción de Software MFA	Valor
Tiempo de llenado	1.40 [s]
Presión de inyección	8.29 [MPa]
Tiempo para alcanzar la temperatura de expulsión	24.88 [s]
Fuerza de cierre máxima durante el ciclo	0.93 [Toneladas]
Volumen total inyectado	22.54 [cm ³]

Tabla R.5. Resultados de simulación de llenado para molde 2.



Figura R.7. Portamoldes montado en la máquina de inyección.

5. Fabricación de cavidades y proceso de inyección.

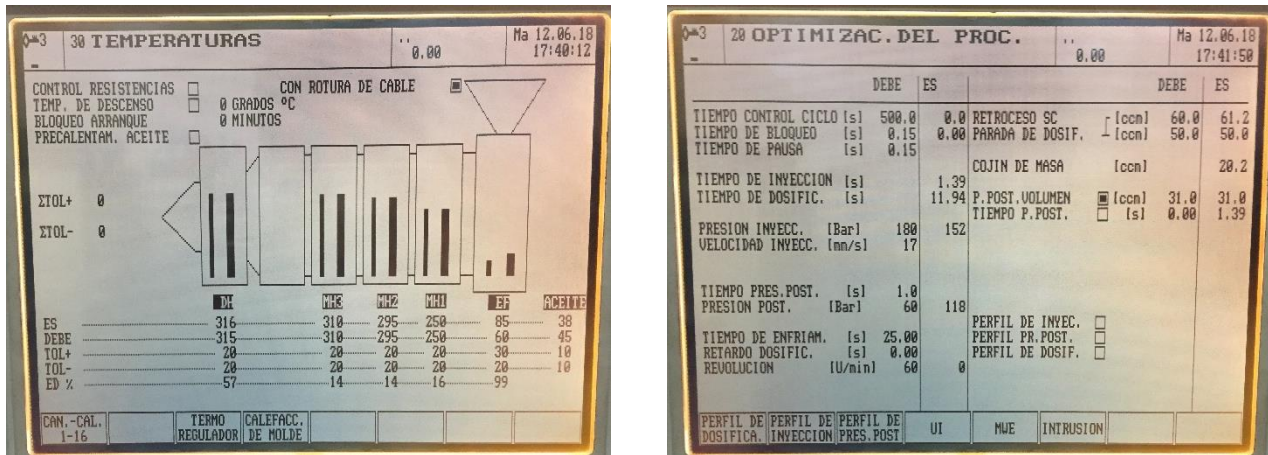


Figura R.8. Controlador de la máquina de inyección.

Ventana del control de temperaturas en el lado izquierdo y venta de optimización del proceso en el lado derecho.

De los valores de tiempo de llenado, volumen de inyección y el diámetro del husillo de la máquina, se calculó una velocidad de inyección de 17 [mm/s], con esta velocidad, el 90% del volumen total de inyección, y el tiempo de enfriamiento, se ajustó el proceso en el control de la máquina de inyección.

Una vez que se comprobó que la pieza se llenaba al 90%, se le aplicó presión de mantenimiento, la cual fue del 50 % de la presión para la inyección, esta presión se aplicó durante 1 segundo, los parámetros con los que se moldearon las piezas se muestran en la siguiente tabla.

Parámetro	Valor de MFA	Valor real	Error [%]
Tiempo de llenado [s]	1.4	1.39	0.71
Presión de inyección [MPa]	8.29	15.2	83.35
Tiempo de enfriamiento [s]	24.88	25	0.48
Fuerza de Cierre [Ton]	0.93	1	7.53
Peso c/pieza [g]	13.58	13	4.26

Tabla R.6. Comparativa entre los parámetros simulados y reales para el proceso de inyección.

El tiempo de llenado o de inyección, tal como se predijo en el software MFA ronda los 1.4 segundos, mientras que la presión de inyección osciló entre 15 y 16 [MPa], esta diferencia pudo provocarse a la variación de viscosidad en el material fundido debido a que en el momento de la inyección el sistema de enfriamiento de la garganta se encontraba en desuso y provocó que la temperatura en dicha zona se elevara hasta los 90 grados.

5. Fabricación de cavidades y proceso de inyección.

5.3 Prototipos

Se obtuvieron piezas de material plástico del componente 2, las piezas moldeadas que se obtuvieron cumplieron con las características geométricas y estéticas requeridas, en estas piezas no se apreciaron defectos característicos de un mal diseño o defectos causados por el material o el proceso de inyección, por lo que se considera que se fabricaron piezas moldeadas conformes, sin embargo se pueden notar marcas de la línea de partición que pudieron causarse por un desalineamiento entre las placas debido al portamoldes o al proceso de manufactura, se lograron fabricar un total de 44 piezas, pero existe la posibilidad de fabricar aún más.



Figura R.9. Prototipos del componente 3 fabricado en Nylon PA66 30% fibra de vidrio.

Una vez que se obtuvieron los componentes, se les hizo el postproceso de taladrado para lograr el ensamble de los componentes y que estas pudieran ser ocupadas para el fin requerido.

Para asegurar que los agujeros estuvieran colocados en el lugar correcto, se ideó una platilla para la perforación de las componentes mediante el taladro de banco. En la figura R.10 se puede notar los componentes ensamblados mediante los tornillos, se muestra cómo es el ensamble en diferentes ángulos.



Figura R.10. Ensamble de los prototipos para la fijación de bambú.

5.4 Prueba Experimental

Se hizo una prueba experimental para verificar que el diseño y material propuesto en el presente trabajo son viables para el uso de los componentes en el campo, igualmente sirvió para comprobar que los resultados del análisis estructural estuvieran apegados a la realidad.

La prueba se hizo fijando el componente 2 en una solera utilizando tornillos y tuercas, la solera se sujetó a un banco de trabajo mediante una prensa de tornillo con el fin de mantener inmóvil los componentes, esta configuración se realizó de tal manera de asemejar la configuración propuesta para el análisis estructural, el componente como se muestra en la figura, se inmovilizó en uno de sus extremos mientras que en el otro extremo se sujetó un contenedor para líquidos con capacidad de 20 litros.



Figura R.11. Configuración de los elementos para la prueba experimental.

En el contenedor se vertió agua para generar una fuerza y someter a esfuerzo el componente, la fuerza generada es la que se da debido al peso del agua, este peso pudo estimarse mediante la densidad característica del agua $\rho_{h_2o} = 1 \frac{g}{cm^3}$, es decir que cada litro de agua tiene una masa de aproximadamente 1 kilogramo y un peso de alrededor de 10 Newtons.

El contenedor de agua se llenó litro a litro para poder apreciar el comportamiento del componente al estar sometido a la fuerza, se vertieron un total de 20 litros lo que equivale aproximadamente a 200 Newtons valor cercano al establecido en la simulación del análisis estructural; El componente con cada litro vertido se fue desplazando ciertos milímetros en la dirección de la fuerza, sin embargo no se llegó a fracturar y tampoco se apreció ninguna deformación en él, ya que al retirar el peso del agua, el componente volvió a su estado o geometría original.

5. Fabricación de cavidades y proceso de inyección.

En la figura R.12 se pueden apreciar las etapas en las que se vertió el líquido en el contenedor, se puede apreciar el comportamiento del componente al someterse a la fuerza del peso del agua, se nota como el componente tuvo cierto desplazamiento, sin embargo este no se fracturo.



Figura R.12. Etapas de vertido en el contenedor de agua en donde se aprecia el desplazamiento del componente.

Por lo que de esta prueba se puede comprobar que el componente resistirá las fuerzas que se propusieron en el presente trabajo, si bien el componente tendrá un desplazamiento en el caso más crítico (200 [N]), este no se deformara ni se fracturara, por tanto se afirma que el componente es funcional.

Conclusiones

De acuerdo con los objetivos formulados durante este trabajo, se planteó el rediseño de los componentes propuestos por el cliente, esta propuesta de rediseño estuvo encaminada a la obtención de piezas conformes, es decir, piezas que no presentarán defectos de fabricación.

Se propuso el diseño de los moldes para la fabricación de los prototipos, este diseño se centró en la posibilidad de acción con los recursos existentes en la facultad de ingeniería.

Se fabricaron las placas de cavidades diseñadas para el moldeo de los prototipos, para esta fabricación se ocuparon procesos de manufactura tales como fresado, torneado, taladrado, se hizo uso de máquinas-herramientas tanto manuales como de control numérico, para los cuales fue necesario calcular los parámetros de corte requeridos para la operación de los procesos.

Finalmente se obtuvieron piezas del componente 2 mediante el proceso de inyección de plásticos y como se validó en el análisis de MFA la masa fundida de plástico lleno completamente las cavidades, el tiempo de inyección real en la maquina estuvo acorde con la predicción del programa MFA, además de que la calidad estética de las piezas fue aceptable tal como se predijo en el análisis de MFA.

Se reafirma que para la fabricación de un herramental que permita la manufactura de productos plásticos de buena calidad, es conveniente que estén involucrados desde la primera etapa, el ingeniero de diseño de las piezas, el ingeniero de diseño del herramental, y el ingeniero de proceso, lo que posibilita que el diseño tanto del producto como del herramental sean totalmente compatibles con el proceso de moldeo de plástico, y así se asegura la obtención de piezas con las características planteadas por los diseñadores.

Contar con software de ingeniería, facilita a los ingenieros involucrados en el desarrollo del producto, la creación y el análisis de los conceptos propuestos para el diseño y fabricación de productos, en este trabajo se tuvo acceso a programas computacionales que permitieron el modelado de las modificaciones hechas a los componentes, el modelado de las propuestas de cavidades, asimismo los análisis estructurales, de flujo y de manufactura que posibilitaron la validación y predicción del comportamiento de los componentes y de los procesos antes de llevarlos a cabo, con el fin de tener la certeza de obtener los productos con las características requeridas por el cliente.

Las simulaciones hechas tanto para el proceso de manufactura de los herramientas como para el moldeo de los componentes, son de gran ayuda pues proporcionan información que es útil, para cuando se llevan a cabo los procesos en las máquinas-herramienta, de estas predicciones se logró conocer el tiempo aproximado de manufactura de los herramientas, así como datos

concernientes al proceso de inyección tales como: tiempo de inyección, presión de inyección, tiempo de enfriamiento, confianza de llenado y calidad de las piezas, y que al compararlos, se asemejan a los obtenidos en la realidad como se muestran en las tablas comparativas.

Por su parte para verificar la resistencia de las componentes fabricados, es necesario que se realicen pruebas mecánicas de flexión mediante una máquina universal de ensayos mecánicos, para posteriormente compararlos con los resultados arrojados por las simulaciones, sin embargo como una aproximación se comprobó mediante una prueba experimental que el componente es capaz de soportar las cargas propuestas sin presentar deformaciones o rupturas por lo que lo hace viable para su utilización en la construcción de estructuras.

De igual manera, con este trabajo se demuestra que conocer las características y particularidades del moldeo por inyección, así como los principales defectos de fabricación provocados por el incorrecto diseño de las piezas (según se ha documentado en la literatura) permite que en los nuevos diseños y rediseños de las piezas, se procure suprimir las geometrías y conceptos que producen defectos e incluir los que aseguren la obtención de piezas con la calidad requerida tanto por los diseñadores como por el cliente.

Además con estos sujetadores se hace una aportación a la arquitectura y a la construcción de estructuras ligeras con bambú, ya que en la actualidad en México no se tiene un referente para la construcción con este material y por tanto no existe un método para el control de dichas estructuras, con estos sujetadores es posible de controlar los ángulos de los empalmes y de esta manera lograr estructuras sólidas que puedan soportar hasta 2 niveles de construcción.

Bibliografía

- [1] Kazmer, D. (2007). Injection Mold Design Engineering. Alemania: Hanser
- [2] Menges, G. y Mohren, G. (1983). Moldes para inyección de plástico (3^{ra} ed.). México: Ediciones G. Gili.
- [3] Modern, Plastic y Harper, C. (2000). Manual de Plásticos, Vol. 1. EUA: Mc Graw Hill.
- [4] Rees, H. (2001). Understanding Injection Mold Design. EUA: Hanser Gardner.
- [5] Malloy, R. A. (2010). Plastic Part Design for Injection Molding. EUA: Hanser Publications.
- [6] Osswald, T. y Giménez E. (2008). Procesado de Polímeros - Fundamentos. Colombia: Guadales.
- [7] Instituto Mexicano del plástico industrial. (2000). Enciclopedia del plástico 2000, Tomo 3. México: Centro Empresarial del Plástico.
- [8] Dieter, G. & Schmidt L. (2009). Engineering Design (4th ed.). EUA: McGraw-Hill.
- [9] Ulrich, K. & Eppinger, S. (2013). Diseño y desarrollo de productos (5ta ed.). México: McGraw-Hill.
- [10] Gerling, H. (1984). Alrededor de las Máquinas-Herramienta (3^{ra} ed.). Barcelona: Reverté.
- [11] Groover, M. (2007). Fundamentos de Manufactura Moderna (3era ed.). México: McGraw-Hill
- [12] González, E. (2008). Diseño y Manufactura de un Porta Moldes para Inyección de Plásticos. Tesis de Licenciatura. Universidad Nacional Autónoma de México.
- [13] Hidalgo, O. Manual de Construcción con Bambú. Colombia: Estudios técnicos Colombianos.
- [14] Martínez, S. (2015). Bambú como Material Estructural: Generalidades, Aplicaciones y Modelización de una Estructura Tipo. Tesis de Grado. Universidad Politécnica de Valencia.
- [15] Ortiz, A. (2013). Modelado de Procesos de Manufactura. México: Universidad Nacional Autónoma de México.
- [16] Callister, W. (2016). Ciencia e Ingeniería de Materiales. México: Reverte.
- [17] Beer, F. y Russell E. (2010) Mecánica de Materiales (5ta ed.). México: McGraw Hill.
- [26] Garcia O. (2002). Processing and Handling Nylon Presentation to the LRGV SPE Meeting. Ticona Technical Service. Celanese.

Fuentes

- [18] Vergara E. (2014). ¿Cómo unir las varas de bambú? Recuperado el 9 de Agosto de 2017 de: <https://www.archdaily.mx/mx/02-345367/en-detalle-las-uniones-en-bambu>.
- [19] EcoHabitar (2011). El bambu como material de construcción. Recuperado el 11 de Agosto de 2017 de: <http://www.ecohabitar.org/el-bambu-como-material-de-construccion>.
- [20] Uribe E. y Revelo M. (2014). Entalladuras, empalmes y uniones de piezas de bambú en la construcción. Recuperado el 18 de Agosto de 2017 de: <http://entalladurasyunionesbambu.blogspot.mx/>.
- [21] Stratasys. (2015). Injection Molding Design Guidelines. Recuperado el 22 de Agosto de 2016 de: <https://www.stratasysdirect.com/resources/design-guidelines/injection-molding>.
- [22] Dupont. Engineering Polymers – General design Principles. Recuperado el 8 de Septiembre de 2017 de: <http://academic.sun.ac.za/mad/catalogs/DFMGuidelines/DuPontGeneralDesignPrinciples.pdf>.
- [23] Herramientas Cleveland. (2016). Edmills - Parámetros de operación de cortadores verticales. Recuperado el 29 de enero de 2018 de: <http://www.herramientascleveland.com.mx/soporte-tecnico/endmills>.
- [24] Celanese. Recuperado el 01 de Septiembre de 2018 de: <http://tools.celanese.com/>.
- [25] Weather Atlas. Recuperado el 06 de Septiembre de 2018 de: <https://www.weather-mx.com/es/mexico/ciudad-de-mexico-clima>.

Anexos

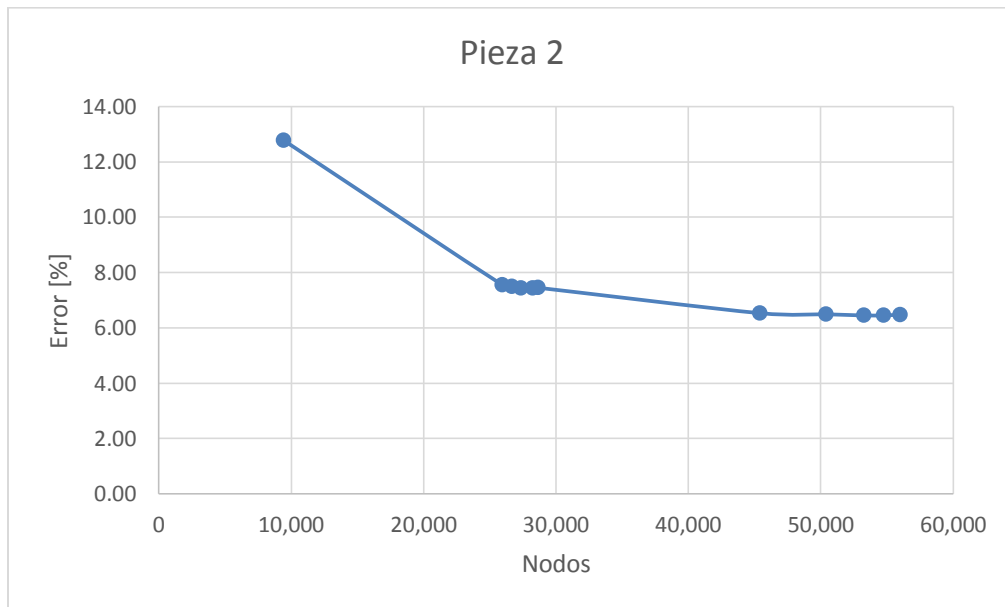
Anexo 1. Análisis estructural.

Sensibilidad de malla.

Componente 2

	Longitud [mm]	Elementos	Nodos	Error [%]
Inicial	4.08	4,883	9,452	12.77
Iteración 1	2	14,754	25,948	7.55
Iteración 2		15,169	26,693	7.49
Iteración 3		15,537	27,364	7.44
Iteración 4		16,083	28,237	7.44
Iteración 5		16,325	28,640	7.45
Iteración 6	1.5	26,899	45,418	6.53
Iteración 7		30,014	50,415	6.49
Iteración 8		31,770	53,268	6.45
Iteración 9		32,681	54,758	6.45
Iteración 10		33,483	55,990	6.47

Tabla A.1.1. Datos del proceso de sensibilidad de malla para el componente 2.

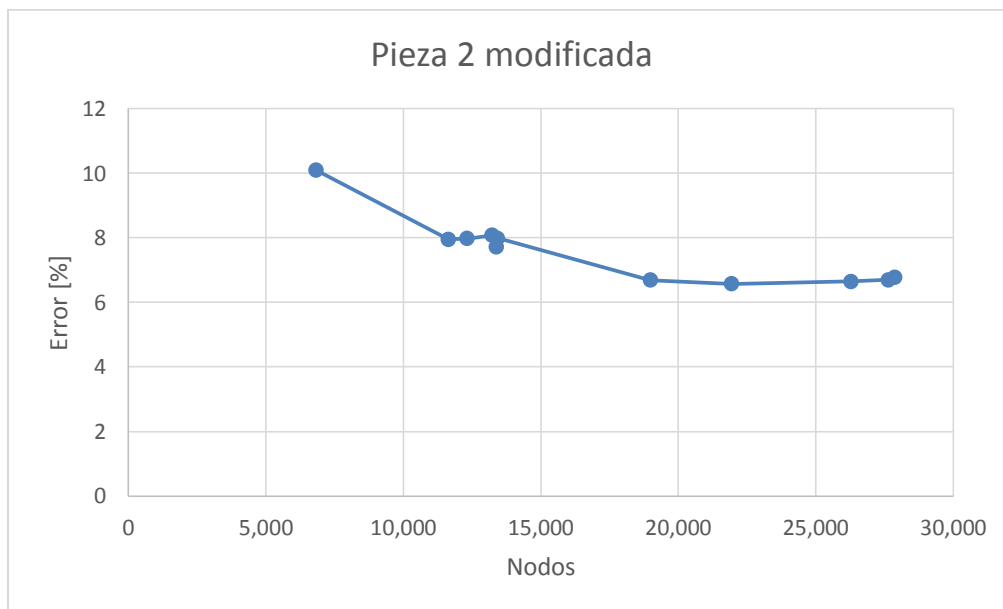


Gráfica A.1.1 Número de nodos y porcentaje de error en el proceso de sensibilidad de malla del componente 2.

Anexo 1. Análisis estructural.

	Longitud [mm]	Elementos	Nodos	Error [%]
Inicial	3.49	3,408	6,835	10.09
Iteración 1	2	6,319	11,643	7.95
Iteración 2		6,726	12,325	7.98
Iteración 3		7,283	13,232	8.08
Iteración 4		7,388	13,398	7.72
Iteración 5		7,391	13,436	7.99
Iteración 6	1.5	10,600	18,993	6.69
Iteración 7		12,445	21,947	6.57
Iteración 8		15,405	26,288	6.65
Iteración 9		16,360	27,647	6.7
Iteración 10		16,515	27,887	6.78

Tabla A.1.2. Datos del proceso de sensibilidad de malla para el componente 2 modificado.

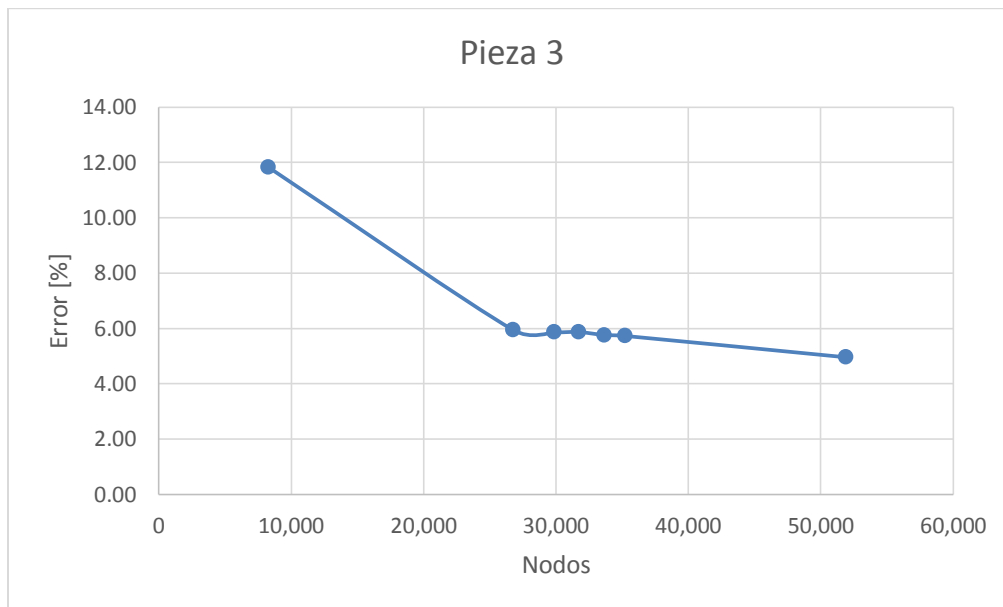


Gráfica A.1.2 Número de nodos y porcentaje de error en el proceso de sensibilidad de malla para el componente 2 modificado.

Componente 3

	Longitud [mm]	Elementos	Nodos	Error [%]
Inicial	5.54	4,216	8,263	11.83
Iteración 1	2	15,222	26,776	5.94
Iteración 2		17,097	29,874	5.86
Iteración 3		18,213	31,715	5.87
Iteración 4		19,421	33,665	5.76
Iteración 5		20,419	35,226	5.73
Iteración 6	1.5	30,942	51,906	4.96

Tabla A.1.3. Datos del proceso de sensibilidad de malla para el componente 3.

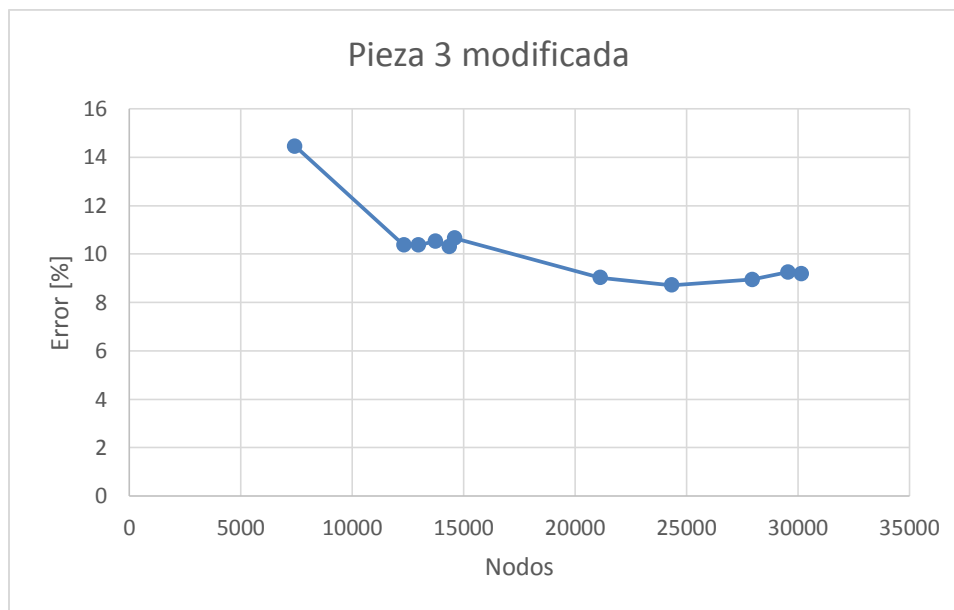


Gráfica A.1.3. Número de nodos y porcentaje de error en el proceso de sensibilidad de malla para el componente 3.

Anexo 1. Análisis estructural.

	Longitud [mm]	Elementos	Nodos	Error [%]
Inicial	3.5	3739	7427	14.45
Iteración 1	2	6671	12326	10.36
Iteración 2		7054	12976	10.37
Iteración 3		7509	13737	10.53
Iteración 4		7884	14357	10.3
Iteración 5		8038	14616	10.65
Iteración 6	1.5	11937	21142	9.02
Iteración 7		13912	24344	8.71
Iteración 8		16306	27959	8.94
Iteración 9		17368	29569	9.25
Iteración 10		17776	30172	9.19

Tabla A.1.4. Datos del proceso de sensibilidad de malla para el componente 3 modificado.



Gráfica A.1.4. Número de nodos y porcentaje de error en el proceso de sensibilidad de malla para el componente 3 modificado.

Resultados de Análisis estructural.

Componente 2

Desplazamiento

Al igual que sucedió con el primer componente, el desplazamiento aumento al hacer las modificaciones a el diseño original, sin embargo, estos desplazamientos se mantienen despreciables con respecto al espesor de pared nominal, pues el desplazamiento mayor en el modelo, es 5 veces más pequeño (0.737 [mm]) que el espesor de pared nominal (4 [mm]).

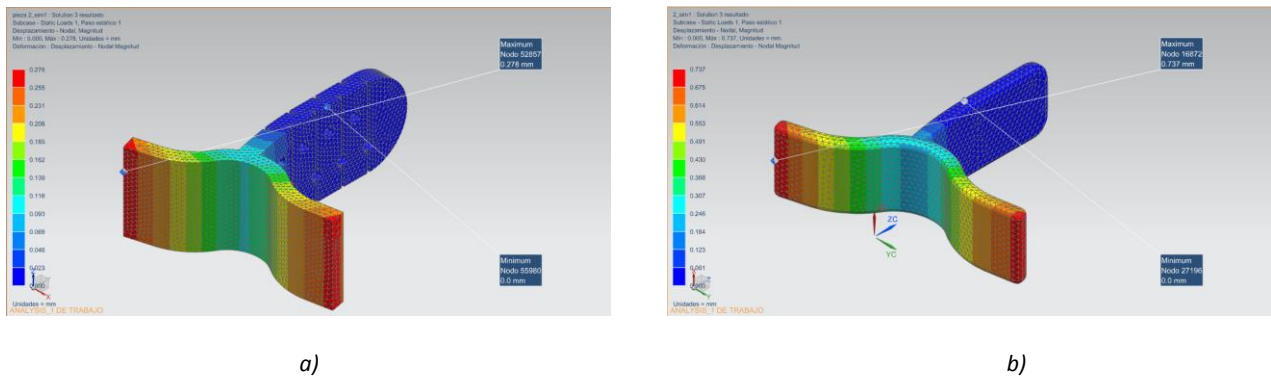


Figura A.1.1. Desplazamientos en el modelo del componente 2 al estar sometidos a las cargas propuestas. a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

En el caso del análisis con el material sin refuerzo de fibras (fig A.1.2), para este componente los desplazamientos aumentaron considerablemente, paso de un desplazamiento máximo de 0.737 [mm] a uno de 1.41 [mm], este desplazamiento aumento al doble, esto debido a la reducción que se tuvo en el módulo de Young por parte del material sin refuerzo.

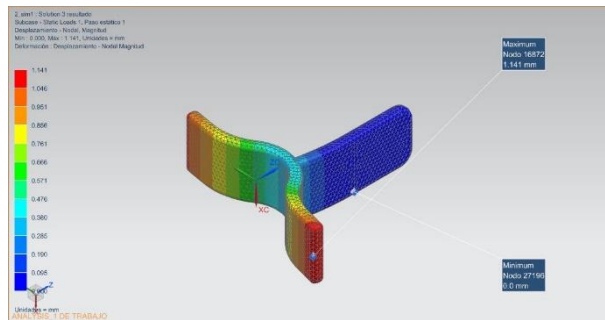


Figura A.1.2. Desplazamientos en el modelo del componente 2 al estar sometido a las cargas propuestas y con el material sin refuerzos.

Esfuerzo

Para este caso el esfuerzo mayor presente en los dos modelos fue el mismo, el esfuerzo más grande se presentó en la zona en donde el modelo se ensambla con el componente 1, este esfuerzo tiene una magnitud de 24.7 [MPa], magnitud más baja que la magnitud del esfuerzo de cedencia marcado en la literatura para un nylon sin refuerzo de fibras. Si bien el esfuerzo mayor en los dos componentes es muy parecido, debido a que la reducción del espesor de pared no fue tan drástica como en el modelo 1, en la figura A.1.3 se puede notar que si hubo un cambio en la distribución de esfuerzos a causa de la modificación de las geometrías. El factor de seguridad para este componente es de 1.8 calculado con respecto al esfuerzo de cedencia de un nylon sin refuerzo de fibras.

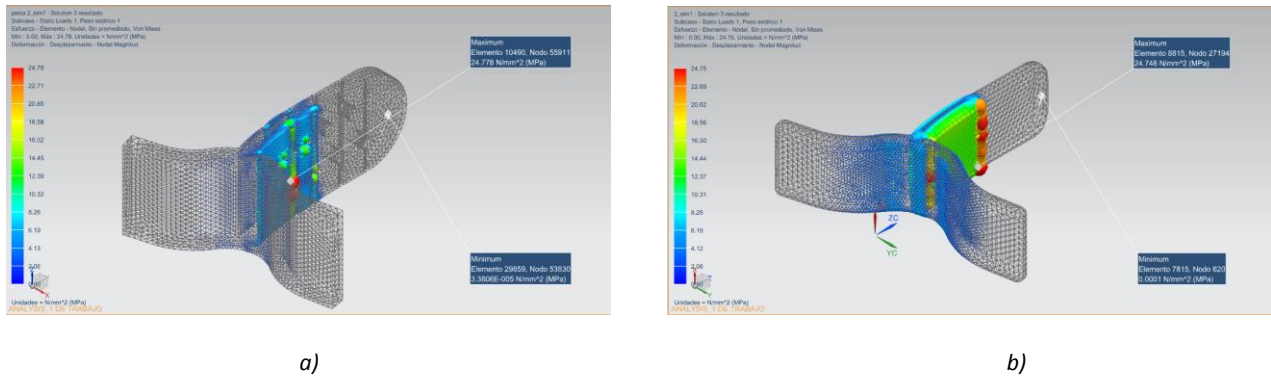


Figura A.1.3. Esfuerzos en el modelo del componente 2 al estar sometidos a las cargas propuestas. a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

Con respecto a los esfuerzos, para el material con un comportamiento isotrópico (fig A.1.4), similar a lo que ocurrió con el primer componente se mantuvieron en un valor similar para el material con refuerzo de fibras (24 [MPa]), es decir aún se encuentran por debajo del esfuerzo de cedencia.

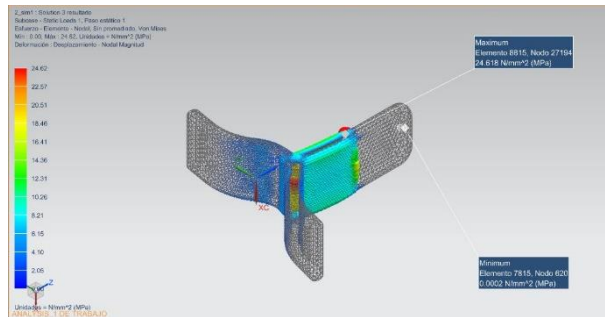


Figura A.1.4. Esfuerzos en el modelo del componente 2 al estar sometidos a las cargas propuestas y con el material sin refuerzos.

Deformación

Se presentaron deformaciones muy pequeñas al estar sometido a carga este modelo, la deformación más grande para este modelo es de 0.00358 [m/m] la cual se puede despreciar pues está en un orden mucho menor que el espesor nominal del componente.

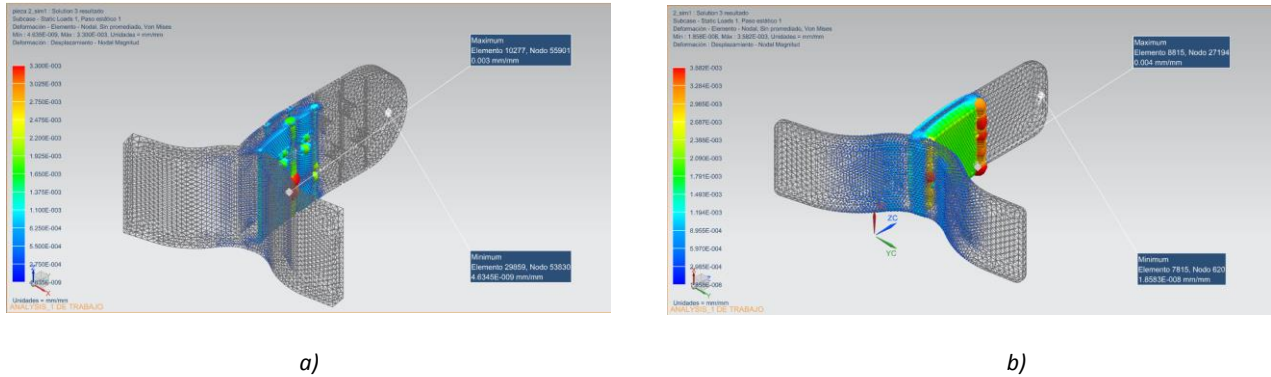


Figura A.1.5. Deformaciones en el modelo del componente 2 al estar sometidos a las cargas propuestas. a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

Las deformaciones en similitud con los desplazamientos también aumentaron se pasó de una deformación de 0.004 [m/m] para el Nylon con refuerzo de fibras a una de 0.006 [m/m] para el Nylon si el refuerzo de fibras, aunque la deformación máxima aumento esta se quedó en el rango de las micras.

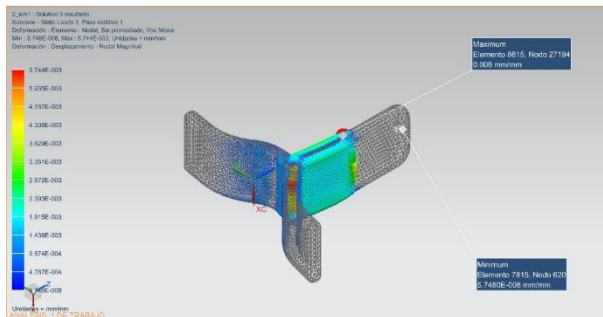


Figura A.1.6. Deformaciones en el modelo del componente 2 al estar sometidos a las cargas propuestas y con el material sin refuerzos.

Componente 3

Desplazamiento

En la figura A.1.7 se muestra que al igual que ocurre en los anteriores casos, los desplazamientos aumentan de pasar del modelo original al modelo rediseñado, debido a la reducción de los espesores y por consiguiente a la reducción del área que soporta la carga, sin embargo, estos desplazamientos se pueden considerar pequeños con respecto a las dimensiones del modelo, ya que estas son mayores en un orden de 5 veces o más.

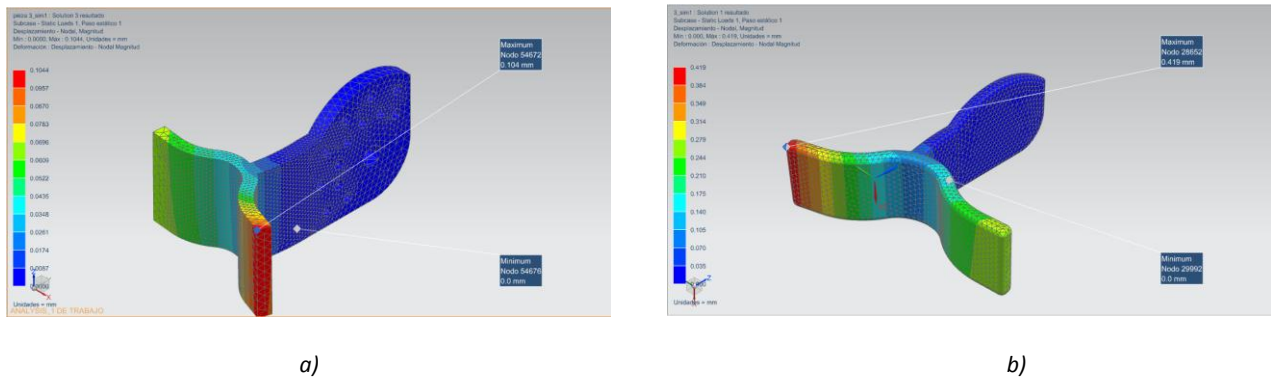


Figura A.1.7. Desplazamientos en el modelo del componente 3 al estar sometidos a las cargas propuestas. a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

Para este componente en el caso de análisis del material sin refuerzo, los desplazamientos al igual que en los otros casos aumentaron linealmente ya que, como se nota en la figura A.1.8, los resultados tienen el mismo comportamiento sin embargo solo cambian los valores de los desplazamiento, para el caso del material sin refuerzo se tuvo un desplazamiento de 0.648 [mm] mientras que para el material reforzado se tuvo 0.419 [mm], estos desplazamientos máximos se presentaron en la misma región del componente.

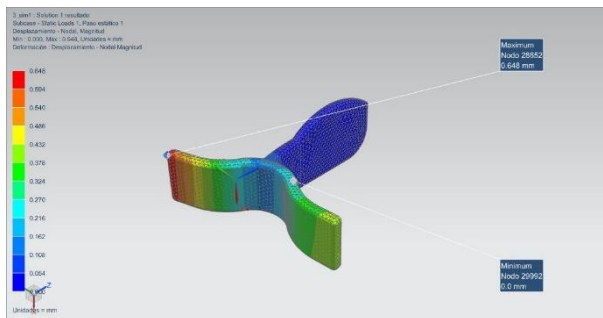


Figura A.1.8. Desplazamientos en el modelo del componente 3 al estar sometidos a las cargas propuestas y el material sin refuerzos.

Esfuerzo

Los esfuerzos de Von Mises para el tercer modelo se puede notar en la figura A.1.9, el cual en su mayor cantidad lo sufre en la zona donde se creó la restricción de movimiento, el esfuerzo más grande al estar el modelo en su máxima carga es del orden de 34.26 [MPa], el cual es 3 veces mayor que en el concepto original, no obstante, está por debajo del esfuerzo de cedencia caracterizado para un nylon, el factor de seguridad calculado para este modelo es de 1.3.

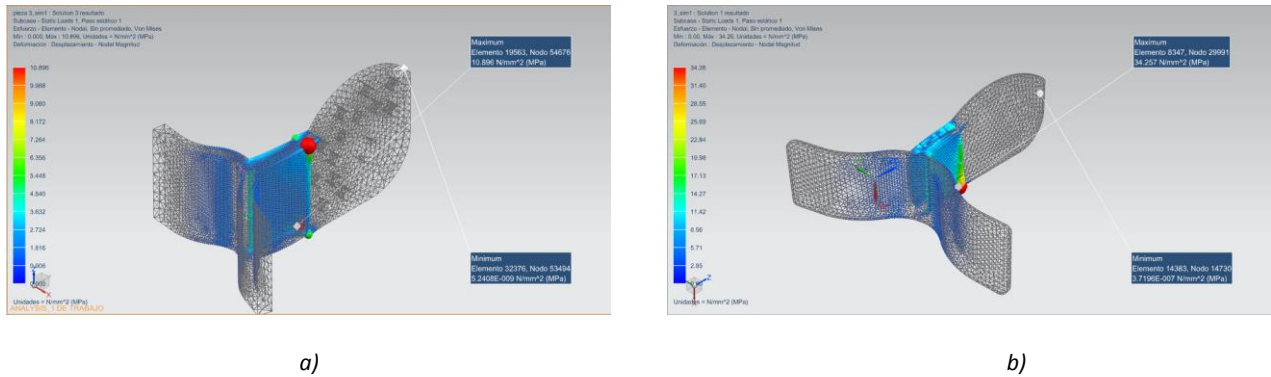


Figura A.1.9. Esfuerzos en el modelo del componente 3 al estar sometidos a las cargas propuestas.
 a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

Como paso en los casos anteriores los esfuerzos para este componente con el nylon sin refuerzo se mantuvieron cercanos al valor de esfuerzos para el material con el reforzado con fibras 34 [MPa], los esfuerzos están por debajo del esfuerzo de cedencia para el material por lo que se considera que no tendrá deformaciones permanentes.

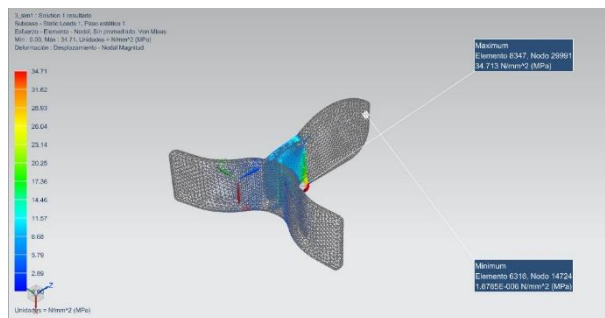


Figura A.1.10. Esfuerzos en el modelo del componente 3 al estar sometidos a las cargas propuestas y con el material sin reforzos

Deformación

En la figura A.1.11 se muestra que similar a los casos anteriores la deformación sufrida por el tercer modelo es bastante pequeña pues la deformación más grande sufrida en este modelo es de 0.0049 [m/m], lo cual nos indica que el componente resistirá las cargas que en él se apliquen.

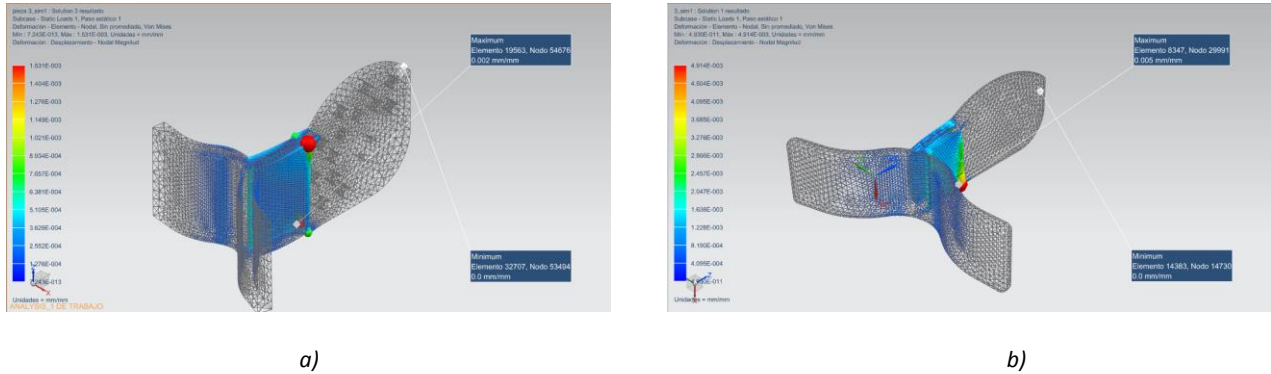


Figura A.1.11. Deformaciones en el modelo del componente 3 al estar sometidos a las cargas propuestas. a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

En este componente las deformaciones tuvieron un incremento debido a la reducción de las propiedades mecánicas del material paso de una deformación máxima de 0.0049 a 0.0081 [m/m], sin embargo debido a que los esfuerzos son más pequeños que el esfuerzo de cedencia, se considera esta deformación como una deformación elástica, es decir que al retirar la fuerza el componente volverá a su geometría original.

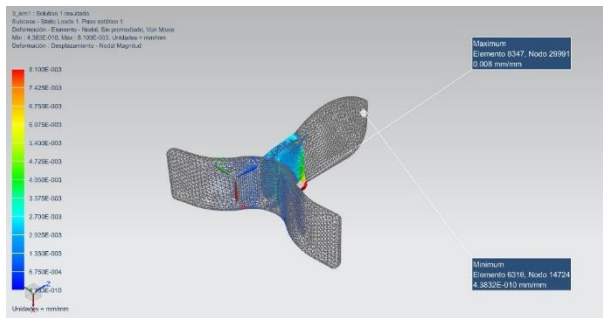


Figura A.1.12. Deformaciones en el modelo del componente 3 al estar sometidos a las cargas propuestas y con el material sin refuerzos.

Anexo 2. Análisis de flujo.

Componente 2

Tiempo de llenado

El segundo componente como se mencionó en la parte de rediseño, redujo sus dimensiones geométricas, por lo que, al igual que para el primer caso, el tiempo de inyección disminuyó debido a la menor cantidad de volumen que ocupa el componente, en este caso el tiempo de inyección paso de 2.05 [s] para el modelo original, a 1.38 [s] del modelo que sufrió modificaciones.

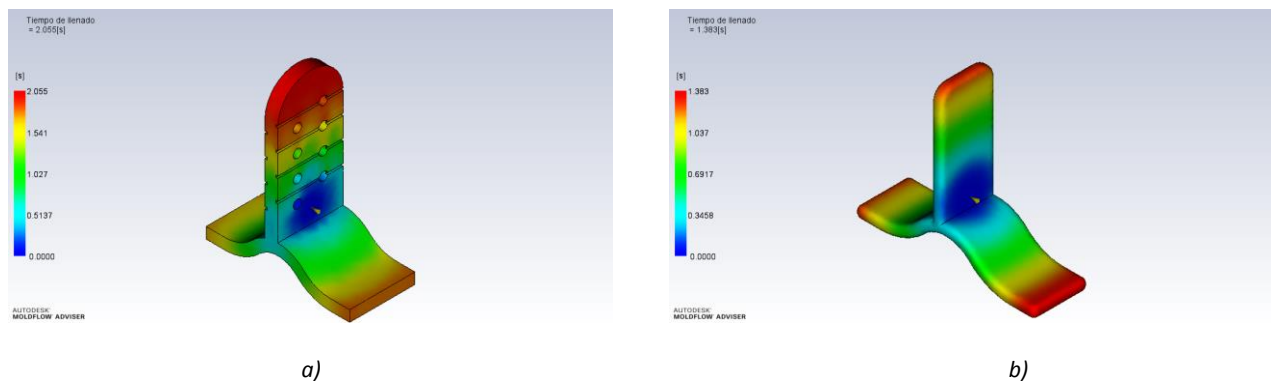
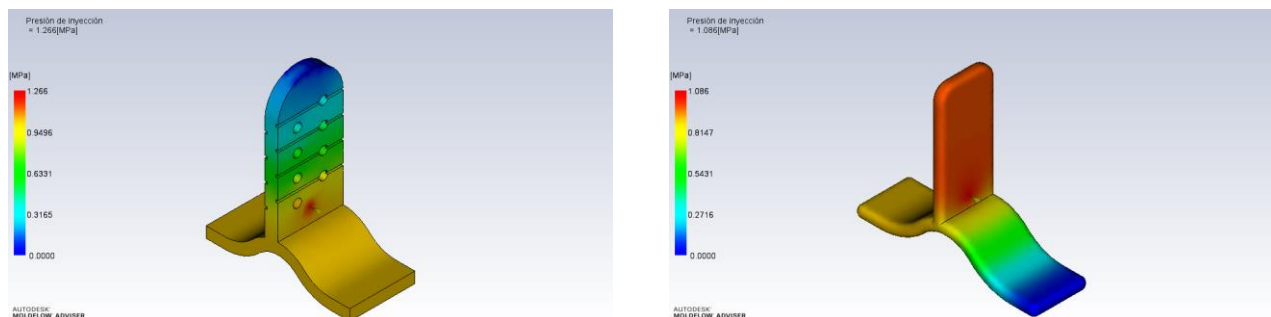


Figura A.2.1. Tiempo de llenado de las cavidad 2.
a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

Presión de inyección

Para el segundo modelo, teniendo el punto de inyección en la misma posición en los dos conceptos, pero con las modificaciones planteadas, se puede notar que la presión de inyección para el concepto rediseñado disminuyó de 1.26 [MPa] a 1.08 [MPa] por lo que se necesitará una presión de inyección menor para llenar el componente, lo que repercutirá en la fuerza de cierre necesaria en la máquina de inyección.



a)

b)

Figura A.2.2. Presión de inyección que se genera al interior de la cavidad 2 al llenarse con la masa fundida.
a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

Estimación de hendiduras.

Del mismo modo que para el componente anterior, las hendiduras presentes en los conceptos modificados se redujeron, a causa de la reducción de material debido a la modificación de las dimensiones geométricas del concepto, en este caso se pasó de una estimación de hendiduras de 0.38 [mm] a 0.14 [mm], que si bien aún aparecen en las zonas donde se concentra la mayor cantidad volumétrica de material, estas pueden ser despreciables debido a la magnitud que presentan.

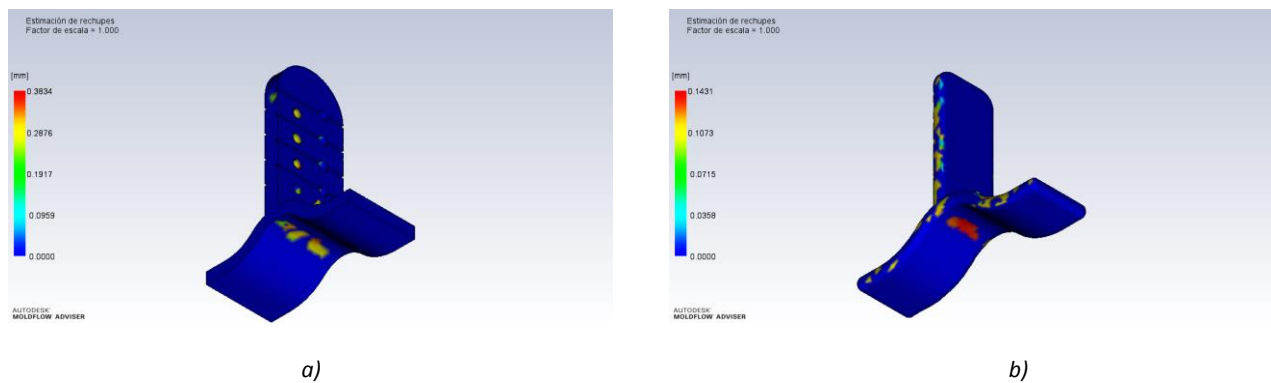


Figura A.2.3. Hendiduras generadas en el componente 2 debido al gradiente de temperatura en el enfriamiento.
a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

Componente 3

Tiempo de llenado

Siguiendo con lo establecido en los dos componentes anteriores se puede notar la disminución en el tiempo de inyección de cada uno (fig. A.2.4) lo que nos ayudara a tener una producción más rápida de los mismos, ya que un volumen pequeño es más rápido de inyectar que un volumen grande, esto se puede comprobar mediante las simulaciones de los tres componentes ya que en los tres se redujo el volumen y en las tres simulaciones subsecuentes, el tiempo de inyección disminuyo.

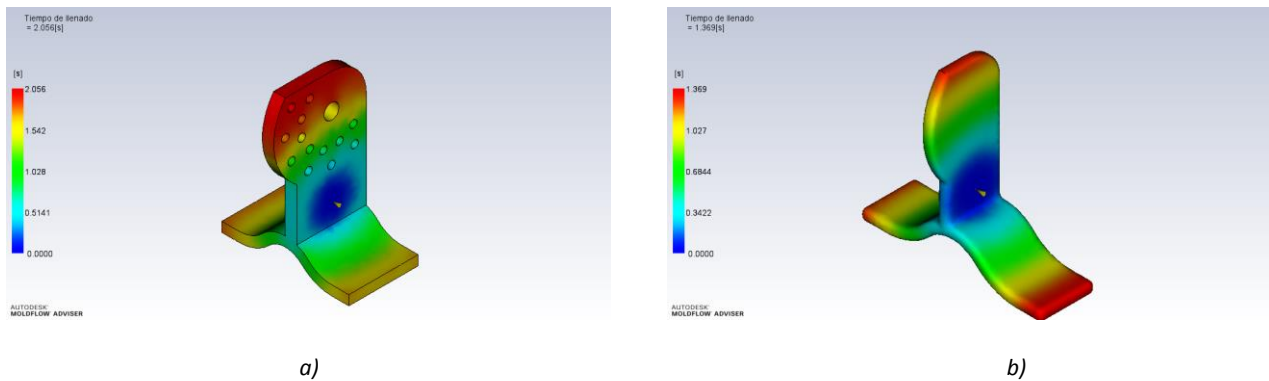


Figura A.2.4. Tiempo de llenado de las cavidad 3.
a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

Presión de inyección

Para el ultimo componente, la presión de inyección también fue a la baja, paso de una presión de 1.7 [MPa] a 1.22 [MPa], esta disminución se pudo dar debido a que en la modificación del concepto se suprimieron ciertas geometrías que complicaban el flujo del plástico al llenar la cavidad, en este concepto la geometría que restringía el paso del plástico fueron los agujeros presentes en el concepto original, al suprimirlos en el rediseño, el plástico tiene un camino libre por donde fluir, por otra parte las esquinas a 90 grados también generan una restricción al flujo del material, por lo que al redondear las esquinas se pretende que el flujo sea más dinámico y se necesite menos presión para llenar la cavidad.

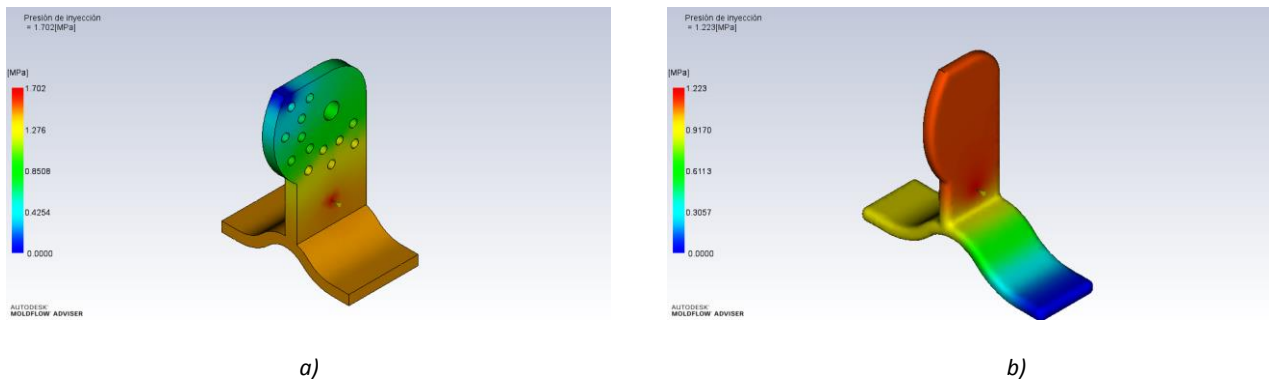


Figura A.2.5. Presión de inyección que se genera al interior de la cavidad 3 al llenarse con la masa fundida.
a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

Estimación de hendiduras

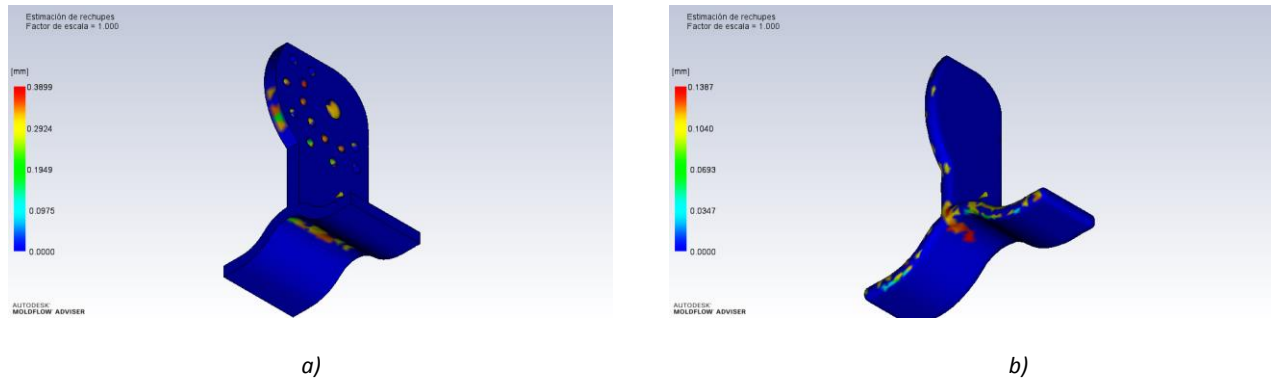


Figura A.2.6. Hendiduras generadas en el componente 3 debido al gradiente de temperatura en el enfriamiento.
 a) Modelo del diseño original, b) Modelo del diseño modificado.

Por ultimo al igual que se esperó en los dos componentes anteriores, debido a la disminución del espesor de pared nominal en las piezas, en este concepto también hubo un decremento en la aparición de hendiduras en la pieza, en este caso la disminución fue de 0.38 [mm] a 0.138 [mm], por lo que si llegara a aparecer una hendidura en el componente moldeado, solo tendría una profundidad máxima de 0.1 milímetros, así se asegura que los componentes no tendrán un cambio significativo en su geometría y por consiguiente en su rendimiento mecánico.

Anexo 3. Parámetros de operación para cortadores.



PARÁMETROS DE OPERACIÓN CORTADORES VERTICALES

Material	Machine Steel Hard Brass & Bronze Electrolytic copper, Mild steel Formings	Hierro fundido, Mild Steel, Bronze y latón de media dureza	Latón y bronce, Aleaciones de aluminio, Abrasive plastics	Aluminio Plásticos Madera
Estilo de Cortadores Verticales	A.A.V. 2 ó más canales	A.A.V. Surface treatment helpful in cast iron 2 ó más canales	A.A.V. helices altas A.A.V. 1 ó 6 canales	A.A.V. helices altas A.A.V. 1 ó 6 canales
Velocidad (rotas los diámetros)	60-80 SFM	80-100 SFM	100-200 SFM	200-600 SFM
Diámetro	Velocidad RPM Avance Descarga de viruta por diente	Velocidad RPM Avance Descarga de viruta por diente	RPM Avance Descarga de viruta por diente	Velocidad RPM Avance Descarga de viruta por diente
1/16	3667-4888 .0002-.0005	4888-6111 .0002-.0005	6111-12222 .0002-.0005	12222 + .0002-.0005
3/32	2750-3259 .0002-.0005	3259-4073 .0002-.0005	4073-8146 .0002-.0005	8146 + .0002-.0005
1/8	1833-2440 .0002-.0010	2440-3056 .0002-.0010	3056-6112 .0002-.0010	6112 + .0002-.0010
3/16	1222-1625 .0002-.0010	1625-2037 .0002-.0010	2037-4074 .0002-.0010	4074-12222 .0002-.0010
1/4	917-1222 .0005-.0020	1222-1528 .0005-.0020	1528-3056 .0005-.0020	3056-9168 .0005-.0020
5/16	733-978 .0005-.0020	978-1222 .0005-.0020	1222-2444 .0005-.0020	2444-7332 .0005-.0020
3/8	611-815 .0010-.0030	815-1019 .0010-.0030	1019-2038 .0005-.0030	2038-6114 .0005-.0020
7/16	524-698 .0010-.0030	698-873 .0010-.0030	873-1746 .0005-.0030	1746-5238 .0005-.0020
1/2	458-611 .0010-.0030	611-764 .0010-.0030	764-1528 .0005-.0030	1528-4584 .0005-.0020
9/16	412-543 .0010-.0040	543-678 .0010-.0040	678-1356 .0005-.0040	1356-4071 .0005-.0030
3/8	367-489 .0010-.0040	489-611 .0010-.0040	611-1222 .0005-.0040	1222-3666 .0005-.0030
11/16	337-444 .0010-.0040	444-555 .0010-.0040	555-1110 .0005-.0040	1110-3330 .0005-.0030
3/4	306-407 .0010-.0040	407-509 .0020-.0060	509-1018 .0010-.0060	1018-3054 .0010-.0040
13/16	284-379 .0020-.0060	379-469 .0020-.0060	469-938 .0010-.0060	938-2814 .0010-.0040
7/8	262-349 .0020-.0060	349-436 .0020-.0060	436-872 .0010-.0060	872-2616 .0010-.0040
15/16	246-328 .0020-.0060	328-407 .0020-.0060	407-814 .0010-.0060	814-2442 .0010-.0040
1	229-306 .0020-.0060	306-382 .0020-.0060	382-764 .0020 +	764-2292 .0020 +
1-1/8	204-272 .0020-.0060	272-340 .0030 +	340-680 .0020 +	680-2040 .0020 +
1-1/4	183-244 .0030 +	244-306 .0030 +	306-612 .0020 +	612-1836 .0020 +
1-3/8	167-222 .0030 +	222-278 .0030 +	278-556 .0020 +	556-1668 .0020 +
1-1/2	153-204 .0030 +	204-255 .0030 +	255-510 .0030 +	510-1530 .0020 +
1-5/8	141-188 .0030 +	188-235 .0030 +	235-470 .0030 +	470-1410 .0020 +
1-3/4	131-175 .0030 +	175-218 .0030 +	218-436 .0030 +	436-1308 .0020 +
1-7/8	122-163 .0030 +	163-204 .0030 +	201-408 .0030 +	408-1224 .0030 +
2	115-153 .0030 +	153-191 .0030 +	191-382 .0030 +	382-1146 .0030 +
2-1/8	108-144 .0030 +	144-179 .0030 +	179-358 .0030 +	358-1074 .0030 +
2-1/4	102-136 .0030 +	136-170 .0030 +	170-340 .0030 +	340-1020 .0030 +
2-3/8	97-128 .0030 +	128-161 .0030 +	161-322 .0030 +	322-966 .0030 +
2-1/2	92-122 .0030 +	122-153 .0030 +	153-306 .0030 +	306-918 .0030 +
2-5/8	88-118 .0030 +	118-145 .0030 +	145-290 .0030 +	290-870 .0030 +
2-3/4	83-111 .0030 +	111-139 .0030 +	139-278 .0030 +	278-834 .0030 +
2-7/8	80-106 .0030 +	106-132 .0030 +	132-264 .0030 +	264-792 .0030 +
3	76-102 .0030 +	102-127 .0030 +	127-254 .0030 +	254-762 .0030 +

Figura A.3.1. Tabla de parámetros de operación para cortadores verticales de la marca Cleveland.

Anexo 4. Proceso de Manufactura.

Proceso	Diámetro herramienta [mm]	Material a cortar [mm]	Sobre material [mm]	Profundidad de corte [mm]	N° pasadas	Velocidad de husillo [rpm]	Avance [mm/min]	Tiempo [min]
Desbaste cavidad 1	3.175	7.5	0.25	1.50	5	2506	150	3
Desbaste cavidad 2	3.175	7.5	0.25	1.50	5	2506	150	3
Redondeado cavidad 1	3.175	0.75	0	0.75	1	3008	40	24
Redondeado cavidad 2	3.175	0.75	0	0.75	1	3008	40	24
Acabado cavidad 1	1.588	0.25	0.75	0.75	1	6015	40	18
Acabado Cavidad 2	1.588	0.25	0.75	0.75	1	6015	40	18
Taladrado orificio bebedero	6.350	12.7				652	50	1.27
Taladrado orificios sujeción	7.938	12.7				600	50	1.51
Taladrado cajas de tornillo	9.525	6				534	50	0.48
							Total	93.26

Tabla A.4.1. Ruta de trabajo para placa de platina fija del molde 2.

Proceso	diámetro herramienta [mm]	Material a cortar [mm]	Sobre material [mm]	Profundidad de corte [mm]	N° pasadas	Velocidad de husillo [rpm]	Avance [mm/min]	Tiempo [min]
Acabado cavidad 1	3.175	10.8	0	1.5	7	2506	150	18
Acabado cavidad 2	3.175	10.8	0	1.5	7	2506	150	18
Canal de alimentación	4.763	2.381	0	2.381	1	2032	20	9
Taladrado bebedero	7.938	10.8				562	50	0.26
Taladrado agujeros de soporte	9.525	10.8				501	50	0.55
							Total	45.81

Tabla A.4.2. Ruta de trabajo para placa flotante molde 2.

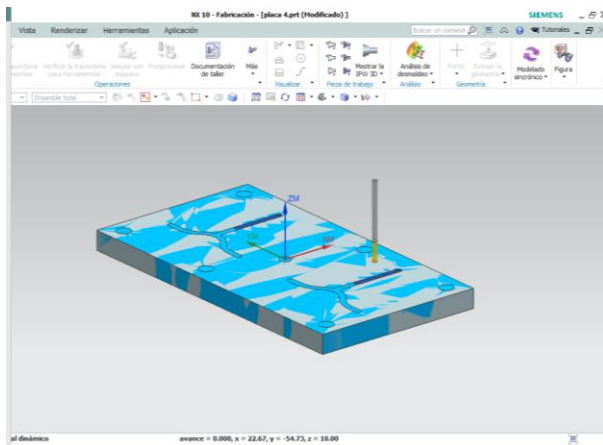
Proceso	diámetro herramienta [mm]	Material a cortar [mm]	Sobre material [mm]	Profundidad de corte [mm]	N° pasadas	Velocidad de husillo [rpm]	Avance [mm/min]	Tiempo [min]
Desbaste cavidad 1	3.175	7.7	0.25	1.5	5	2506	150	18
Desbaste cavidad 2	3.175	7.7	0.25	1.5	5	2506	150	18
Redondeo cavidad 1	3.175	0.75	0	0.75	1	3008	40	14

Redondeo cavidad 2	3.175	0.75	0	0.75	1	3008	40	14
Acabado cavidad 1	1.588	7.7	0.7	0.75	9	6015	40	6
Acabado cavidad 1	1.588	7.7	0.7	0.75	9	6015	40	6
Canal de alimentación	4.763	2.381	0	2.381	1	2032	20	12
Taladrado orificios sujeción	6.350	12.7				652	50	1.17
Taladrado cajas de tornillo	9.525	9				534	50	0.72
Taladrado orificios pernos botadores	3.175	12.7				601.53	50	1.09
Taladrado agujeros de soporte	9.525	12.7				501	50	0.62
							Total	91.60

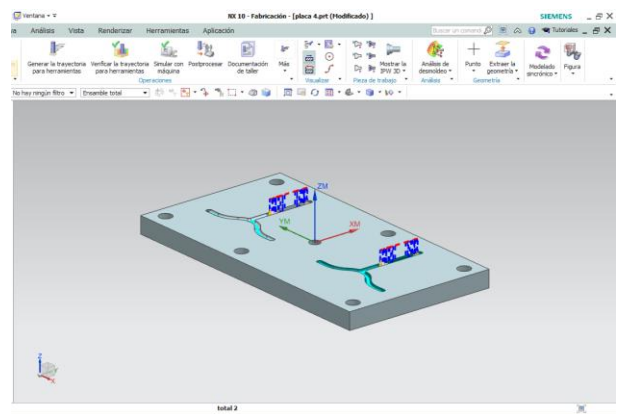
Tabla A.4.3. Ruta de trabajo para placa de platina móvil del molde 2.

Simulación de ruta de trabajo de placa de insertos de la platina fija molde 2.

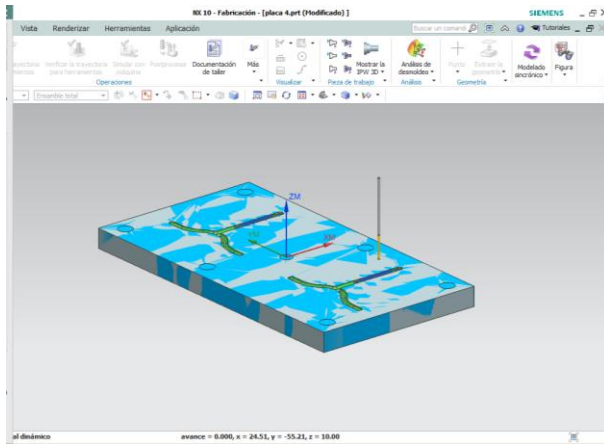
Se realizó la simulación de la ruta de trabajo para el mecanizado utilizando el centro de maquinado EMCO VMC 300 y cortadores de 1/8" para el desbaste de las cavidades, 1/16" para el acabado de las cavidades y 1/8" con punta de bola para el redondeo de los cantos de las cavidades, así como brocas de 1/4" para los agujeros de los pernos de sujeción y de 3/8" para las cajas de las cabezas de los tornillos.



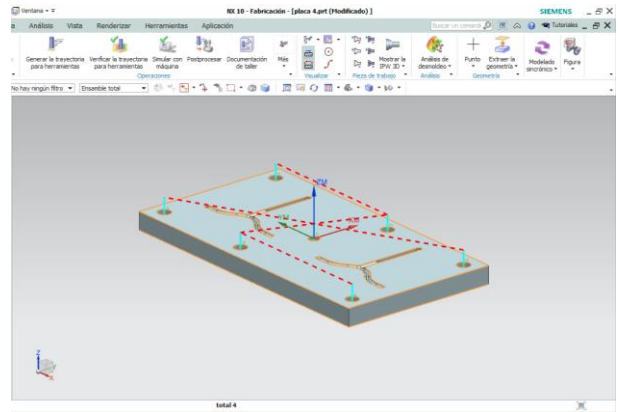
a)



b)



c)



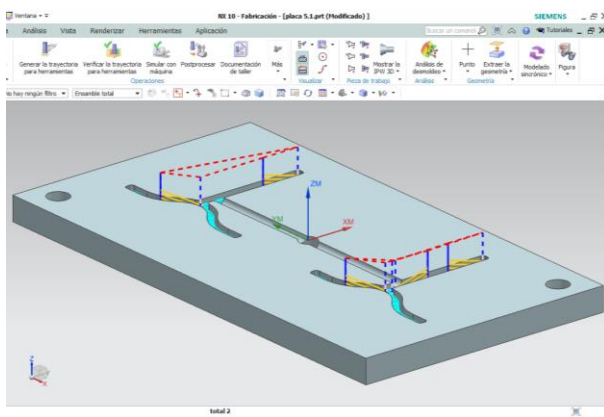
d)

Figura A.4.1. Simulación del proceso de maquinado de la placa de platina fija molde 2.

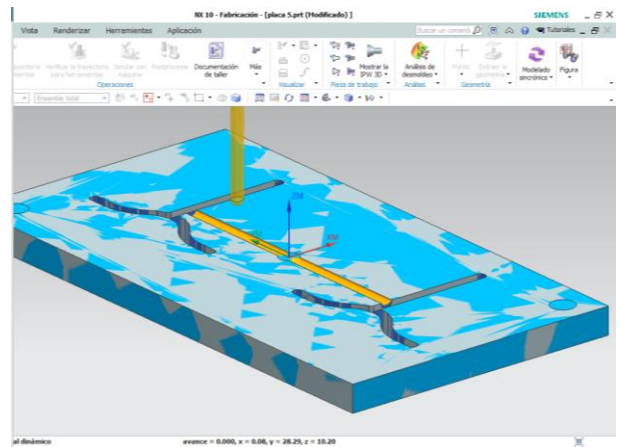
- a) Desbaste de cavidades 1 y 2 hta. 1/8", b) Movimiento de hta. para acabado de cavidades hta. 1/8" punta de bola,
 c) Acabado de cavidades hta. 1/16", d) Movimiento de herramientas para taladrado

Simulación ruta de trabajo de placa de insertos flotante molde 2.

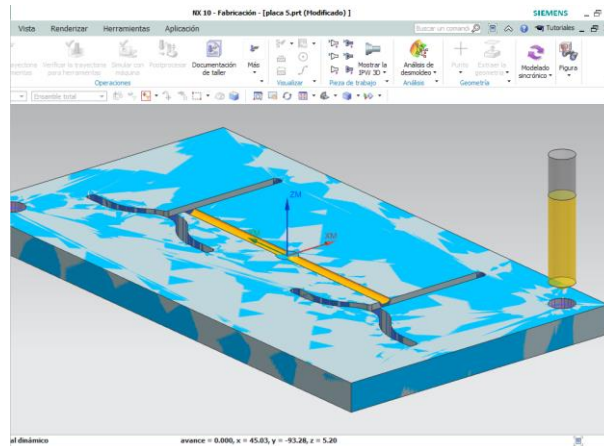
Se realizó la simulación de la ruta de trabajo para el mecanizado utilizando el centro de maquinado EMCO VMC 300 y cortadores 1/8" para el maquinado de las cavidades, 3/16" de punta de bola para el canal de alimentación y brocas de 3/8" para los orificios de los pernos guías y 5/16" para el orificio del bebedero.



a)



b)



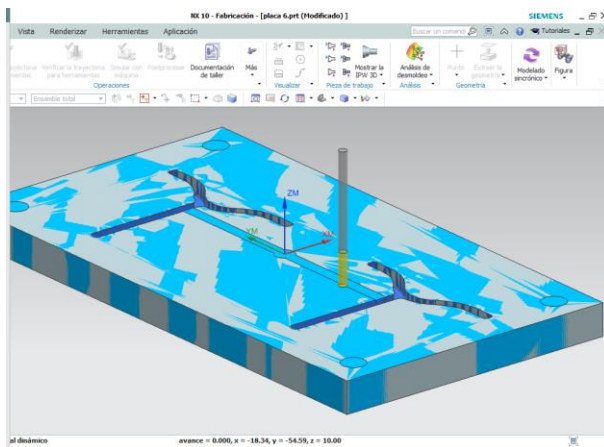
c)

Figura A.4.2. Simulación de proceso de maquinado de placa flotante del molde 2.

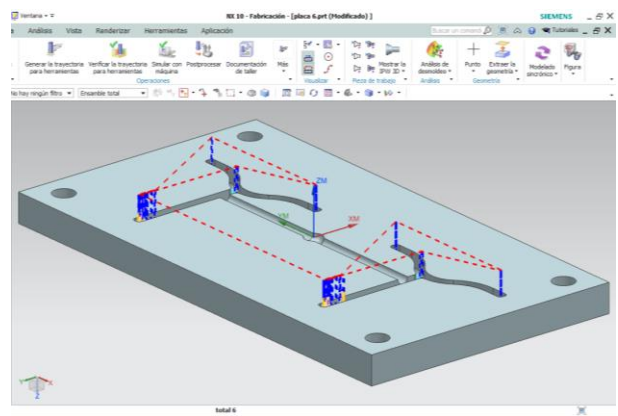
- a) Movimiento de hta. 1/8" para desbaste de cavidades, b) Maquinado del canal de alimentación hta. 3/16" punta de bola
c) Taladrado de orificios para pernos guía.

Simulación ruta de trabajo placa de cavidades de la platina móvil molde 1.

Se realizó la simulación de la ruta de trabajo para el mecanizado utilizando el centro de maquinado EMCO VMC 300 y cortadores de 1/8" para el desbaste de las cavidades, 1/16" para el acabado de las cavidades, 1/8" con punta de bola para el redondeo de las cavidades, además de brocas de 1/4" para los orificios de los tornillos de sujeción, 3/8" para las cajas de las cabezas de los tornillos así como para los oficios de los pernos de guía y 1/8" para los orificios de los pernos botadores.

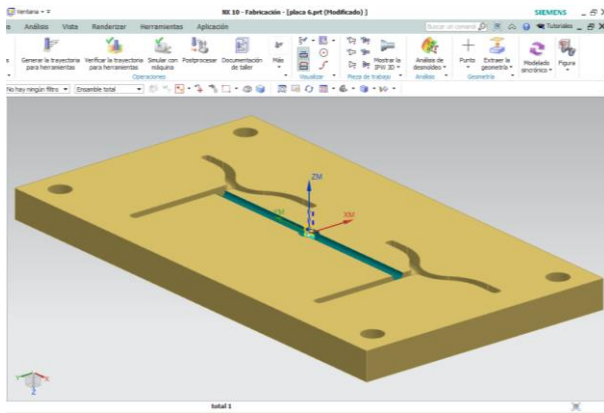


a)

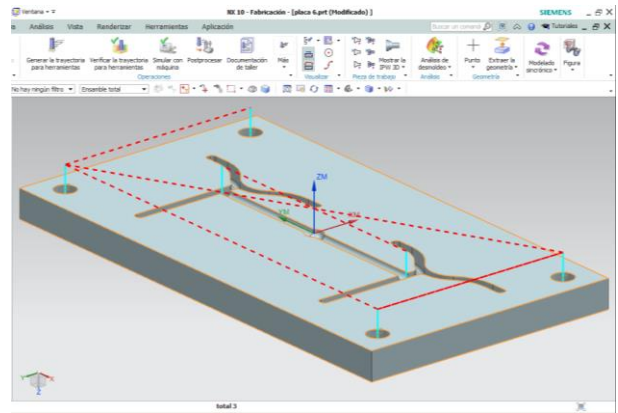


b)

Anexo 4 Proceso de manufactura



c)

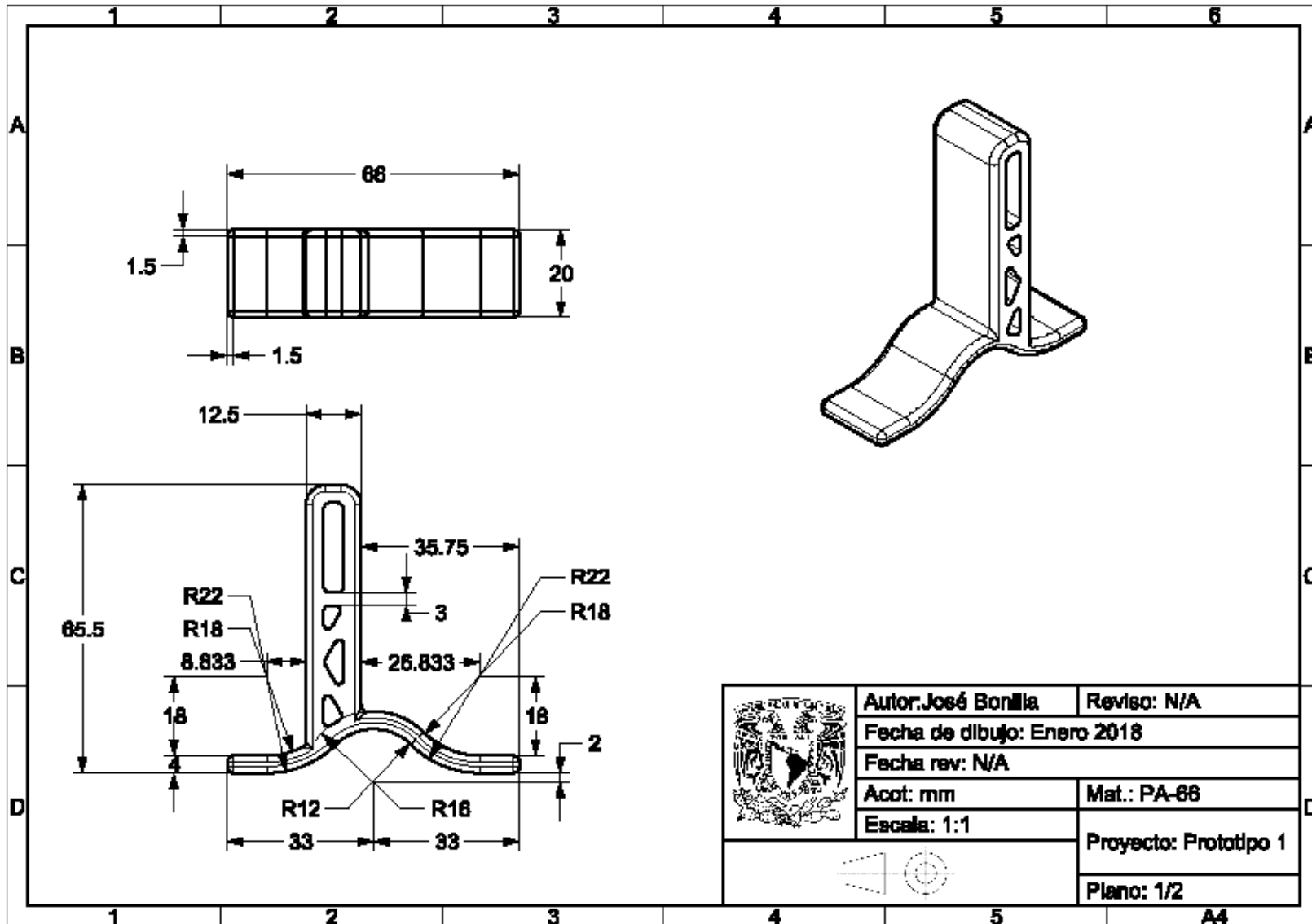


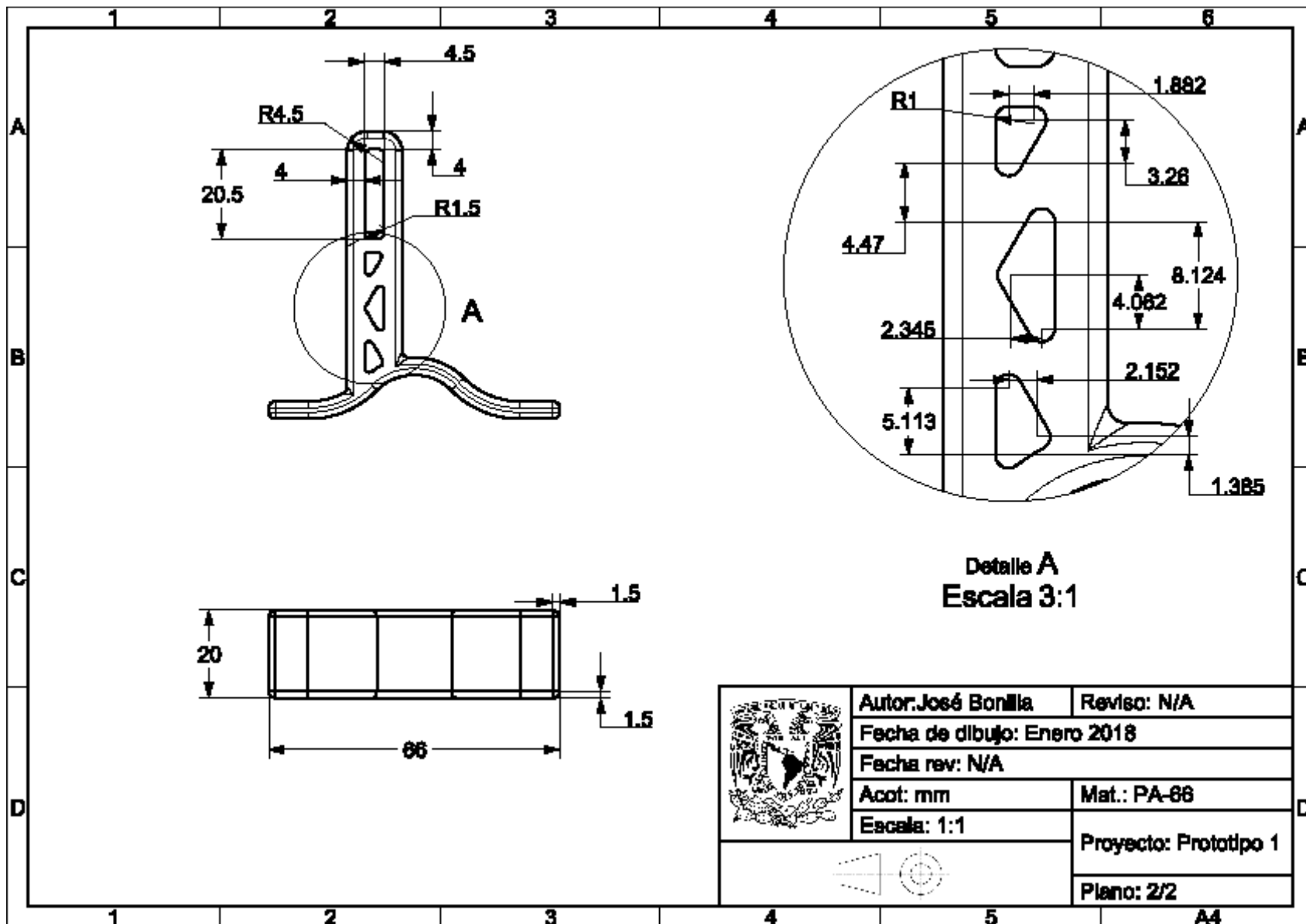
d)

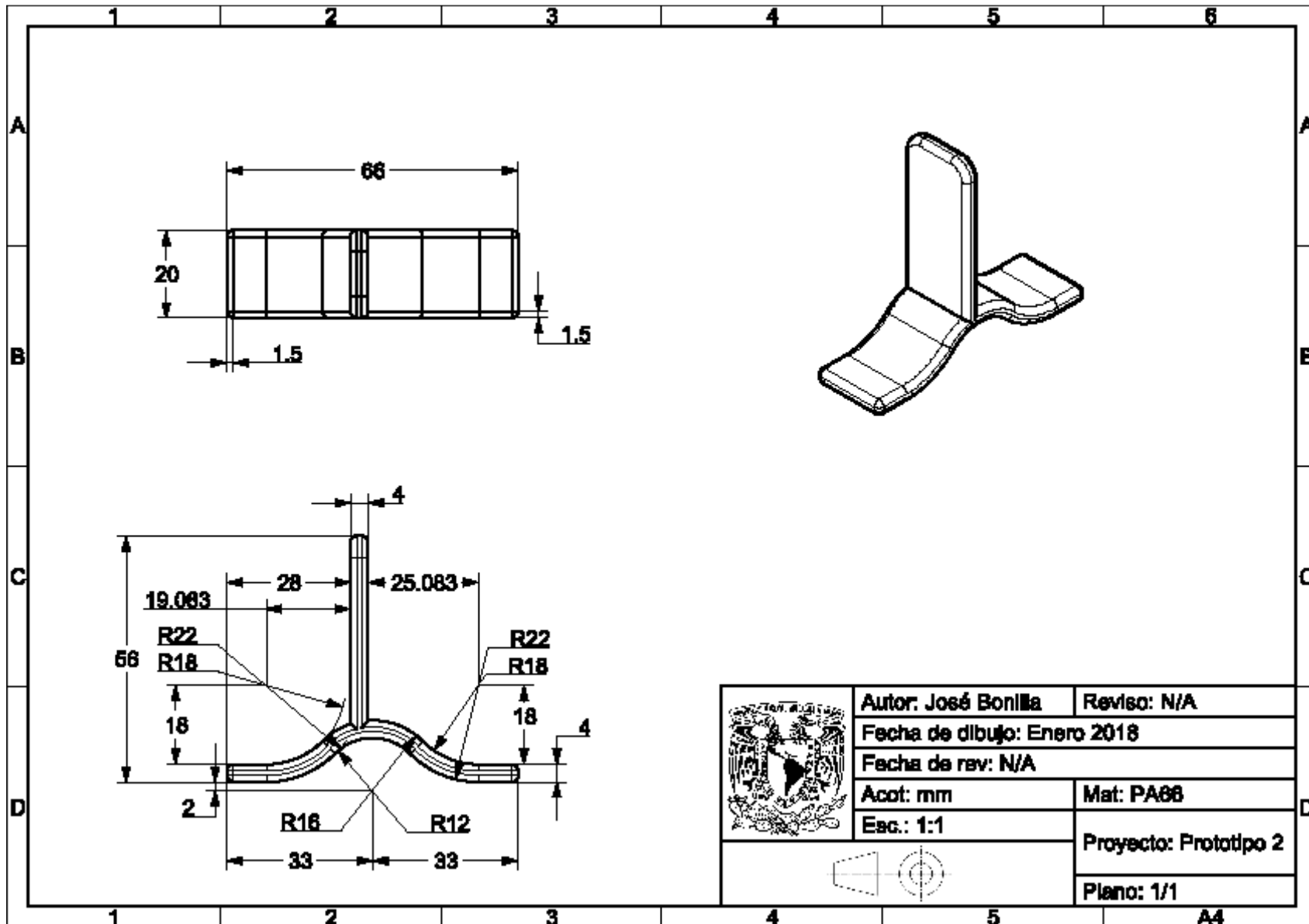
Figura A.4.3. Simulación de proceso de maquinado de placa de platina móvil molde 2.

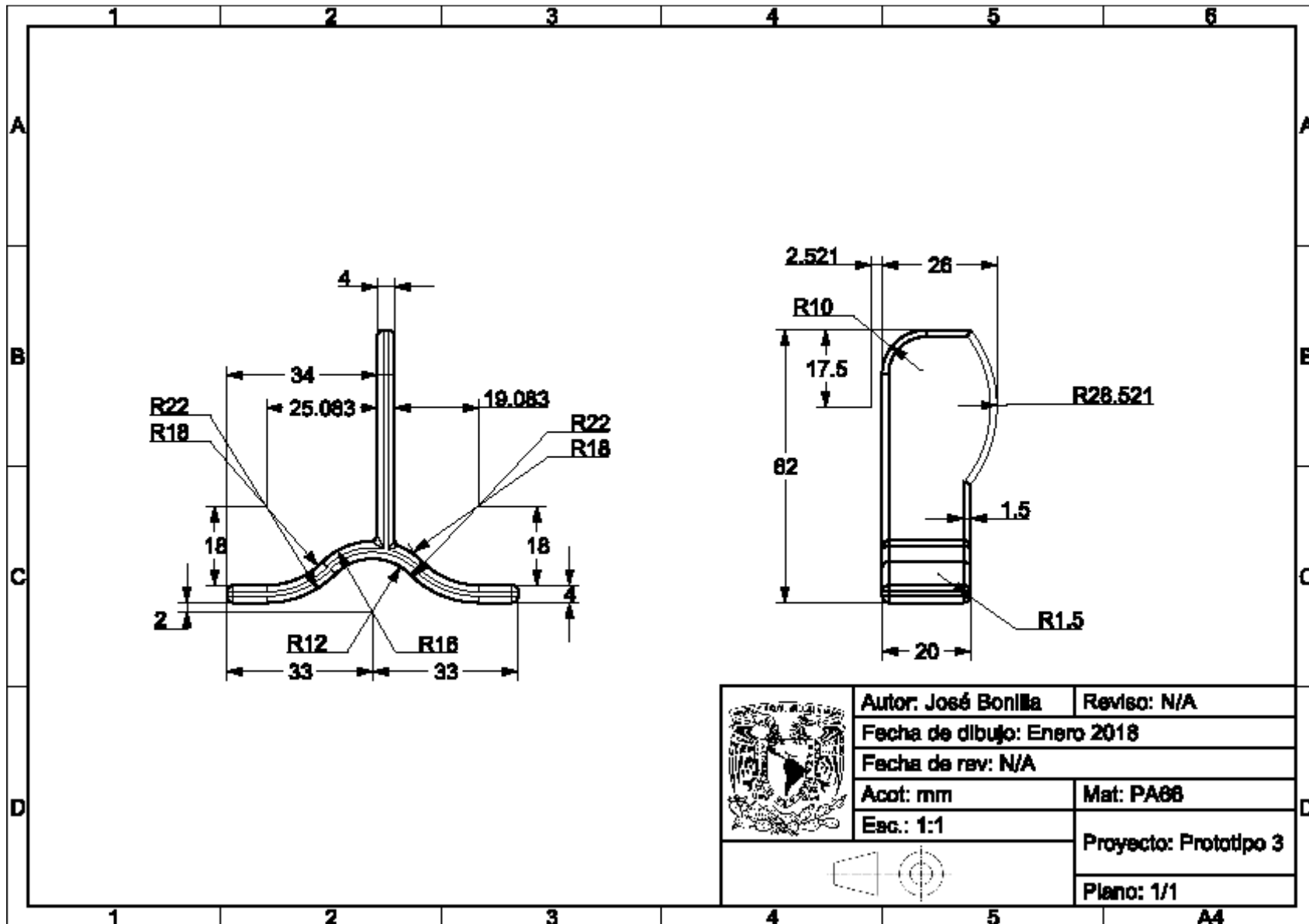
a) Desbaste de cavidades hta. 1/8", b) Movimiento de hta. 1/16 y 1/8 para acabado y redondeo de cavidades, c) Movimiento de hta. 3/16 para maquinado de canal de alimentación, d) Movimiento de htas. para taladrado de los orificios.

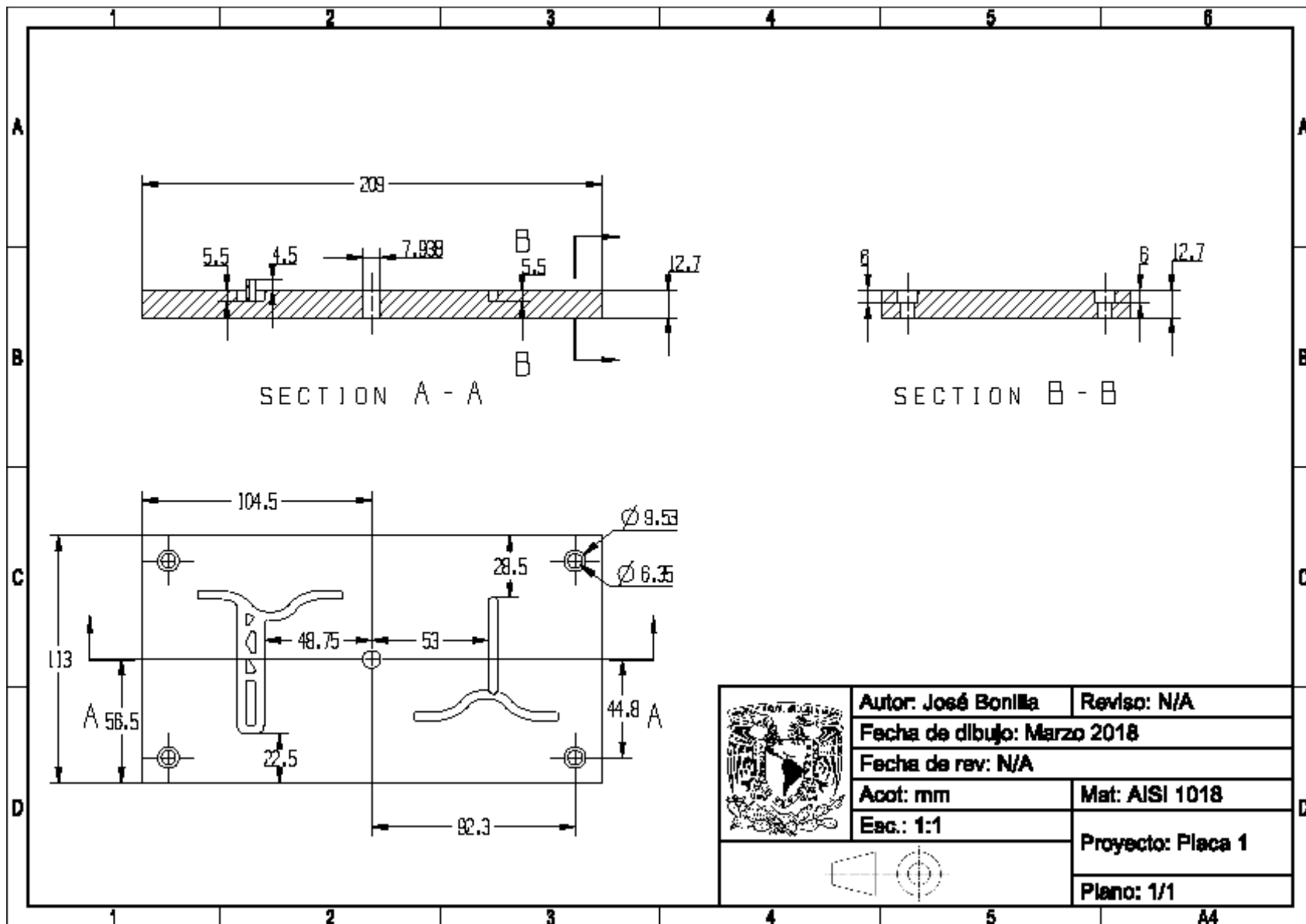
Anexo 5. Planos

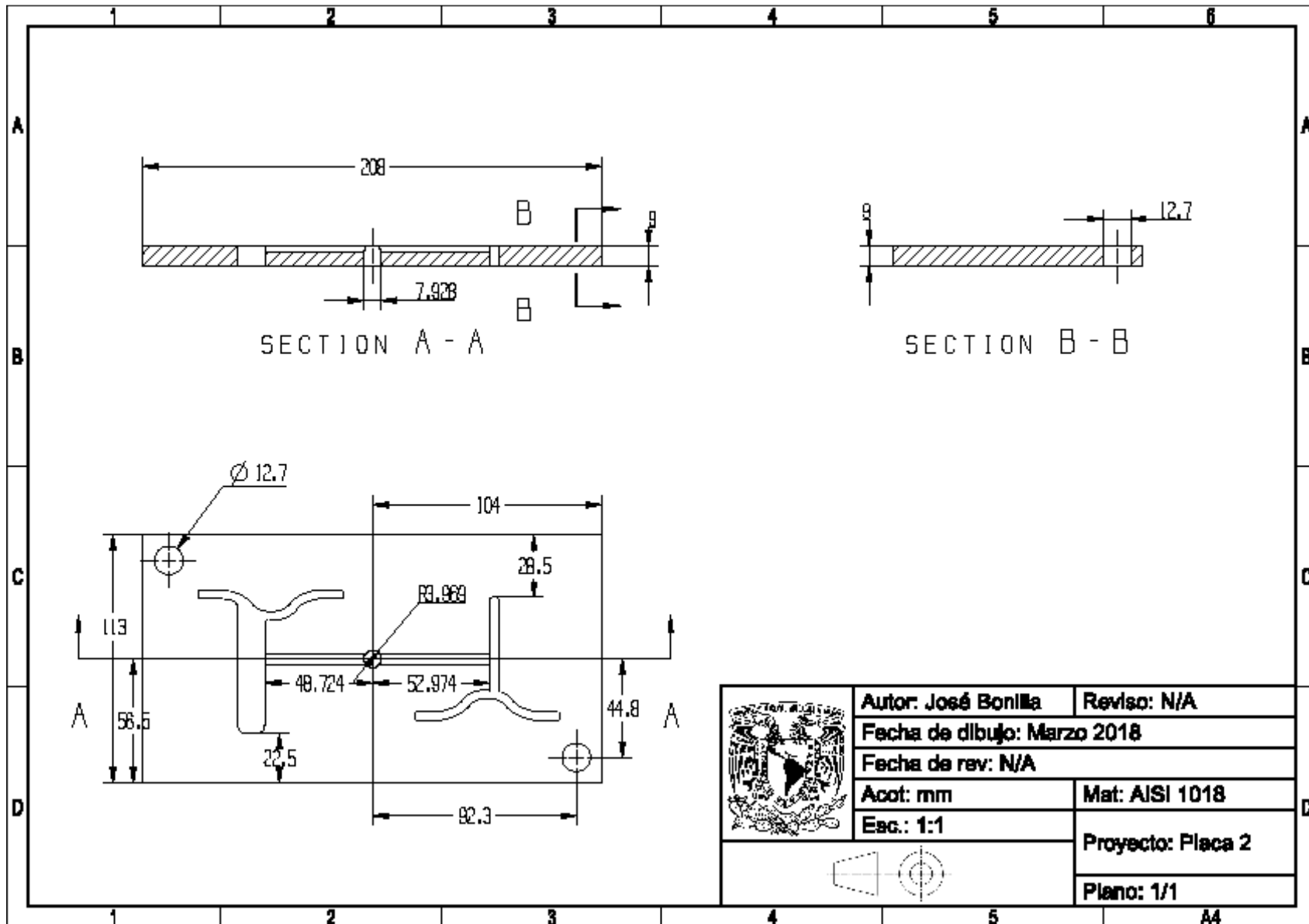


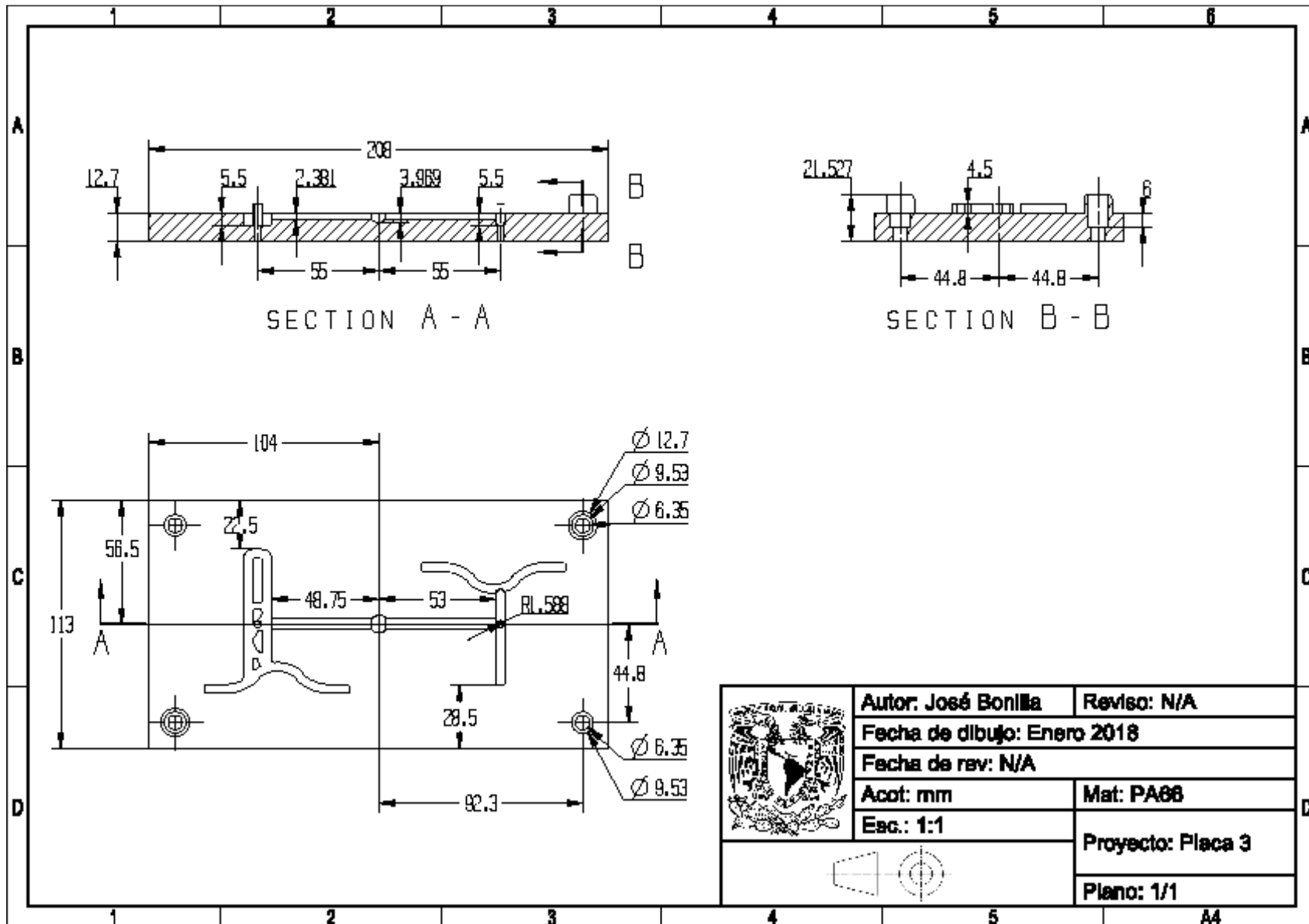


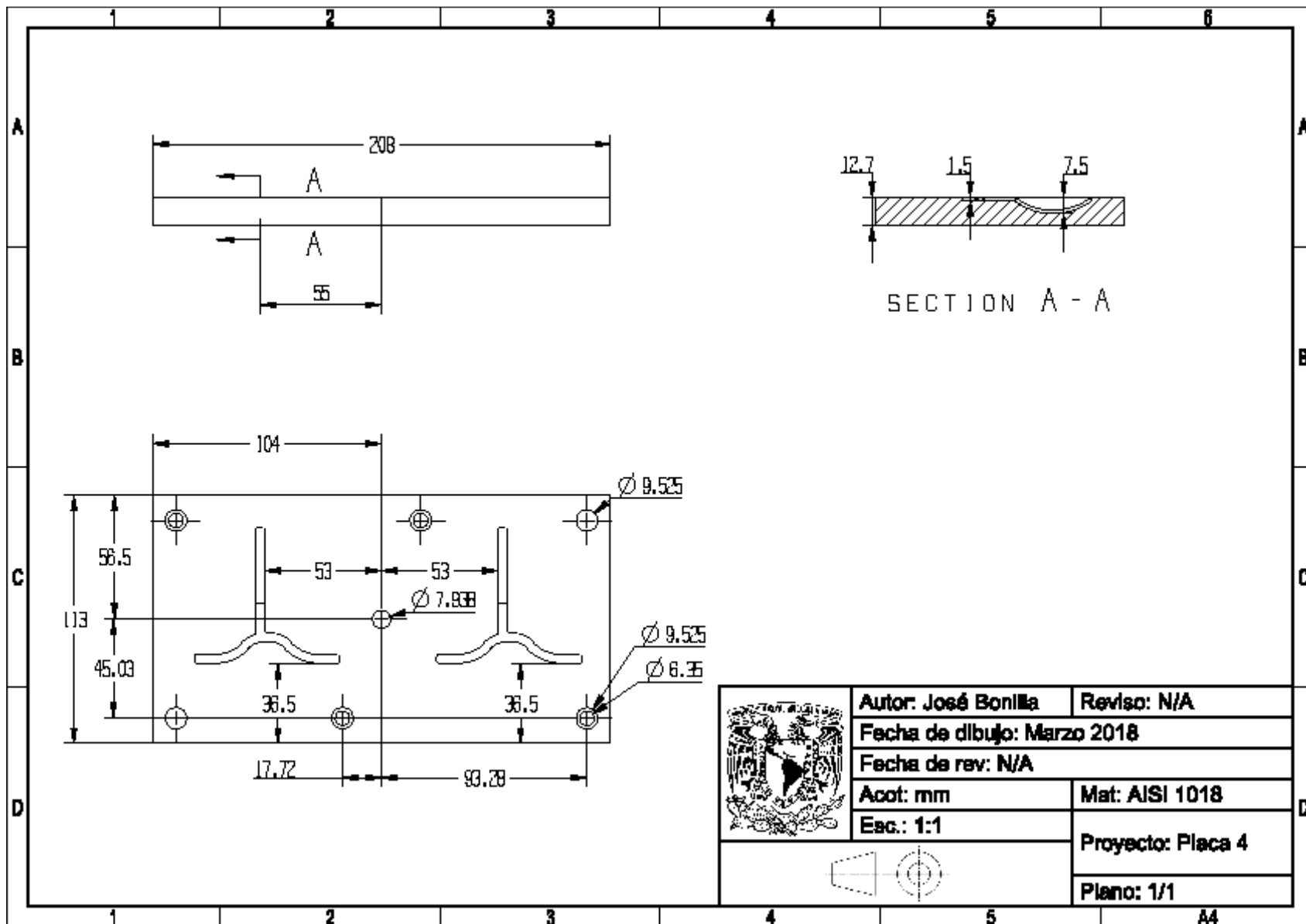


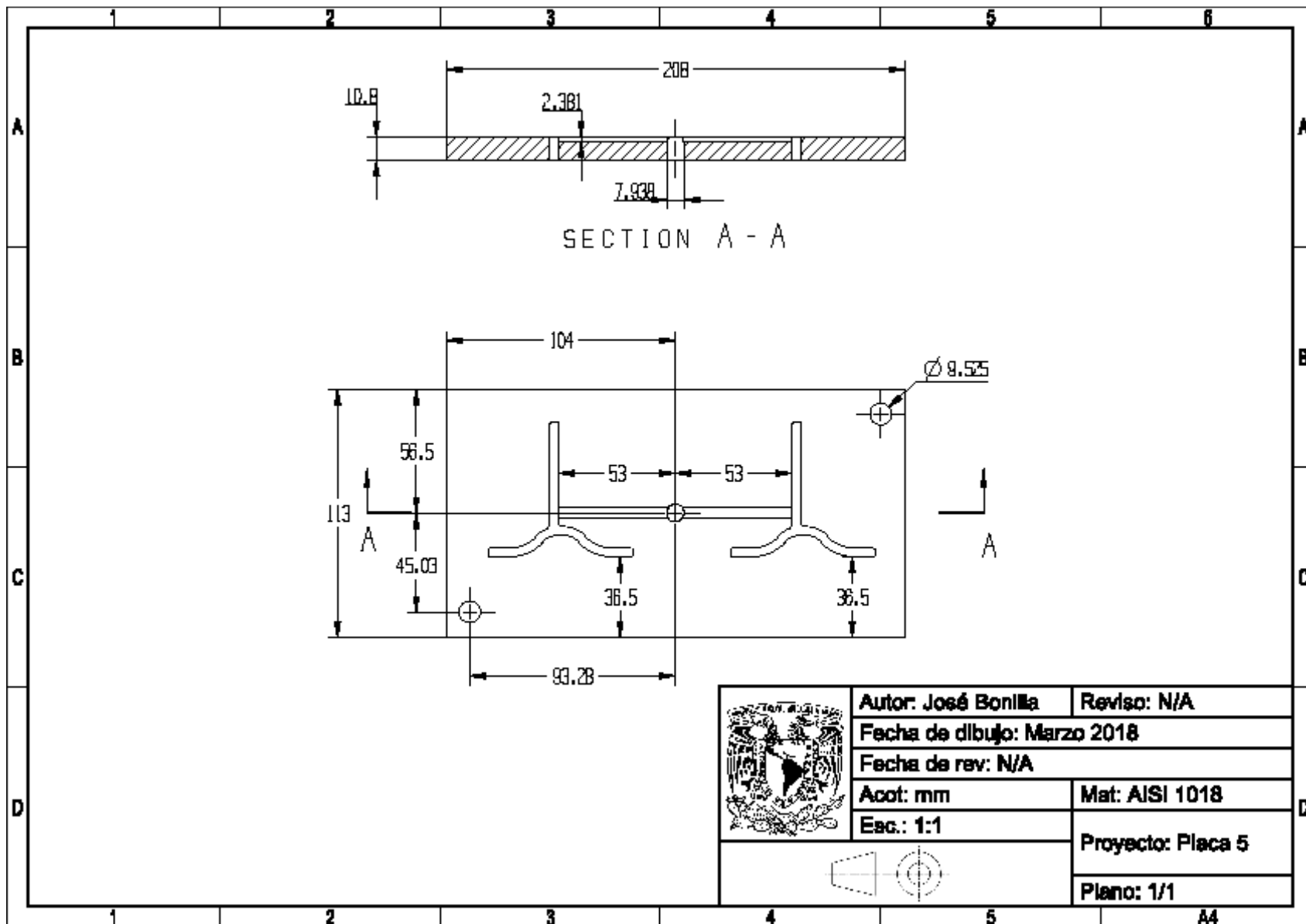


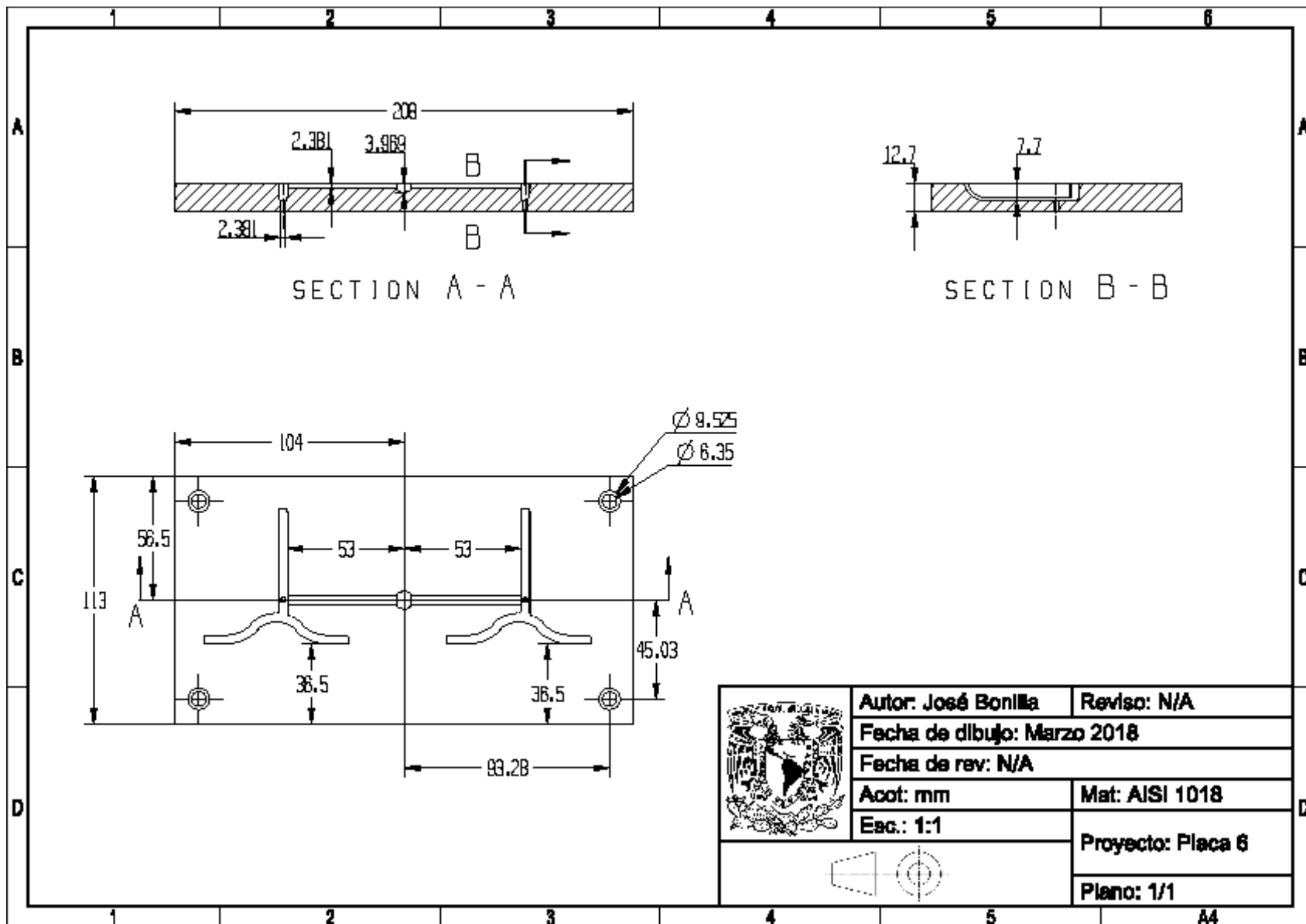


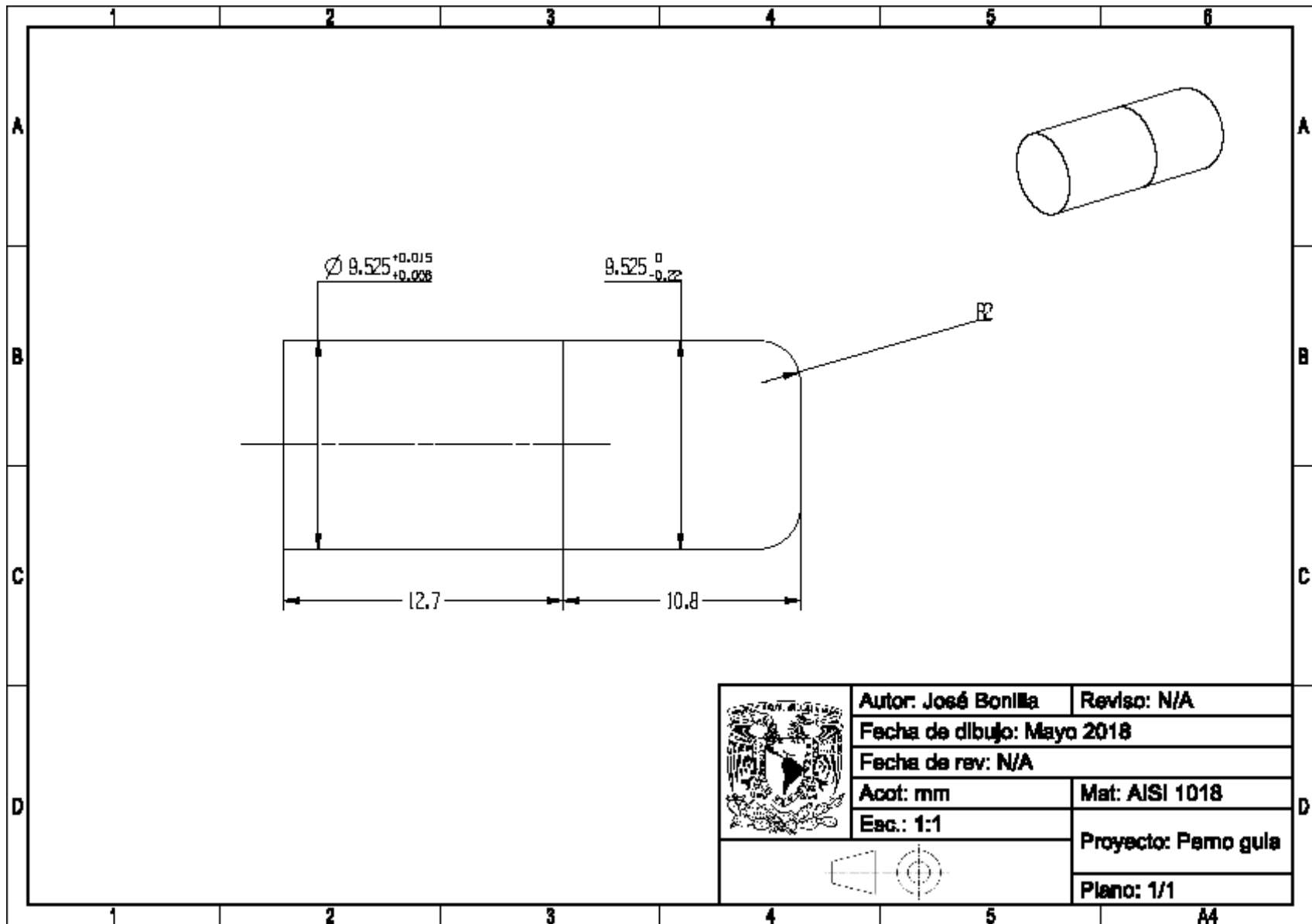












Anexo 6. Índice de figuras, tablas y gráficas.

Figuras

Figura 1.1. Tipos de unión en troncos de bambú [19].....	4
Figura 1.2. Tipo de entalladura para ensamblar bambúes [20].....	4
Figura 1.3. Representación de una unión mediante perno pasante [20].....	5
Figura 1.4. Unión de dos tallos mediante perno tensor y entalladura boca de pescado [20].....	5
Figura 1.5. Unión longitudinal mediante pernos y cilindro de menor diámetro [20].....	6
Figura 1.6. Unión de dos tallos mediante el amarre de algún tipo de cuerda [18].....	6
Figura 1.7. Sujetador número 1 utilizado para fijar bambúes a 90 grados.....	8
Figura 1.8. Sujetador número 2 utilizado para fijar bambúes en un ángulo diferente a 90 grados.....	9
Figura 1.9. Modelos del diseño original propuesto por el cliente.....	9
Figura 1.10. Modelo original propuesto por el cliente del Componente 3.....	10
Figura 2.1. Diseño del espesor de pared [1].....	13
Figura 2.2. Diseño de huecos en la pieza para mantener el espesor de pared constante [21].....	14
Figura 2.3. Diseño eficiente de una costilla [1].....	14
Figura 2.4. Un diseño correcto de costilla puede mitigar los hundimientos [21].....	15
Figura 2.5. Un diseño correcto de costilla puede mitigar los hundimientos [21].....	15
Figura 2.6. Comparación en el redondeo de las esquinas [1].	16
Figura 2.7. Factor de concentración de estrés dependiente del radio de las esquinas [21].	17
Figura 2.8. Recomendación para el redondeo de las esquinas [21].	18
Figura 2.9. Ángulo de desmoldeo en la cavidad [5].	19
Figura 2.10. Apertura del molde en dos direcciones para suprimir el ángulo de desmoldeo [5].	19
Figura 2.11. Puntos de inyección a lo largo de una pieza [5].	20
Figura 2.12. Formación de líneas de soldadura al unirse dos frentes [5].	21
Figura 3.1. Modelo de los diseños originales propuestos por el cliente para la fijación de bambúes a 90 grados.	25
Figura 3.2. Componente 3, modelo del diseño propuesto por el cliente para la fijación de bambúes en un ángulo diferente a 90 grados.....	26
Figura 3.3. Modificación en el espesor de pared del componente 1.	26
Figura 3.4. Diseño de costillas transversales para aumentar la rigidez del componente 1.	26
Figura 3.5. Reducción del espesor de pared del componente 2.	27
Figura 3.6. Modificaciones sufridas por el componente 3.	27
Figura 3.7. Diagrama esfuerzo – deformación del Celstran PA66 GF30 02 [24].	29
Figura 3.8. Propiedades mecánicas del Nylon Celstran PA-66.	34
Figura 3.9. Ventana para la caracterización de un material ototropico en el software Nx 10.0®.....	34
Figura 3.10. Caracterización del Nylon Celstran PA-66 de acuerdo a las propiedades deducidas.....	35
Figura 3.11. Configuración de cargas y restricciones para la pieza 1.....	37
Figura 3.12. Configuración de cargas y restricciones para la pieza 2.....	38
Figura 3.13. Configuración de cargas y restricciones para la pieza 3.....	38
Figura 3.14. Desplazamientos sufridos por el modelo del componente 1 al estar sometidos a las cargas propuestas.....	39
Figura 3.15. Esfuerzos sufridos por el modelo del componente 1 al estar sometidos a las cargas propuestas.....	40
Figura 3.16. Deformaciones en el modelo del componente 1 al estar sometidos a las cargas propuestas.....	41
Figura 3.27. Desplazamiento en el componente 1 al estar sometido a las cargas propuestas y material sin carga de fibras.....	42
Figura 3.18. Esfuerzos en el componente 1 al estar sometido a las cargas propuestas y material sin carga de fibras.	43

Figura 3.19. Deformaciones en el componente 1 al estar sometido a las cargas propuestas y material sin carga de fibras.	43
Figura 3.30. Grafica de humedad relativa en el medio ambiente contra contenido de humedad en el material [26]	44
Figura 3.21. Grafica de tiempo en días contra el porcentaje de absorción de humedad del material [26].....	45
Figura 3.22. Región óptima para la colocación de las entradas para el componente 1.....	46
Figura 3.23. Tiempo que toma para llenar las cavidades con el plástico fundido.....	47
Figura 3.24. Contracción en las piezas inyectadas al expulsarse de la cavidad debido al enfriamiento del material plástico.....	49
Figura 3.25. Defecto presentes en las piezas que tienen un elevado gradiente térmico en la pieza moldeada.....	50
Figura 4.1. Modelo del portamoldes que se tiene en la Facultad de Ingeniería.....	51
Figura 4.2. Vista frontal del posicionamiento de las cavidades y puntos de inyección propuestos para el molde 1... 53	
Figura 4.3. Vista inferior del molde 1, donde se puede notar el plano de partición propuesto para el molde.....	54
Figura 4.4. Vista frontal del posicionamiento de las cavidades y puntos de inyección propuestos para el molde 2... 54	
Figura 4.5. Vista inferior del molde 2, donde se puede notar el plano de partición propuesto para el molde.....	54
Figura 4.6. Modelos propuestos para la solución para la resolución del problema ocupando ensambles mediante “Press fit”.	55
Figura 4.7. Vista inferior de los moldes en donde se muestra el plano de partición propuestos.....	56
Figura 4.8. Plano de partición propuesto para la solución 2.....	57
Figura 4.9. Plano de partición para la solución 3 ocupando 2 planos de partición debido al uso de 1 placa flotante. 58	
Figura 4.10. Portamoldes de la platina fija en donde se muestran los pernos botadores (pernos amarillos).....	60
Figura 4.11. Configuración de molde 1 en donde se muestran el sistema de alimentación y las cavidades.....	61
Figura 4.12. Configuración de molde 2 en donde se muestran el sistema de alimentación y las cavidades.....	61
Figura 4.13. Modificación propuesta por el software MoldFlow® para el balanceo de cavidades.....	62
Figura 4.14. Tiempo de llenado.	63
Figura 4.15. Confianza de llenado.....	63
Figura 4.16. Predicción de la calidad en los componentes.	64
Figura 4.17.1. Proceso de llenado de las cavidades molde 1.	65
Figura 4.17.2. Proceso de llenado de las cavidades molde 2.	66
Figura 4.18. Modelo del diseño de la placa de la platina fija molde 1.	67
Figura 4.19. Modelo de diseño de la placa flotante molde 1.....	67
Figura 4.20. Modelo del diseño de la placa del lado de la platina móvil molde 1.	67
Figura 4.21. Vista del portamolde en conjunto con las placas de cavidades del molde 1.	68
Figura 4.22. Modelo del diseño de la placa de la platina fija molde 2.	69
Figura 4.23. Modelo de diseño de la placa flotante molde 2.	69
Figura 4.24. Vistas de los modelos diseñados para molde 2.	70
Figura 4.25. Conceptos relevantes para el proceso de fresado [11].	74
Figura 4.26. Representación del material en bruto y sus superficies de trabajo.	77
Figura 4.27. Fresado tangencial o cilíndrico (izquierda) y fresado frontal (derecha) [10].	78
Figura 4.28. Taladrado de agujeros pasados y agujeros ciegos [11].	80
Figura 4.29. Desbaste de placa herramienta de 1/2”.....	83
Figura 4.30. Acabado de placa, hta. de 6 [mm].	83
Figura 4.31. Desbaste y acabado de cavidades hta. 1/8 “ y 1/16”	84
Figura 4.32. Movimiento de herramienta para taladrado.	84
Figura 4.33. Desbaste de cavidad 1 hta. 6 [mm].	84
Figura 4.34. Acabado de cavidades 1 y 2, hta. 1/8”	84
Figura 4.35. Canal de alimentación hta. punta de bola 3/16”	85
Figura 4.36. Movimiento de herramienta para taladrado.	85
Figura 4.37. Desbaste de placa hta.1/2”	85
Figura 4.38. Movimiento de hta. 6 [mm] para contorneado.	85

Figura 4.39. Desbaste de cavidades y pernos guía, hta. 1/8".	86
Figura 4.40. Acabado de cavidades 1 y 2, hta. 1/16".	86
Figura 4.41. Redondeo de cavidades y pernos guía, hta. 1/8".	86
Figura 4.42. Sistema de alimentación, hta 3/16".	86
Figura 4.43. Taladrado de placa de platina móvil molde 1, hta. 1/2.	87
Figura R.1. Escuadrado de las placas mediante centro de maquinado EMCO VMC-300.	88
Figura R.2. Careado de placas mediante centro de maquinado Haas VF1, corte de cara B.	89
Figura R.3. Fresado de cavidades mediante centro de maquinado EMCO VMC-300.	90
Figura R.4. Torneado de perno y prensado para ajuste por interferencia.	91
Figura R.5. Placas de cavidades del molde 1 terminadas.	92
Figura R.6. Placas de cavidades del molde 2 terminadas.	93
Figura R.7. Portamoldes montado en la máquina de inyección.	94
Figura R.8. Controlador de la máquina de inyección.	95
Figura R.9. Prototipos del componente 3 fabricado en Nylon PA66 30% fibra de vidrio.	96
Figura R.10. Ensamble de los prototipos para la fijación de bambú.	96
Figura R.11. Configuración de los elementos para la prueba experimental.	97
Figura R.42. Etapas de vertido en el contenedor de agua en donde se aprecia el desplazamiento del componente.	98
Figura A.1.1. Desplazamientos en el modelo del componente 2 al estar sometidos a las cargas propuestas.	106
Figura A.1.2. Desplazamientos en el modelo del componente 2 al estar sometido a las cargas propuestas y con el material sin refuerzos.	106
Figura A.1.3. Esfuerzos en el modelo del componente 2 al estar sometidos a las cargas propuestas.	107
Figura A.1.4. Esfuerzos en el modelo del componente 2 al estar sometidos a las cargas propuestas y con el material sin refuerzos.	107
Figura A.1.5. Deformaciones en el modelo del componente 2 al estar sometidos a las cargas propuestas.	108
Figura A.1.6. Deformaciones en el modelo del componente 2 al estar sometidos a las cargas propuestas y con el material sin refuerzos.	108
Figura A.1.7. Desplazamientos en el modelo del componente 3 al estar sometidos a las cargas propuestas.	109
Figura A.1.8. Desplazamientos en el modelo del componente 3 al estar sometidos a las cargas propuestas y el material sin refuerzos.	109
Figura A.1.9. Esfuerzos en el modelo del componente 3 al estar sometidos a las cargas propuestas.	110
Figura A.1.10. Esfuerzos en el modelo del componente 3 al estar sometidos a las cargas propuestas y con el material sin refuerzos.	110
Figura A.1.11. Deformaciones en el modelo del componente 3 al estar sometidos a las cargas propuestas.	111
Figura A.1.12. Deformaciones en el modelo del componente 3 al estar sometidos a las cargas propuestas y con el material sin refuerzos.	111
Figura A.2.1. Tiempo de llenado de las cavidad 2.	112
Figura A.2.2. Presión de inyección que se general al interior de la cavidad 2 al llenarse con la masa fundida.	112
Figura A.2.3. Hendiduras generadas en el componente 2 debido al gradiente de temperatura en el enfriamiento.	113
Figura A.2.4. Tiempo de llenado de las cavidad 3.	114
Figura A.2.6. Hendiduras generadas en el componente 3 debido al gradiente de temperatura en el enfriamiento.	115
Figura A.3.1. Tabla de parámetros de operación para cortadores verticales de la marca Cleveland.	116
Figura A.4.1. Simulación del proceso de maquinado de la placa de platina fija molde 2.	119
Figura A.4.2. Simulación de proceso de maquinado de placa flotante del molde 2.	120
Figura A.4.3. Simulación de proceso de maquinado de placa de platina móvil molde 2.	121

Tablas

Tabla 3.1. Cambio de volumen en los conceptos.....	28
Tabla 3.2. Datos de sensibilidad de malla para el componente 1 con el diseño original.....	31
Tabla 3.3. Datos de sensibilidad de malla para el componente 1 con las modificaciones de diseño.....	32
Tabla 4.1. Matriz de decisión para la elección de la alternativa.....	58
Tabla 4.2. Parámetros de operación calculados para fresado de desbaste.....	76
Tabla 4.3. Parámetros de operación calculados para fresado de acabado.....	76
Tabla 4. 4. Tiempo de maquinado para el careado del material en bruto.....	78
Tabla 4.5. Parámetros de operación para taladrado.	81
Tabla 4.6. Ruta de trabajo para placa de platina fija del molde 1.	82
Tabla 4.7. Ruta de trabajo de placa flotante molde 1.....	82
Tabla 4.8. Ruta de trabajo para placa de platina móvil molde 1.	83
Tabla R.9. Comparativa entre el tiempo calculado y real para el careado y escuadrado de las placas.....	89
Tabla R.10. Comparativa entre el tiempo de simulación y real para el maquinado de las cavidades.....	91
Tabla R.3. Temperaturas de procesamiento recomendadas por el fabricante.	94
Tabla R.4.Resultados de simulación de llenado para molde 1.	94
Tabla R.5. Resultados de simulación de llenado para molde 2.	94
Tabla R.6. Comparativa entre los parámetros simulados y reales para el proceso de inyección.....	95
Tabla A.1.1. Datos del proceso de sensibilidad de malla para el componente 2.....	102
Tabla A.1.2. Datos del proceso de sensibilidad de malla para el componente 2 modificado.....	103
Tabla A.1.3. Datos del proceso de sensibilidad de malla para el componente 3.....	104
Tabla A.1.4. Datos del proceso de sensibilidad de malla para el componente 3 modificado.....	105
Tabla A.4.1. Ruta de trabajo para placa de platina fija del molde 2.	117
Tabla A.4.2. Ruta de trabajo para placa flotante molde 2.	117
Tabla A.4.3. Ruta de trabajo para placa de platina móvil del molde 2.	118

Graficas

Gráfica 3.1. Número de nodos y porcentaje de error en el proceso de sensibilidad de malla del componente 1.....	32
Gráfica 3.2. Número de nodos y porcentaje de error en el proceso de sensibilidad de malla del componente 1 rediseñado.....	33
Gráfica A.2.1 Número de nodos y porcentaje de error en el proceso de sensibilidad de malla del componente 2....	102
Gráfica A.1.2 Número de nodos y porcentaje de error en el proceso de sensibilidad de malla para el componente 2 modificado.	103
Gráfica A.1.3. Número de nodos y porcentaje de error en el proceso de sensibilidad de malla para el componente 3.	104
Gráfica A.1.4. Número de nodos y porcentaje de error en el proceso de sensibilidad de malla para el componente 3 modificado.	105