



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA
COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

**“Diseño, fabricación, y pruebas de un molde de
flexión utilizando el material Ultem 9085”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO.

PRESENTA:

ANIBAL JOAQUÍN CANALES ROMERO

ASESOR:

DR. WILFREDO IBARRA HERNÁNDEZ



BENEMÉRITA UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE PUEBLA

FACULTAD DE INGENIERÍA
COLEGIO DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA

**“Diseño, fabricación y pruebas de un molde de
flexión utilizando el material Ultem 9085”**

TESIS

PARA OBTENER EL TÍTULO DE:

INGENIERO MECÁNICO Y ELÉCTRICO.

PRESENTA:

ANIBAL JOAQUÍN CANALES ROMERO

ASESOR:

DR. WILFREDO IBARRA HERNÁNDEZ

M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director de la Facultad de Ingeniería
Benemérita Universidad Autónoma de Puebla
P r e s e n t e.

El que suscribe: Dr. Wilfredo Ibarra Hernández, asesor del tema de tesis:

“DISEÑO DE UN MOLDE DE FLEXIÓN EN CATIA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE MANUFACTURA MEDIANTE IMPRESIÓN 3D, EN ULTEM 1010.”

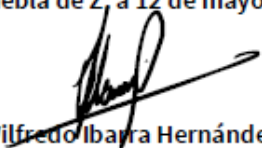
Presentada por el C. Aníbal Joaquín Canales Romero -201012619-, pasante del Colegio de Ingeniería Mecánica y Eléctrica, y en atención al oficio No. SAC/0895/2022 con fecha de emisión 11 de mayo de 2022, me permito informar a Usted que después de haber revisado cuidadosamente el contenido temático, metodología, redacción y ortografía de la tesis correspondiente, no tengo inconveniente en autorizar la impresión del mismo.

Sin otro particular, le reitero la seguridad de mi más atenta y distinguida consideración.

A t e n t a m e n t e

“Pensar bien, para vivir mejor”

H. Puebla de Z, a 12 de mayo de 2022


Dr. Wilfredo Ibarra Hernández
Asesor de Tema

D*WIH/BARV
C.c.p. Archivo



BUAP

“HUP, 50 años de enseñanza y salud”

Oficio No. SAC/0895/2022

**C. Anibal Joaquín Canales Romero -201012619-
Pasante de la Licenciatura en Ingeniería
Mecánica y Eléctrica
Presente.**

En atención al Tema de Tesis que puso Usted a consideración de la Coordinación de Área y de esta Secretaría Académica en coordinación con la Dirección de ésta Facultad de Ingeniería, dentro del marco de Titulación por Examen Profesional en línea, como medio de Titulación se dio revisión y se ha autorizado el tema denominado:

“DISEÑO DE UN MOLDE DE FLEXIÓN EN CATIA PARA OPTIMIZAR EL PROCESO DE MANUFACTURA MEDIANTE IMPRESIÓN 3D, EN ULTEM 1010.”

Por lo anterior hago de su conocimiento que se asigna como Asesor de tema al Dr. Wilfredo Ibarra Hernández.

Sin más por el momento, le envío la seguridad de mi consideración más distinguida.

Atentamente

**“Pensar bien para vivir mejor”
H. Puebla de Z. a 11 de mayo de 2022**

**M. I. Angel Cecilio Guerrero Zamora
Director**



**M'ACGZ/M'VGL/barv
C.c.p. Archivo**

Facultad
de Ingeniería

Bvd. Valsequillo y Av. San Claudio
s/n, edif. ING 4, Col. San Manuel,
Ciudad Universitaria,
Puebla, Pue. C.P. 72570
01 (222) 229-55 00 Ext. 7610

DEDICATORIA

Esta tesis, es dedicada a mis padres, Arnulfo Canales Diyarza y Rocio Romero Flores, quienes dieron todo de sí para que llegara a este punto de mi vida, no tengo palabras para expresar lo agradecido que estaré por su tiempo, amor y esfuerzo, es algo que jamás voy a poder pagar. A mi hermano y mejor amigo, Augusto Canales Romero, quien siempre encuentra las palabras adecuadas para hacerme seguir adelante. Y por último, a todo el personal de investigación y desarrollo que intentan hacer de nuestro mundo un lugar mejor, espero que la información brindada en esta tesis le sirva a alguien de ayuda, esperando que no sea la última cosa que escriba.

AGRADECIMIENTOS

Quiero agradecer al Ing. Saul Piedracruz Hernandez, ya que gracias a su diseño del molde en Catia pude llevar acabo la impresión y pruebas del molde de este proyecto, a mi tutor, el Dr. Wilfredo Ibarra Hernandez que me guio pacientemente con su conocimiento y experiencia para el desarrollo de esta tesis, al Ing. Jose Francisco Ramos Ramos, quien se mostró entusiasta con el desarrollo de estas pruebas y me hizo favor de proporcionar las impresiones. A mi amigo y M.C Rodrigo Ramos Hernandez, quien me dio el último empujón que necesitaba para terminar esta tesis, así como su conocimiento y experiencia. Por último, a la empresa Kayser Automotive Systems S. En C. quien me dio la oportunidad de realizar este proyecto dentro de sus instalaciones.

CONTENIDO

I. INTRODUCCIÓN	1
II. MARCO TEÓRICO	3
MÉTODOS DE IMPRESIÓN 3D	5
PROCESO DE IMPRESIÓN POR MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (FDM)	6
PARTES PRINCIPALES DE UNA IMPRESORA 3D FDM	7
Rollo de alimentación.	7
Software	9
Cama caliente.	9
Cabina de impresión	10
TERMO PLÁSTICOS FDM CON ALTA RESISTENCIA TÉRMICA.	10
Ultem 9085	10
Ultem 1010	13
III. JUSTIFICACIÓN	16
IV. OBJETIVOS	17
Objetivo General	17
Objetivos específicos.	17
V. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.	18
VI. METODOLOGÍA	19
Diseño del modelo CAD empleado el software Catia V5	20
Pruebas de temperatura	23
VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN	33
VIII. CONCLUSIONES	37
IX. BIBLIOGRAFÍA	38
ANEXO I	39

I. INTRODUCCIÓN

La industria automotriz es una de las industrias más demandantes en la creación de piezas plásticas donde se encuentran múltiples problemáticas, como los largos tiempos de fabricación, que debido a la alta demanda, los proveedores de algunas empresas armadoras tienen que mejorar u optimizar sus procesos de fabricación para poder proveer en tiempo y forma los productos solicitados por estas plantas armadoras. Los motores de combustión interna están conformados por tuberías, las cuales tienen la función de dar paso al flujo de aire, aceite, gasolina etc.

Existen múltiples métodos para conformar dichas tuberías, por ejemplo, el flujo de vapor a través de éstas, o el empleo de moldes de acero inoxidable conocidos como moldes de flexión. Estos moldes son creados manualmente debido a que no hay un modelo 3D o una máquina que se programe para realizar dichos moldes. Son creados por un técnico capacitado en la construcción de estos herramentales, los cuales empiezan con un tubo de acero inoxidable ya sea 304 o 316 utilizando un bloque de aluminio con la ruta de la tubería que se desea obtener. Se empieza por realizar cortes en el tubo para que sea introducido en el bloque guía y obtener el molde, estos cortes se realizan debido a que el tubo tiene que ser doblado para seguir las curvas de dicho bloque, sin embargo el tiempo de fabricación es muy largo y complicado, el cual está controlado 100% por el hombre, esto implica que podría tener algunos errores durante la manufactura de estos, realizando múltiples pruebas para determinar si el molde está correctamente construido, lo que conlleva tiempo, materia prima, etc.

Tomando estos factores en cuenta durante el desarrollo de esta tesis, se ayudaría a reducir el tiempo de manufactura de estos moldes, creando un modelo CAD a partir de una metodología, que se desarrollará haciendo el análisis del comportamiento de la tubería ante la aplicación de calor y la contracción que en esta se genera. Se analizarán las pruebas realizadas para diseñar el molde en el software Catia, con el cual se pueda realizar un molde resistente y duradero creándolo con la ayuda de una impresora 3D en el material Ultem 9085.

La impresión 3D es una tecnología que ha crecido exponencialmente en los últimos años y que ha querido revolucionar la industria manufacturera. Si reinventamos el diseño de los moldes de acero inoxidable que tenemos actualmente, y le realizamos pruebas calorimétricas

y de fuerza al molde de Ultem 9085, podríamos concluir si nuestra teoría de realizar moldes en Ultem son realmente efectivos para este proceso de manufactura, y de este modo reducir tiempo dinero y esfuerzo en la creación de los mismos.

Algunas de las ventajas de la impresión 3D es que nos permite realizar piezas rápidamente y con mayor exactitud, además de crear prototipos de manera rápida y fácil, que es justamente lo que necesitamos en este proceso de construcción de moldes de flexión.

Ha avanzado tanto que nos permite trabajar con múltiples plásticos para diferentes campos de aplicación, como el Ultem 9085, que es un termoplástico con un esfuerzo de deflexión y resistencia al calor que estamos buscando para nuestro problema.

Sin embargo, se tiene que analizar si los moldes construidos con este material pueden ser funcionales para cualquier tubería debido a que el acabado del molde debe ser muy fino, se tiene que realizar una metodología para evaluar si estos moldes podrían ser usados para tuberías lisas y corrugadas que conoceremos más adelante durante el desarrollo de esta tesis. Ya que, al ser diferentes tuberías de plástico, dependerá si el molde necesita un acabado muy fino o no, para evitar tener defectos en las piezas sin necesidad de re-trabajar el molde, asegurando que las piezas salgan bien desde que el molde sale de la impresora.

De las pruebas realizadas se evaluará si es realmente factible realizar moldes de Ultem 9085 o Ultem 1010 duraderos y resistentes, lo cual nos ayudara a extender las posibles aplicaciones que se podrían tener en estos herramentales, como moldes de Ultem o incluso moldes híbridos, donde se puedan combinar moldes de acero inoxidable con moldes de esta tecnología.

II. MARCO TEÓRICO

MOLDES DE FLEXION.

Algunos de los métodos para el modelado de tuberías de inyección de plástico que usan los motores de combustión interna, es someterlos a una alta temperatura dentro de un molde de acero inoxidable también conocido como molde de flexión.

Estos moldes son creados a partir de un tubo de acero inoxidable, que generalmente es de calidad 304/304 L o 316 que son altamente resistentes a la temperatura y corrosión.

El tubo de acero inoxidable es lo más importante para realizar el molde de flexión, debido a que este es la materia prima que se usa para la creación de dicho herramental, este, tiene que solicitarse con semanas de anticipación, debido a que generalmente se usan medidas de tubo milimétricas para fabricar los moldes, y como en México solo usamos el sistema métrico decimal, el tubo milimétrico es más caro y difícil de conseguir, ya que se solicita de Alemania, que es donde se puede conseguir tubo inoxidable en mm. por lo general tiene que usarse tubo inoxidable milimétrico, que es el que brinda mejores resultados al momento fabricar el molde, ya que si el espesor de la tubería es muy delgado, puede que genere marcas en la tubería al momento de retirarla de la cavidad del molde, lo cual haría que automáticamente la tubería flexionada no sirva y se asigne como scrap.

Si el espesor de la pared del tubo inoxidable es demasiado grueso, el técnico tardara más tiempo en fabricar el molde de flexión, además de usar más discos de corte, rollos de lija, etc. Lo que hará que el precio del molde sea más caro por el tiempo de mano de obra, y la cantidad de abrasivos utilizados.

No se ha usado otro tipo de material hasta ahora debido a que en algunas ocasiones es necesario meter los moldes en tinas con agua para enfriar la tubería flexionada más rápido y mejorar los tiempos ciclo. Estas tuberías de plástico son usadas generalmente para dar paso al flujo de agua, líquido de frenos, aire, etc.

Los moldes son fabricados por el técnico especializado y capacitado para la creación de estos herramientas, que no son complicados pero si laboriosos, ya que el proceso requiere, que el tubo de acero inoxidable sea moldeado lo más exacto posible con respecto a la ruta de un bloque guía, ¿cómo se logra esto?, inicialmente se utilizaban dados los cuales eran diseñados

y maquinados por un proveedor externo, tomando en consideración los radios de curva de la tubería de plástico que se quería moldear, sin embargo, al momento de intentar rolar el tubo de acero inoxidable, el tubo se ovalaba, haciendo que el tubo se deformara, perdiendo el diámetro interno ideal para poder doblar la tubería que sería introducida, Además de que se requería un dado para cada curva o cada nuevo molde que se fabricara, aumentando el costo de fabricación.

Es por eso que se decidió hacer ciertas excepciones para la fabricación de los dados para rolar los tubos de acero, y se optó por cortarlo para después doblarlo con respecto a la ruta del bloque guía, y así evitar que el tubo de acero se ovalara y perdiera el diámetro. Con esto las tuberías de plástico saldrían correctamente, el único inconveniente es que se tendría que cortar en secciones el molde, debido a que realizar los dobleces para obtener el molde en una sola pieza es más complicado.

Fabricando el molde por secciones implica soldar las zonas donde se han realizado cortes para darle más resistencia y mejor forma de la pestaña, pero esto no asegura que el molde tenga una ruta más precisa. Cuando por fin se unen todas las secciones para obtener el molde, es necesario colocarlo en la base, que es el punto de apoyo donde el operador puede tomarlo para introducir la tubería que se desea moldear. Esta base se fabrica con una barra de acero inoxidable, también conocida como Redondo inoxidable 5/16", y se realiza de la manera más ergonómica posible. Una vez realizadas todas las partes, se une con el tubo inoxidable con la ruta de la tubería que se desea flexionar, sin embargo, aún no se puede introducir la tubería, ya que hasta ahora solo es un tubo con dobleces.

Por lo que ahora se tiene que marcar el área que se va a cortar y abrir para poder introducir la tubería, además de rellenar y desbastar las áreas donde se agregó la soldadura, para tener una cavidad libre de soldadura donde pueda ser introducida la tubería sin problemas.

Cuando el molde de flexión está por terminarse, el técnico tiene que realizar pruebas en los hornos. El primer paso es meter la tubería en la cavidad del molde, después llevar el molde e introducirlo en el horno para que pase por la banda transportadora a una temperatura de 175°C por 15 minutos, después pasar por 15 minutos en el horno de enfriamiento, a una temperatura de 4° C para enfriar la tubería y esta pueda terminar con la forma del molde de flexión, sin embargo cuando esta pieza sale del horno, no te garantiza que saldrá

correctamente, sino que aún requiere ensamblar esa pieza y colocarla en el dispositivo de control, para determinar si la pieza es apta para producción, si la tubería pasa los estándares de calidad, se le puede dar el acabado fino al molde para que sea entregado a producción y producir piezas correctamente, si la tubería está mal, el técnico necesita cortar y volver a soldar el molde para volver a flexionar nuevamente una pieza más y verificar si con la nueva modificación la tubería flexionada sale correctamente.

MÉTODOS DE IMPRESIÓN 3D

La impresión 3D hoy en día, es un proceso de manufactura que facilita la construcción tanto de piezas prototipo como piezas que serán utilizadas para producción en serie (1). Sin embargo, este no es un proceso nuevo, sino que se ha destacado en los últimos años por el bajo costo de fabricación en menor tiempo. Este proceso utiliza como referencia un modelo CAD previamente diseñado en un ordenador, utilizando diferentes programas de diseño, como lo son CATIA, Solidworks, etc.

Esta tecnología no solo nos permite crear piezas de manera rápida y económica, además es amigable con el medio ambiente, ya que ayuda a reducir las emisiones de CO₂ producidas por las maquinas convencionales. Se espera que en 2025 el consumo de energía y emisiones de CO₂ sean reducidas en un 5% al compararse con los métodos de manufactura tradicionales. (2)

Se han desarrollado diferentes métodos de impresión 3D, tales como;

- Modelado por deposición fundida (FDM)
- Estereolitografía. (SLA)
- Sinterizado selectivo por láser (SLS)

El tipo de impresión a utilizar dependerá de lo que se quiera imprimir, así como su aplicación, es por eso que se usara el proceso FDM, ya que este proceso nos da una excelente resistencia térmica, así como mecánica, que otros métodos de impresión 3D no nos podrán dar.

Actualmente, el proceso de impresión 3D FDM es empleado en la creación de piezas prototipo, las cuales pueden ser empleadas como referencia para las futuras piezas que serán fabricadas en un proceso en serie. La eficiencia de este método de manufactura se puede demostrar al analizar el sector comercial, algunas compañías automotrices como la Ford

Company, la han empleado para la impresión de piezas en vehículos comerciales como la F-150 Raptor y el Mustang Shelby GT500. Este proceso se ha usado en la impresión de interiores y frenos de los autos mencionados, con lo cual se podrá mejorar el consumo de combustible y el peso de los mismos (3).

Este método de impresión está dando sus primeros pasos en Latinoamérica, pero un estudio realizado por SmarTech señala que para el 2021 el mercado de la impresión 3D en la industria automotriz alcance los 2.3 millones de USD (4)

PROCESO DE IMPRESIÓN POR MODELADO POR DEPOSICIÓN FUNDIDA (FDM)

El proceso FDM fue inventado por el ingeniero Scott Crump en 1989 y patentado en 1992. El proceso consiste en un cabezal o extrusor que tiene movimiento en los ejes X, Y, Z, al cual se le suministra la materia prima. La materia prima se lleva hasta su punto de fusión, para posteriormente, ser depositado sobre una base o cama caliente, una capa a la vez, con lo cual se fabrica una pieza diseñada y cargada a la máquina con un ordenador (5). La máquina empleada en el proceso FDM se muestra en la Fig. 1.



Figura 1: Impresora de modelado por deposición fundida Fortus 450 de stratasy (6).

La temperatura de extrusión va a depender del tipo de filamento que se desea utilizar y la aplicación que este tendrá, en este caso, que se usara Ultem 9085 donde su temperatura de fusión es de los 280 °C a 350 °C, según los otros métodos de impresión analizados, el método que más se adapta a las necesidades del molde de Ultem es el FDM.

El FDM es de los métodos más eficientes, debido a que su proceso de manufactura no es tan caro como el SLS, ya que si se usa SLS o SLA para crear piezas en Ultem su precio aumentaría. Además, estos dos últimos métodos de impresión no tienen el alcance de imprimir piezas en este tipo de termoplástico. Cabe destacar, que dependiendo el tipo de pieza o uso que se le quiera dar, es el método de impresión que se va a escoger, ya que estos dos últimos nos pueden crear piezas con mejor acabado superficial, pero con menos resistencia según la aplicación que tendrá (7).

PARTES PRINCIPALES DE UNA IMPRESORA 3D FDM

Para reforzar una explicación del funcionamiento de este proceso de impresión, a continuación, se describen las principales partes de una impresora FDM;

Rollo de alimentación.

Esto es la materia prima que se utiliza para imprimir, su presentación viene en forma de rollo de diferentes pesos o metros, y pueden ser de diferentes diámetros según sea el fabricante, también son de muchos materiales ya sea ABS, PLA, PC, Ultem, Nylon 6, Nylon 12 con fibra de carbono, etc. En la figura 2 se muestra un rollo de Ultem 9085



Figura 2: Rollo de alimentación de ULTEM 9085 (8)

Extrusor.

El extrusor tiene un papel importante al momento de imprimir, ya que existen diferentes tipos de extrusores, sin embargo, en esta sección hablaremos del funcionamiento general de un extrusor. La figura 3 muestra un extrusor de 480°C

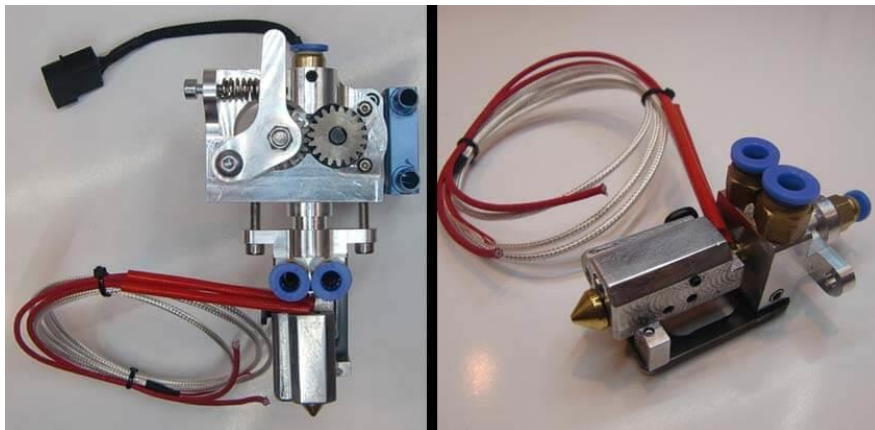


Figura 3: Extrusor de 480 grados centígrados (9)

El extrusor es la pieza que lleva al filamento a su punto de fusión, para así crear las pequeñas capas de filamento. Dentro de los extrusores se encuentran unos rodillos que son los que dan paso al filamento, desde la rueda dentada al extrusor y de este, a la cama caliente.

Hay diferentes tipos de extrusores que son utilizados para diferentes aplicaciones, dependiendo de la calidad es el tiempo de impresión que se va a generar, así como su precio, los extrusores más convencionales son los que tienen la capacidad de imprimir los materiales más comunes, sin embargo, el Ultem 1010 requiere de un extrusor con la capacidad de elevar su temperatura hasta los 450°C.

Software

Como ya se mencionó anteriormente, para poder imprimir un objeto tiene que ser creado en un software de diseño como puede ser Catia, AutoCAD, Solidworks, etc. Después este archivo tiene que ser exportado a formato STL, de modo que se genera un código donde la impresora lo reconozca y lo pueda imprimir.

Cama caliente.

Normalmente las impresoras tienen una cama caliente, que básicamente es una placa que se calienta a determinada temperatura, en esta placa es donde la impresora va colocando las pequeñas capas de filamento, y es donde la pieza empieza a tomar forma. En este caso en específico la cama tiene que tener una temperatura estable mínima de 100 °C para que mantenga la pieza caliente y estable, ya que el ultem lo requiere. En la figura 4 se muestra un ejemplo de cama caliente.

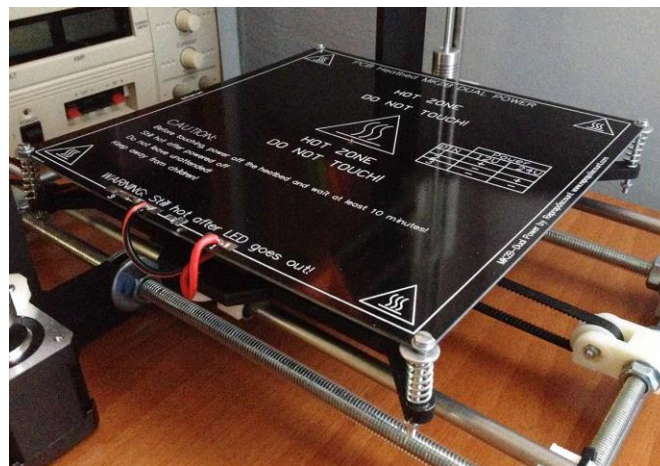


Figura 4: Cama caliente de impresora 3D (10)

Cabina de impresión

La cabina de impresión ayuda a que las piezas mantengan su temperatura y no se enfríen durante la impresión, asegurando la forma y la resistencia de la pieza. La figura 5 muestra un ejemplo de una cabina de impresión.



Figura 5: Cabina de impresora 3D (11)

Las cabinas vienen en diferentes materiales dependiendo del presupuesto que se tenga, ya que pueden ser de madera, plástico, incluso algunas impresoras no llegan a tener cabina, sino solo los soportes de la impresora, hay impresoras las cuales llegan a tener cabinas de aluminio, para mantener la temperatura más estable.

TERMO PLÁSTICOS FDM CON ALTA RESISTENCIA TÉRMICA.

Ultem 9085

El Ultem 9085 es un termoplástico con una extrema resistencia química, térmica y mecánica. Donde incluso se considera de los termoplásticos más resistentes y duraderos, ya que la enorme resistencia mecánica hace que incluso se pueda lijar o perforar sin perder grandes propiedades estructurales.

El ultem 9085 está hecho a base del polímero Polieterimida (PEI), tal como dice Steven donde “investigaciones han encontrado que forma mezclas miscibles con PET (tereftalato de polietileno) cuando se realiza en estado fundido y que la cristalización de este ocurre al mismo tiempo que una separación de fases liquido-liquido en la mezcla” (12)

La Universidad politécnica de valencia muestra la estructura química de la Polieterimida (PEI) (13), que se muestra en la figura 6.

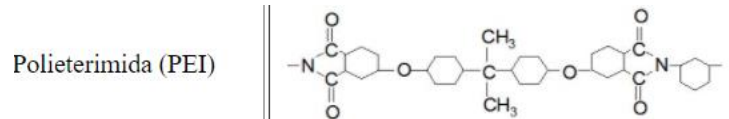


Figura 6: Estructura química del polímero Polieterimida (PEI) (13)

Este será el material principal a utilizar para diseñar el molde de flexión y realizar las pruebas de flexión debido a las propiedades que se mencionaron anteriormente. En la tabla 1 y 2 se muestra la resistencia mecánica y térmica de este material.

Tabla 1: Ficha técnica del ULTEM 9085 (14)

Propiedades mecánicas	Método de prueba	Sistema ingles		Sistema métrico	
		XZ Axis	ZX axis	XZ Axis.	ZX Axis.
Resistencia a la tracción, Rendimiento (Tipo 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	6800 psi	4800 psi	47 MPa	33 MPa
Resistencia a la tracción, ultimo (Tipo 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	9950 psi	6100 psi	69 MPa	42 MPa
Módulo de tensión (Tipo 1, 0.125" 0.2"/min)	ASTM D638	312,00 psi	329,000 psi	2150 MPa	2270 MPa
Alargamiento a la tracción en la rotura (Tipo 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	5.8%	2.2%	5.8%	2.2%
Alargamiento a la tracción en el rendimiento (Tipo 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	2.2%	1.70%	2.2%	1.70%
Fuerza flexible (Método 1, 0.05"/min)	ASTM D790	16,200 psi	9900 psi	112 MPa	68 MPa
Módulo de flexión (método 1, 0.05"/min)	ASTM D790	331,000 psi	297,000 psi	2,300 MPa	2050 MPa
Módulo de elasticidad a la rotura (Método 1, 0.05"/min)	ASTM D790	Sin rotura	3.70%	Sin rotura	3.70%
IZOD Resistencia al impacto (Método A, 23°C)	ASTM D256	2.2 ft-lb/in	0.9 ft-lb/in	120 J/m	48 J/m
Fuerza compresiva, Resistencia (Método A, 23°C)	ASTM D695	14,500 psi	12,700 psi	100 MPa	87 MPa
Fuerza compresiva, ultima (Método 1, 0.05"/min)	ASTM D695	26,200 psi	13,100 psi	181 MPa	90 MPa
Módulo de compresión (Método 1, 0.05"/min)	ASTM D695	1,030,000 psi	251,000 psi	7,012 MPa	1,731 MPa

Tabla 2: tabla de propiedades térmicas del ULTEM 9085 (14)

Propiedades termicas	Método de prueba	Sistema ingles,	Sistema metrico
Temperatura de deflexión @ 264 psi, 0.125" sin recocer	ASTM D648	307 °F	153 °C
Temperature de transición vitrea	DSC (SSYS)	367 °F	186 °C
Coeficiente de expansion termica	ASTM E831	3.67x10 ⁻⁰⁶ in(in-°F)	65.27 μm/(m-°C)
Punto de fusión	-----	No aplica	No aplica

Como se puede apreciar en la tabla anterior, la temperatura de transición vítrea es de 186 °C que es donde empieza a perder su estado rígido a un estado blando y maleable, esta

temperatura se encuentra por encima de la temperatura que maneja el horno de calentamiento, sin embargo, como se mencionó anteriormente esta temperatura es de radiación, ya que no se encuentra en contacto directo con el molde por lo que la temperatura del molde puede variar, y puede alcanzar una temperatura menor de 175°C donde la teoría nos dice que debería de resistir la temperatura sin llegar a deformarse.

Se han realizado algunas iteraciones con este termoplástico, y ha mostrado una excelente resistencia tanto mecánica como térmica a las necesidades del proceso de flexión, este material podría ser viable para la fabricación de los moldes de flexión. La temperatura de deflexión es menor a la temperatura que el horno de calentamiento emite. Aunque no se han realizado un análisis de esfuerzo deformación de la fuerza que se introduce en el molde, ha resistido el moldeo y desmoldeo de la tubería a flexionar.

Ultem 1010

El ultem 1010 es un termoplástico que ofrece una gran resistencia mecánica y una estabilidad térmica alta, además de una gran resistencia química, por lo que se recomienda utilizar este material para aplicaciones de transporte, aeronáutica, automotriz entre otras, la tabla 3 muestra sus propiedades mecánicas.

Tabla 3: Ficha técnica del ULTEM 1010 (15)

Propiedades mecánicas	Metodo de prueba	Sistema ingles		Sistema metrico	
		XZ Axis	ZX axis	XZ Axis.	ZX Axis.
Resistencia a la tracción, Rendimiento (Tipo 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	9300 psi	6100 psi	64 MPa	42 MPa
Resistencia a la tracción, ultimo (Tipo 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	11,700 psi	5400 psi	81 MPa	37 MPa
Módulo de tensión (Tipo 1, 0.125" 0.2"/min)	ASTM D638	402,000 psi	322,000 psi	2770 MPa	2200 MPa
Alargamiento a la tracción en la rotura (Tipo 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	3.3%	2.0%	3.3%	2.0%
Alargamiento a la tracción en el rendimiento (Tipo 1, 0.125", 0.2"/min)	ASTM D638	2.2%	1.50%	2.2%	1.50%
Fuerza flexible (Metodo 1, 0.05"/min)	ASTM D790	21,000 psi	11,100 psi	144 MPa	77 MPa
Módulo de flexión (método 1, 0.05"/min)	ASTM D790	409,000 psi	324,000 psi	2820 MPa	2230 MPa
Módulo de elasticidad a la rotura (Método 1, 0.05"/min)	ASTM D790	Sin rotura	3.50%	Sin rotura	3.50%
IZOD Resistencia al impacto (Método A, 23°C)	ASTM D256	0.8 ft-lb/in	0.4 ft-lb/in	41 J/m	24 J/m
Fuerza compresiva, Resistencia (Método A, 23°C)	ASTM D695	19500 psi	15100 psi	134 MPa	107 MPa
Fuerza compresiva, ultima (Método 1, 0.05"/min)	ASTM D695	Sin rotura	15500 psi	Sin rotura	1125 MPa
Módulo de compresión (Método 1, 0.05"/min)	ASTM D695	1,450,000 psi	305,000 psi	10,000 MPa	1120 MPa

En la tabla 4 se describen las temperaturas que este material puede llegar a resistir.

Tabla 4: Tabla de propiedades térmicas del ULTEM 1010 (16)

Propiedades termicas	Metodo de prueba	Sistema ingles,	Sistema metrico
Temperatura de deflexión @ 66 psi, 0.125" sin recocer	ASTM D648	421 °F	216 °C
Temperatura de deflexión @ 264 psi, 0.125" sin recocer	ASTM D648	415 °F	213 °C
Temperatura de ablandamiento (Tipo B/50)	ASTM D648	416 °F	214 °C
Temperature de tracción cristalina	DSC (SSYS)	419 °F	215 °C
Coefficiente de expansion termica	ASTM E831	26x10 ⁻⁰⁶ in/(in-°F)	47 µm/(m-°C)
Coefficiente de expansión térmica (Xflow)	ASTM E831	25x10	
Punto de fusion	-----	No aplica	No aplica

Según los datos mostrados en la tabla anterior el ultem 1010 muestra una mejor resistencia mecánica y térmica, sin embargo, su precio es más alto que el Ultem 9085, aumentando la manufactura del molde y poniendo en duda si podría ser más efectiva la creación de los moldes de flexión en este material.

III. JUSTIFICACIÓN

La creación de moldes de flexión es un proceso muy complicado debido a que no se tiene algún plano, por lo que tampoco se puede programar una máquina para poder construir estos moldes.

Estos son realizados por un técnico especializado y capacitado para la construcción de estos herramientas, usando como referencia un bloque de acero con la forma de la tubería, el cual es creado con un CNC tomando como referencia el CAD de la tubería, este es un proceso relativamente fácil debido a que se tiene un modelo el cual puede ser usado como referencia para programarse, sin embargo, para crear un molde de flexión es necesario tener la cama de la tubería para verificar donde se tienen que realizar los cortes en el tubo, y al mismo tiempo concuerde la curva que se le dará al tubo con la curva que tiene el bloque guía, al mismo tiempo, no perder el diámetro interior y no deformar la tubería que se desea flexionar.

Una vez realizados todos los dobleces necesarios, debe unirse el conjunto de tubo para darle forma al molde, realizar el soporte y poder abrir la cavidad para colocar la tubería y flexionarla correctamente. Es necesario desbastar la cavidad para darle un acabado fino, asegurando no dañar la tubería que ira introducida a la cavidad del molde, debido a que es un requerimiento del departamento de calidad, tener piezas libres de marcas y geometrías correctas.

Todos estos pasos conllevan mucho tiempo, ya que dependiendo del molde que se desea realizar, puede ir desde 8 hrs hasta 35 hrs por molde.

Es por eso que se busca reducir todos estos pasos con la creación de moldes de flexión en Ultem 9085, el cual solo sería necesario realizar el molde en CATIA y la impresora se encargaría de replicar el modelo, sin embargo, no solo podríamos realizar uno por uno, sino varios moldes a la vez, optimizando el tiempo de impresión. Además, se tiene la ventaja de que la maquina puede trabajar 24 hrs los 7 días a la semana mientras que un técnico solo puede trabajar 9 hrs asumiendo que no perdió tiempo en diferentes actividades.

Cabe destacar que una impresora 3D no necesita de vacaciones, permisos laborales, ni tampoco tiene que cubrir necesidades básicas como las de un ser humano.

IV. OBJETIVOS

Objetivo General

Diseño, fabricación y pruebas de un molde de flexión utilizando como materiales los termoplásticos Ultem 9085 ó Ultem 1010. El molde deberá ser funcional y duradero, con lo cual se podrá para minimizar tiempo, dinero y esfuerzo en la creación de estos herramientas de manera industrial.

Objetivos específicos.

1. Diseño virtual del molde de flexión utilizando el software CATIA
2. Fabricación del molde diseñado empleando alguno de los siguiente termoplásticos Ultem 9085 ó Ultem 1010.
3. Pruebas calorimétricas y de resistencia mecánica.
4. Análisis de costo-beneficio de los moldes de impresión 3D y compararlo con los moldes de acero inoxidable.

V. PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.

La creación de moldes de flexión es un proceso muy largo y costoso, debido a que no depende exclusivamente de la empresa el realizar los moldes, se requiere la ayuda de proveedores externos para la creación del Bloque guía y con este crear los moldes, así como también es necesario tener los abrasivos, materia prima, etc. Todo esto se tiene que solicitar con muchas semanas de anticipación.

Cabe mencionar que lo más caro de realizar estos moldes es el bloque guía y la mano de obra la cual no se busca reemplazar sino optimizar.

VI. METODOLOGÍA

De manera general, el presente trabajo se llevará a cabo siguiendo los pasos descritos a continuación

1. Seleccionar la tubería que se desea moldear, esta no debe ser una tubería muy compleja, debido a que puede haber muchas variables al momento de realizar el molde de flexión en el software Catia.
2. Diseñar en CATIA el molde de flexión para ser impreso; Se usará un método de puntos, planos, sketches y líneas de referencia con vinculo de parámetros estandarizados, debido a que, si queremos hacer alguna modificación en las pestañas del molde, estas sean modificadas solo modificando los parámetros.
3. Analizar los datos con los que se empezaran a trabajar como; la temperatura del horno de calentamiento y enfriamiento, así como la temperatura que resisten los termoplásticos ULTEM 9085 y 1010. Por último, la temperatura promedio del molde de ULTEM 9085
4. Realizar pruebas calóricas y de resistencia al material Ultem 9085 para comprobar si es factible la fabricación de dicho molde.
5. Análisis de costos y discusión; se hará un análisis del costo de un molde de acero inoxidable contra un molde de impresión 3D en Ultem 9085, recaudando datos sobre precio de mano de obra, materia prima, etc.

Diseño del modelo CAD empleado el software Catia V5

Como se mencionó anteriormente cuando llega un nuevo proyecto este es notificado por el ingeniero de proyecto al departamento de moldes de flexión, para que este pueda empezar con el desarrollo de los moldes, una vez recibida toda la información, se envía todo lo necesario, como por ejemplo, el volumen anual de las piezas que se necesitan fabricar para que de este modo se haga el cálculo de cuantas piezas por ciclo pueden realizarse durante un turno, y puedan calcularse cuantas piezas por semana se pueden fabricar, de este modo, tener un cálculo de cuantas piezas se pueden producir en un año con respecto a los pedidos de los clientes. Y así obtener la cantidad de moldes de flexión que se tienen que fabricar.

Para diseñar el molde en CATIA se tienen que tomar en cuenta los siguientes puntos;

- Diámetro exterior de la tubería de plástico.
- Diámetro interior de la tubería de plástico.
- El tipo de materia prima que se desea flexionar.
- El número de curvas que tiene la tubería.
- Diámetro y espesor del resorte de tensión.

Debido a que son pruebas iniciales y a que no se sabe con seguridad si el material teórico puede funcionar o no, se decide comenzar las pruebas con una tubería sencilla de una sola curva para fabricar su molde de flexión, que se muestra a en la figura 7.

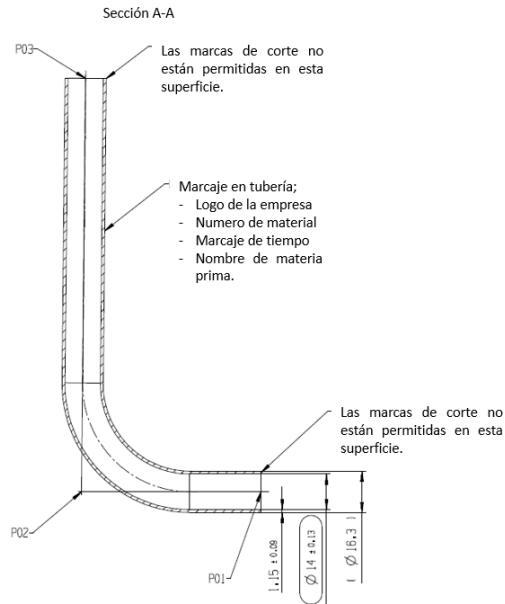


Figura 7: Dibujo 2D de la tubería a la que se le diseñara el molde de ULTEM

Esta tubería es relativamente fácil ya que como se puede apreciar solo tiene una curva de radio de 35 mm, por lo que no se tendrá que hacer muchas pestañas en el molde, además, para fabricar las pestañas del molde, se puede tomar como referencia el molde de acero inoxidable que ya se tiene construido, tal como muestra la figura 8.



Figura 8: Molde de acero inoxidable de referencia

Para fabricar la ruta del molde en Catia se toma de referencia el modelo de la tubería que se quiere flexionar, este modelo se muestra en la figura 9, para después tomar las coordenadas y usarla como referencia para fabricar el molde de flexión.

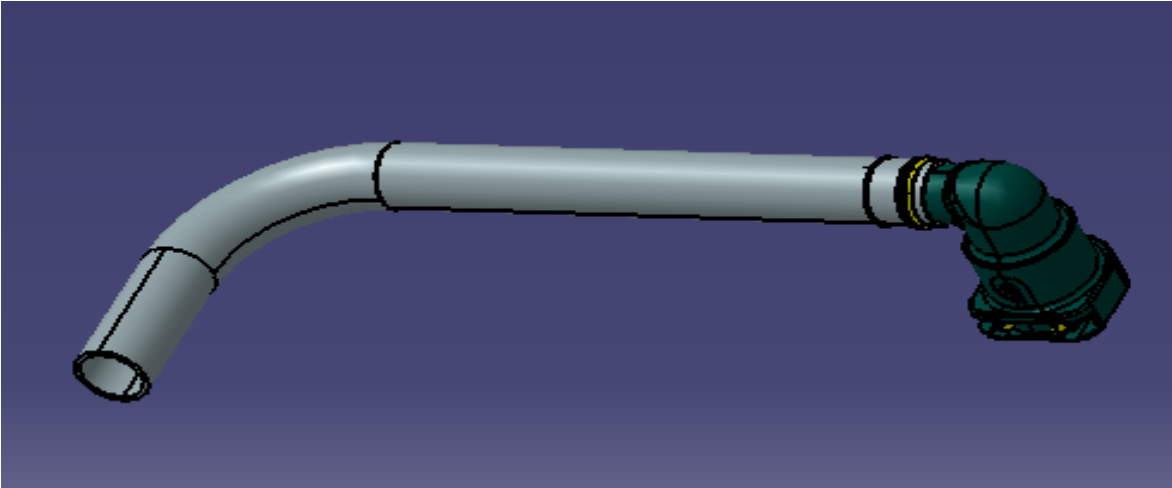


Figura 9: Modelo 3D de la tubería a la que se le diseñara el molde de ULTEM

Cuando se creó el molde por primera vez en Catia las pestañas eran de 0.30 mm, lo que no es correcto, debido a que es una pared con espesor muy delgado, lo que provocaría que la tubería se marque y a su vez, el molde se rompa con más facilidad.

Por lo que se decidió aumentar el espesor a 5.0 mm y usar como materia prima de impresión, el ultem 1010, generalmente se usa tubo de acero inoxidable con 2 mm de espesor de pared, pero debido a que el molde de Ultem 1010 cuenta con una menor resistencia mecánica que el acero inoxidable se optó por hacer de 5.0 mm, para resistir la fuerza de la tubería ejercida y el calor del horno de calentamiento.

Como se aprecia en la figura 10, el primer molde prototipo de impresión 3D no tiene las mismas pestañas que el molde de acero inoxidable, al igual que la base o estructura, esto se hizo para reducir la cantidad de materia prima utilizada y de este modo reducir el costo del molde.

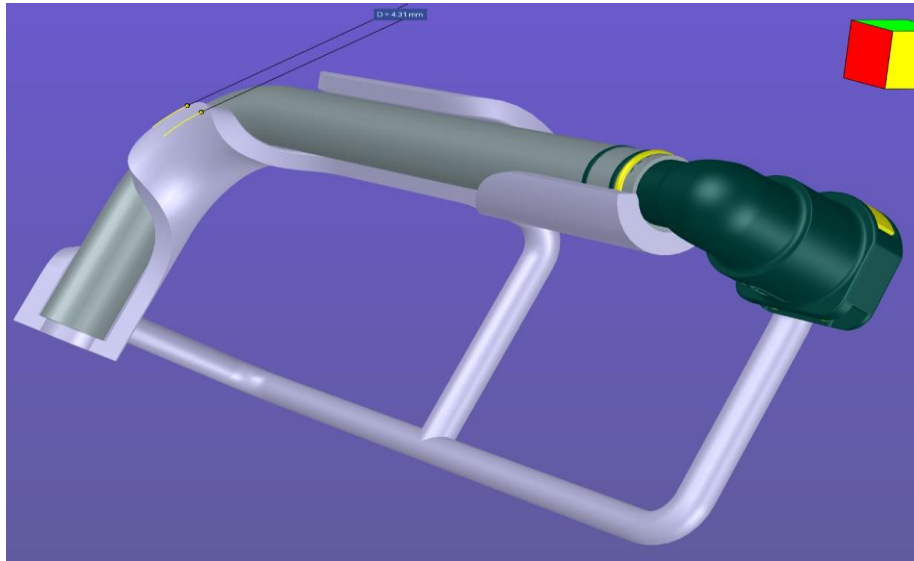


Figura 10: Primer molde prototipo diseñado en Catia

Por último, se redondean las pestañas y se agrega una placa de identificación del número de parte a flexionar, así como un perno posicionador cuadrado, donde es colocado en una charola de flexión para que pueda entrar al horno

En este modelo se respetó la forma de la estructura, creándolo con diseño muy similar al ya conocido de los moldes de acero inoxidable.

Al utilizar dicho modelo, teóricamente cuando la tubería de plástico sea introducida al molde, y este a su vez a los hornos, la ruta de la tubería flexionada debería ser la misma que la del modelo CAD. Para mayores detalles del proceso de diseño en Catia, revisar el ANEXO I.

Pruebas de temperatura

Para realizar las primeras pruebas de flexión de los moldes de ultem 1010, se tuvieron que considerar los siguientes aspectos;

- Temperatura de horno de flexión 175°C (Temperatura emitida por radiación)
- Temperatura de horno de enfriamiento 9 grados centígrados (Temperatura emitida por radiación)
- Deflexión de calor de ultem 1010 a 264 psi=213°C
- Deflexión de calor de ultem 9085 a 264 psi=153°C

Para comprobar la resistencia térmica del Ultem 1010 y 9085, se utilizó un cubo prueba para comprobar si el material podía soportar el calor del horno y este no se derritiera, ya que podría dañar la banda transportadora del horno, dicha prueba se muestra en la figura 11.



Figura 11: Cubo prueba de ULTEM 1010 y 9085 entrando al horno de calentamiento

Los dos cubos de ultem 1010 y 9085 fueron colocados en la banda transportadora del horno de calentamiento, para así pasar dentro de este un tiempo ciclo de 15 min, y después pasar 15 minutos en el horno de enfriamiento hasta salir de los mismos.

Como el material mostro tener una buena resistencia térmica se decidió realizar la prueba con el primer molde de flexión de ultem 1010 que se muestra en la figura 12.



Figura 12: Primer molde de flexión en ULTEM 1010

Hay una gran diferencia entre introducir en la cavidad del molde una tubería fría, y una tubería precalentada, ya que la tubería fría es más rígida y se ejerce más fuerza a la cavidad del molde al momento de introducirla, es por eso que en el proceso de producción de tuberías flexionadas, estas tuberías se precalientan para que sean introducidas más rápido y acelerar el tiempo ciclo, así como las piezas producidas. Sin embargo, se hicieron las pruebas tomando en cuenta los dos aspectos para comprobar la resistencia mecánica del molde de Ultem 1010 que se creó inicialmente.

Debido a que el molde resistió la fuerza de la tubería ejercida en la pestaña superior del molde, se decidió introducir el molde de ultem 1010 al horno para comprobar si este podía resistir la fuerza de la tubería y la temperatura del horno al mismo tiempo.

Después de 15 a 20 ciclos aproximadamente, el molde comenzó con una rotura en la base del molde, tal como muestra la figura 13, esto es porque algunas veces los operadores toman como punto de apoyo la base para introducir la tubería, sin embargo, aun estando en esa condición se decidió seguir introduciendo el molde para que continuara produciendo piezas, sin embargo, después se rompió la parte superior donde se encuentra la pestaña 1 que entra en contacto con la tubería, que se muestra en la figura 14.



Figura 13 Ruptura de base del molde de ULTEM 1010 Figura 14: Ruptura de base del molde de ULTEM 1010

Tomando todos estos factores en cuenta, se llegó a la conclusión de que no se pueden seguir realizando los moldes de flexión de ULTEM con especificaciones similares a las de un molde de acero inoxidable, puesto que el ULTEM 1010 no tiene la misma resistencia mecánica que los moldes de acero inoxidable, por lo que se decidió rediseñar los moldes de impresión 3D, empezando por la estructura del mismo, quedando como la figura 15

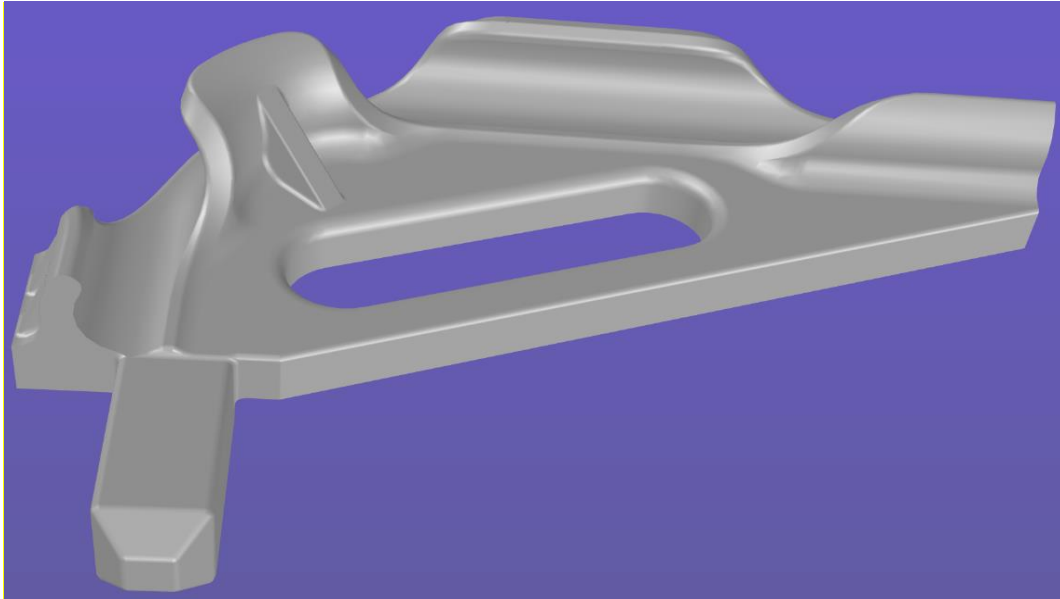


Figura 15: Segundo molde de flexión prototipo en Catia.

Esta nueva forma de molde tiene como finalidad absorber y distribuir las fuerzas ejercidas en las pestañas a la base del molde. Además de cambiar la base del molde y la materia prima, se busca tener una forma más ergonómica para el operador, de este modo podría tener un mejor soporte para introducir la tubería.

El cambio de materia prima se debe a que al agregar más material el costo en ULTEM 1010 sería más alto por lo que se decidió cambiar a ULTEM 9085, que anteriormente también había mostrado buena resistencia térmica. De manera preventiva, se decidió colocar en las pestañas unos soportes con forma triangular, como refuerzo a las fuerzas que estas reciben por parte de la tubería, En la figura 16 se muestran sus soportes triangulares, en la pestaña 2, que se observa en la figura 17, solo se colocó un refuerzo debido a que no recibe una fuerza tan grande como la pestaña 1 y 3, y por último para la pestaña 3, se decidió colocar 3 refuerzos, ya que en un principio se pensó que esta pestaña recibiría la mayor cantidad de carga. Tal como muestra la figura 18.

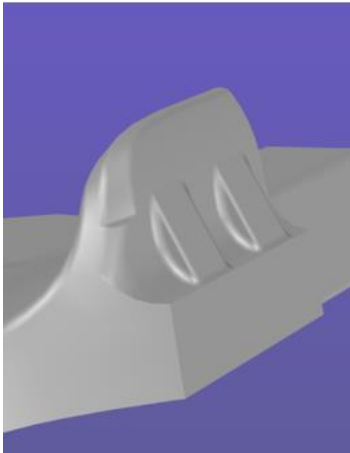


Figura 16: Pestaña 1 con 2 refuerzos

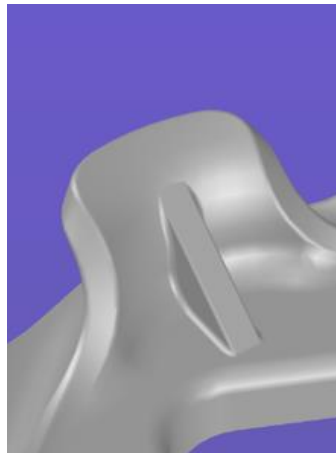


Figura 17: Pestaña 2 con 1 refuerzo

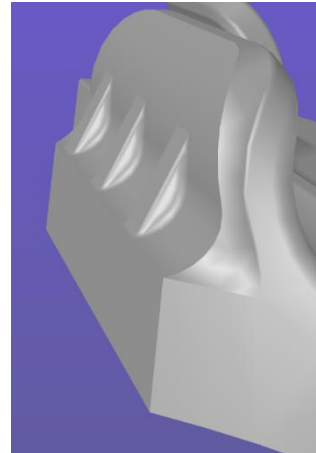


Figura 18: Pestaña 3 con 3 refuerzos

Pruebas de resistencia mecánica

Una vez que el molde es impreso se procede a tomar las mediciones de las fuerzas, esto es con la finalidad de saber dónde se encuentran los puntos más frágiles del molde, y así detectar puntos de mejora en el mismo, con esto en cuenta podríamos mejorar el diseño de futuros moldes de flexión de ultem 9085, y no cometer el mismo error que en el primer molde. La máquina a utilizar para tomar las mediciones es una maquina universal de pruebas (MUP), que se muestra en la figura 19.

MAQUINA UNIVERSAL DE PRUEBAS (MUP)


CARACTERISTICAS		
	NOMBRE	MAQUINA UNIVERSAL DE PRUEBAS FISICA (MUP)
	MARCA	HOUNSFIELD
	NO DE SERIE	0229 CELDA. No. 608019
	MODELO	H5K-S
	FECHA DE PRESTACION DE SERVICIO	A LA FECHA
	LOCALIZACION	LABORATORIO DE METROLOGIA
ALCANCES DEL EQUIPO		
MAXIMO	0 A 5000 N	
CLASE DE EXACTITUD	± 1 %	
RESOLUCION	0.0098 N	
VELOCIDADES DE PRUEBA	0.001 A 1000 mm/min	
VELOCIDAD Y VUELTA	0.001 A 1500 mm/min	
ESPACIO LIBRE DE PRUEBA (ALTURA)	750 mm	
ESPACIO HORIZONTAL	100 mm	

Figura 19: Especificaciones de maquina universal de pruebas.

Para poder realizar las mediciones que la tubería de plástico ejerce en las pestañas del molde, es necesario sacar un molde de acero inoxidable de la línea de producción. debido a que se necesitara cortar la pestaña 1 para realizar una correcta medición de la fuerza, y como no se cuentan con muchos moldes de impresión 3D es más fácil cortar y volver a aplicar soldadura al molde de acero inoxidable para después devolverlo a su estado normal, a diferencia de un molde de impresión 3D. Además, es necesario soldar una estructura en la base del molde de acero inoxidable que servirá como soporte para ser colocado en la maquina universal.

Se suelda un perfil angular de 19.05 mm x 3.17 mm en la base del molde de manera vertical, de modo que cuando se coloque la base del molde en la máquina, se pueda sostener correctamente con los pistones sujetadores y así poder medir la fuerza de la tubería.

Además de soldar el perfil, se tiene que cortar el molde en la pestaña uno, que es donde el perno medidor de la maquina universal tomara la medida de la fuerza que la tubería ejerce en la pestaña, este corte se realizó de 5mm x 5mm quedando como se muestra en la figura 20.



Figura 20: Corte de 5x5 mm en pestaña 1 de molde de acero inoxidable

Para que la maquina empiece a medir, el perno tiene que ser colocado en una posición cero como muestra la figura 21, donde después la maquina comenzara a realizar un movimiento vertical hacia abajo para realizar la medición de la fuerza con respecto al desplazamiento.



Figura 21: Posición cero de perno medidor

Una vez establecido el punto cero, se comienza con la medición de la fuerza descendiendo verticalmente hacia abajo, teniendo un desplazamiento de 2.2 mm y obteniendo como resultado una fuerza de 235.33 N, como se muestra en la figura 22.



Figura 22: Medición de fuerza de tubería en pestaña 1

Para saber si la medición fue correcta, se aplica un haz de luz donde se puede apreciar la separación de la tubería con respecto a la pared de la pestaña del molde de acero inoxidable, misma que se muestra en la figura 23.



Figura 23: Prueba de haz de luz en pestaña 1

Una vez tomada la medición de la pestaña 1, se procedió a realizar la segunda medición de la pestaña 3 que es donde también la tubería está ejerciendo una fuerza, sin embargo, para esta pestaña se tomó el molde de impresión 3D, debido a que en esta pestaña no es necesario realizar algún tipo de corte o modificación para realizar una correcta medición.

Al igual que la pestaña 1 se estableció el punto cero del perno de la maquina universal para realizar la medición, tal como muestra la figura 24, y una vez realizado se procedió a aplicar la medición de la maquina quedando como en la figura 25.



Figura 24: Punto cero del perno medidor en pestaña 2 **Figura 25: Desplazamiento del perno medidor de pestaña 3**

La figura 26 muestra los datos medidos por la máquina, con una fuerza de 173 N y un desplazamiento de 2.7 mm, lo que es un poco menor que la fuerza que se está ejerciendo en la pestaña 1.

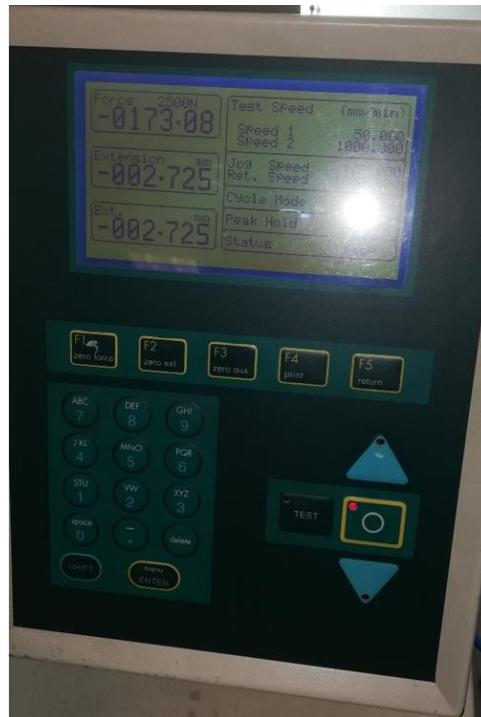


Figura 26: fuerza de la tubería aplicada en la pestaña 3.

Como se mencionó anteriormente, estas serían las fuerzas máximas que se podrían aplicar en el molde debido a que esta tubería fue colocada en frío, que es cuando la tubería es más rígida a diferencia si estuviera precalentada donde la fuerza se reduciría drásticamente.

Una vez tomadas las medidas de fuerza ejercidas en las pestañas 1 y 3, se procedió a realizar las pruebas de temperatura donde el molde sería sometido a una temperatura de 175 °C por 15 minutos, donde a su vez estaría recibiendo la fuerza de la tubería, sin embargo, recordando lo que se mencionó anteriormente, la fuerza de la tubería no será la misma, debido a que estaría recibiendo este calor quedando una tubería más blanda.

Es de suma importancia realizar estas pruebas de temperatura, puesto que no serviría de nada que el molde pueda resistir las pruebas de fuerza si el molde se derrite al permanecer dentro del horno, sin embargo estamos dentro del rango de la temperatura de deflexión de calor del ultem 9085, por lo que teóricamente no debería de tener problema para pasar el tiempo dentro

del horno, ya que al ser de plástico, teóricamente debería de alcanzar una temperatura menor que la de un molde de acero inoxidable, sin embargo esto no es del todo correcto para la tubería de plástico debido a que puede ser que al tener menor temperatura en la cavidad del molde de ultem 9085, la flexión de la tubería de plástico podría tener variaciones al momento de flexionarla, lo que provocaría que la pieza no salga bien y sea designada como scrap, esto es algo teórico, sin embargo se comprobaba al momento de obtener piezas flexionadas.

Se comienza con las mediciones del molde de ultem 9085 dentro del horno para comprobar que temperatura alcanza, tal como se muestra en la figura 27.



Figura 27: Medición de temperatura de molde de ULTEM 9085 dentro del horno de calentamiento.

VII. RESULTADOS Y DISCUSIÓN

Después de realizar muchas mediciones en diferentes ciclos, se decidió realizar una tabla para sacar la temperatura promedio que el molde de ultem 9085 puede alcanzar, misma que se muestra en la tabla 5.

Tabla 5: Tabla de mediciones de temperatura de molde de ULTEM 9085 en horno de calentamiento.

Tabla de temperaturas de molde de Ultem 9085 dentro del horno de calentamiento.	
Numero de toma de temperatura	Grados centígrados.
Toma 1	146.6°
Toma 2	148.1°
Toma 3	157.7°
Toma 4	165.7°
Toma 5	155.2°
Toma 6	149.3°
Toma 7	148.9°
Toma 8	141.1°
Toma 9	158.3°
Toma 10	149.6°
Temperatura promedio.	<u>152.05</u>

Análisis de Costos de fabricación

Precios de fabricación de molde de ultem 9085

A continuación, se muestra una comparación de precios de cada uno de los procesos, se empieza con la cotización enviada por el proveedor Sitres, que ofrece el servicio de impresión 3D.

Hay dos costos para el molde de ultem 9085; con el molde que es solicitado con un proveedor, este molde tiene un costo de; **\$4663.69 MXN** que muestra la figura 28.

COTIZACIÓN SERVICIO DE IMPRESIÓN 3D	
DATOS DEL CLIENTE	
Anibal Canales	
Folio: 503	
Material: Ultem 9085	
Tecnología: FDM	
Interior: Sparse DD	
Resolución: 0.254	
Nombre del archivo	Cantidad
	1
Material Usado (cc)	90
Soporte Usado (cc)	25
Tiempo Requerido (Hrs.)	4.15
Servicio de Impresión	\$4,663.69
Shipping	\$400.00
Subtotal	\$5,063.69



Figura 28: Cotización de servicio de impresión 3D de molde de flexión en ULTEM 9085

Este precio es considerado de esta manera debido a que como es un proveedor externo, en el costo está considerada una ganancia del proveedor, ya que lo que se solicita es el servicio de impresión, puesto que él es quien tiene la máquina para poder imprimir piezas en ultem 9085, recordemos que la temperatura de extrusión de este filamento debe ser de 280° C a 350° C y no puede realizarse con una impresora convencional.

El segundo precio es de **\$1923.01 MXN**, y se considera si se tuviese la maquina a nuestro alcance, es decir si la impresión de piezas fuera de fabricación propia, con ella no habría

necesidad de solicitar un servicio de impresión. El precio por palabras del proveedor sería el que se muestra en la figura 29.

Excelente tarde, te comparto la cotización de la pza en material Ultem 9085.
El tiempo de impresión que tarda la maquina en elaborar el modelo es de 4 horas y 9 min.
El costo del modelo si tuvieran el equipo en sitio, solamente contemplando el material de modelo y el material de soporte, es de \$1,923.01 + iva.

Figura 29: Costo molde de flexión en ULTEM 9085 con impresora en sitio.

Como se puede observar el precio se reduce en un 59% si la maquina estuviese en sitio que en un servicio de impresión.

Precios de molde de acero inoxidable

Como se mencionó anteriormente, para fabricar un molde de flexión, es necesario un bloque guía o cama.

Para esto es necesario mandar el CAD de la tubería al proveedor para que realice el maquinado de la ruta de la tubería en el bloque, esta cavidad debe tener el mismo diámetro que el tubo que se usara para fabricar el molde.

Además de esto se debe considerar el tubo inoxidable a utilizar, para este molde se utiliza tubo inoxidable de 20 mm x 2 mm de espesor, y 215 mm de longitud, sin embargo para fabricar el molde, se considera un 10% más de la longitud de la tubería, por lo que para este molde se necesitan 236.5 mm de tubo inoxidable, se considera el 10% más, debido a que en algunas secciones por la curva de la tubería, se necesita de más tubo, puesto que por el calor de la soldadura este se contrae, además de que se considera que al fabricarlo por secciones en algunas ocasiones se llegan a perder algunos milímetros.

El metro de tubo inoxidable de esta medida es de \$1165.07 MXN, ahora si se quiere saber el costo de 236.5 mm, que es la longitud del molde, se haría de la siguiente manera;

1 Mt. De tubo inoxidable de 20 x 2 mm = \$1165.07 MXN

Costo de mm de acero inoxidable= \$1165.07 MXN /1000 mm= \$1.165MXN /mm

Longitud de tubería más 10% de longitud por perdidas = 236.5 mm

Costo de tubo para molde de flexión = 236.5 mm x \$1.165 MXN= 275.5225 MXN

Para el cálculo del costo de fabricación se considera el tubo de acero inoxidable, el precio del redondo inoxidable, mano de obra, desechos de fabricación y costos de importación, sin embargo, por políticas de la empresa no se puede proporcionar un cálculo tan preciso por lo que se hará un resumen de los costos anteriormente mencionados.

Costos de mano de obra = \$2,596.92 MXN

Desechos de fabricación = \$53.68 MXN

Costos de importación = \$19.50 MXN

Cama guía de acero = \$14,850 MXN

A continuación, en la tabla 6. Se muestra las variables que se consideran para fabricar un molde de acero inoxidable, así como su precio total.

Tabla 6: Costos de fabricación de un molde de acero inoxidable.

Descripción	Costo
Costo de tubo inoxidable para molde	\$ 275.5225 MXN
Costo de mano de obra	\$2,596.92 MXN
Desechos de fabricación	\$53.68 MXN
Costo de importación	\$19.50 MXN
Cama guía de acero	\$14,850 MXN
Total	\$ 17,795.6225 MXN

Como se puede observar el precio del método de fabricación tradicional del molde, está muy por encima del precio que se haría directamente en la impresora 3D. con una diferencia del 74% en costo con el método de fabricación normal contra un molde de Ultem 9085, cabe destacar que en ambos casos, no se están considerando los precios de discos de desbaste, discos de lija, discos de fibra, fresadoras de tungsteno, micro alambres de acero inoxidable, etc.

VIII. CONCLUSIONES

Se introdujo a producción el molde de ultem 9085 y logro realizar más de 20 ciclos por lo que podemos decir que es un molde funcional y resistente, además de más económico que si se fabricara un molde de acero inoxidable, una vez comparado el precio, se comparan tiempos de fabricación. Para un molde de acero inoxidable de este tipo y utilizando el bloque guía maquinado, se necesitan de 8 horas hombre para su construcción, mientras que si se imprime un molde de Ultem 9085 se haría en 4.15 hrs tal como muestra la (figura 29), lo que reduciría el tiempo casi en un 50%.

Dado que la diferencia de los tiempos es casi del 50%, el tiempo del turno de un técnico es de 9 hrs, por lo que en un turno podría fabricar un solo molde de este tipo, mientras que la impresora 3D podría fabricar dos de estos moldes en tan solo 8 horas y 20 minutos, pero eso no es todo, sino que podríamos dejar trabajando la impresora en la tarde y por la noche ya tendríamos un tercer molde dándonos 3 moldes en menos de 24 hrs.

Cabe resaltar que, si este número de parte llegase a ponerse crítico, se tendría que pagar tiempo extra lo que aumentaría sus costos de fabricación, mientras que con la impresora 3D no se tendría la necesidad de hacer este tipo de gastos, también se eliminarían tiempos muertos o el cumplimiento de necesidades básicas del ser humano.

Esta tecnología nos abre las puertas a nuevas posibilidades de manufactura, que nos brinda en algunos casos, mejor tiempo y costos de fabricación. Como acciones para el futuro se considerará el análisis de elemento finito y la fabricación de diferentes moldes para diferentes tuberías.

IX. BIBLIOGRAFÍA

1. Stratasys. <https://www.stratasys.com/mx/rapid-prototyping/functional-prototyping>. [En línea] Abril de 2021.
2. Malte Gebler, Anton J.M. Schoot, Cindy Visser. ScienceDirect. [En línea] A global sustainability perspective on 3D printing technologies, Noviembre de 2014. <https://www.sciencedirect.com/science/article/abs/pii/S0301421514004868>. ISSN 0301-4215.
3. REDFORD. [En línea] FROM FANTASY TO REALITY: FORD'S NEW \$45 MILLION ADVANCED MANUFACTURING CENTER BRINGING THE FUTURE TO LIFE – TODAY, Diciembre de 2018. <https://media.ford.com/content/fordmedia/fna/us/en/news/2018/12/04/ford-new-45-million-advanced-manufacturing-center-redford-michigan.html>.
4. Cortes, Carlos. Manufactura. [En línea] La impresión 3D revoluciona la industria automotriz, 17 de Agosto de 2017. <https://manufactura.mx/columnas/2017/08/17/la-impresion-3d-revoluciona-la-industria-automotriz>.
5. Crump, S. Scott. Apparatus and method for creating three-dimensional objects. US Patent US5121329A USA, 1989.
6. [En línea] Abril de 2021. <https://www.stratasys.com/es/3d-printers/fortus-380mc-450mc>.
7. Comparison of Different Types of 3D Printing Technologies. Shiwpursad Jasveer, Xue Jianbin. 4, s.l. : International Journal of Scientific and Research Publications, Abril de 2018, Vol. 8. ISSN: 2250-3153.
8. 3DXTech – ThermaX – PEI Filament – ULTEM™ 9085 – Natur – 1.75 mm – 0,5 kg. s.l. : 3DXTech.
9. Regidor, Antonio. 2 de Agosto de 2017. El hot end de 480 grados de i3Dinno.
10. Diosdado, Reul. La cama caliente.
11. Grupo Sicnova presenta nueva impresora 3D y cabina de medición 3D. 2017.
12. Peculiar Glass Transition Behavior and Miscibility in a Binary Mixture Comprising Amorphous Poly(ether imide) with Semicrystalline Poly(butylene terephthalate). Yau, E. M. Woo and S. N. 1, s.l. : ACS Publications, 1997.
13. Materiales Poliméricos y Compuestos. Universitat Politecnica de Valencia. [En línea] https://www.upv.es/materiales/Fcm/Fcm15/fcm15_3.html.
14. Stratasys. ULTEM™ 9085 resin.
15. Intelligy. Impresión de piezas 3D duraderas y estables. [Pagina web]
16. —. Impresión de piezas 3D duraderas y estables.

ANEXO I

Módulos y herramientas para el diseño del molde en Catia.

Dentro de CATIA podemos encontrar varios módulos que podremos usar dependiendo de nuestras necesidades, por mencionar algunos de estos módulos que usaremos para la creación del molde de flexión son;

Diseño y generación de superficies (Generative Shape Desing): Este módulo de CATIA se encuentra dentro de la herramienta shape y es el principal modulo que usaremos para realizar el molde de flexión.

Punto (Point): Se utiliza para colocar puntos de referencia para el diseño de módelos 2D o 3D

Línea (Line): Es usada de referencia para la creación de líneas o poli líneas en el diseño de modelos 2D y 3D.

Intersección: Se utiliza cuando se quiere dejar parte del solido común entre dos cuerpos y eliminar el resto.

Poli línea (Polilyne): Permite generar polígonos en el espacio.

Plano (Plane): Usado para colocar un plano y sirva como apoyo, que en este caso será usado para utilizarlo para posicionar los sketches.

Formulas: nos ayuda a crear formulas y parámetros para incorporarlos a los requerimientos y restricciones de diseño.

Boceto o sketch; en este módulo es donde se comienza con la creación de bocetos 2D que se usan para después darles forma a modelos 3D, para esto es necesario crear el boceto, este módulo nos permite agregar medidas, diámetros, líneas de cota etc.

Unión (Join); se utiliza para unir una o más superficies, de modo que queden todas las superficies como una sola pieza.

Medida (Measure): Sirve para tomar medidas, ya sea radio, diámetro, longitud, etc.

Barrido (Sweep): Se utiliza para la generación de superficies a partir del barrido de una curva a través de una curva guía.

Corte (Split): La herramienta Split permite realizar un corte por un plano, superficie o algún product.

Body: Es un nodo en el árbol de diseño donde se agrupan las líneas, puntos, superficies, etc.

Definición de espesor de superficie: (Thicksurface definition): Se emplea para crear solidad dando grosor a una superficie.

Edge fillet: Se utiliza para crear redondeos o radios en las aristas de los sólidos.

Extrapolación (Extrapol): Esta herramienta permite la extrapolación de una superficie.

Pad: Esta herramienta permite la extrusión de perfiles cerrados y abiertos dando un espesor en la dirección que deseemos.

Diseño de partes (Part Design); este módulo tiene como objetivo la creación y edición de los bocetos creados en el apartado de Sketches, llevando los bocetos a un modelo 3D, donde puede ser modificado con las herramientas que nos brinda este módulo.

Estos son los módulos y herramientas que serán utilizadas para crear el modelo del molde de flexión que se usará para que sea tomado de referencia y la impresora pueda imprimirlo tomando las coordenadas de este diseño.

Creación de ruta de tubería para molde de flexión.

Como ya se mencionó anteriormente el diseño del molde se realizó en Catia, en el módulo de Generative shape design, se tomó el modelo CAD de la tubería de plástico que se desea moldear y que nos brinda nuestra contraparte de Alemania para tomarlo como referencia y a partir de ahí realizar el molde.

Se inicia colocando los puntos de referencia para poder realizar la ruta del molde de flexión, para eso se usa la herramienta punto, que se encuentra en la parte superior derecha de la ventana de Catia. Una vez seleccionada mostrará las opciones de generación de puntos en la ventana de point definition, en la opción point type selecciona Circle / Sphere / Elipse cent,

y selecciona el diámetro exterior de la tubería, click a ok y se tendrá el primer punto de referencia como se muestra en la figura 1.1

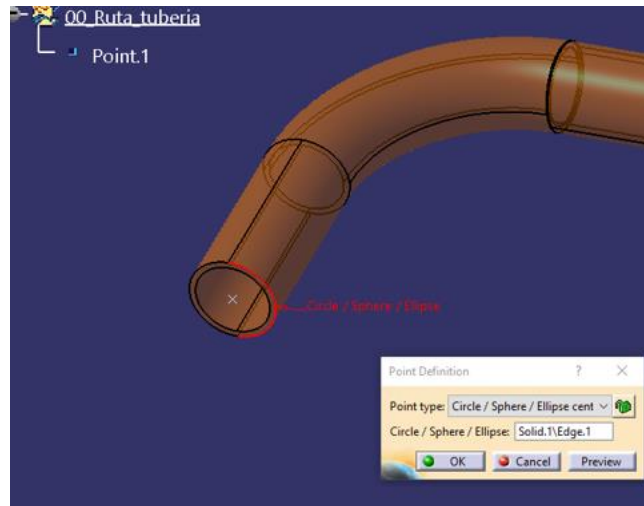


Figura: 1. 1 Primer punto de referencia.

Este proceso se repite en todas las secciones del molde tanto en el diámetro inicial como en las secciones donde empieza la curva y donde termina la tubería, quedando un total de 4 puntos como se aprecia en la figura 1.2

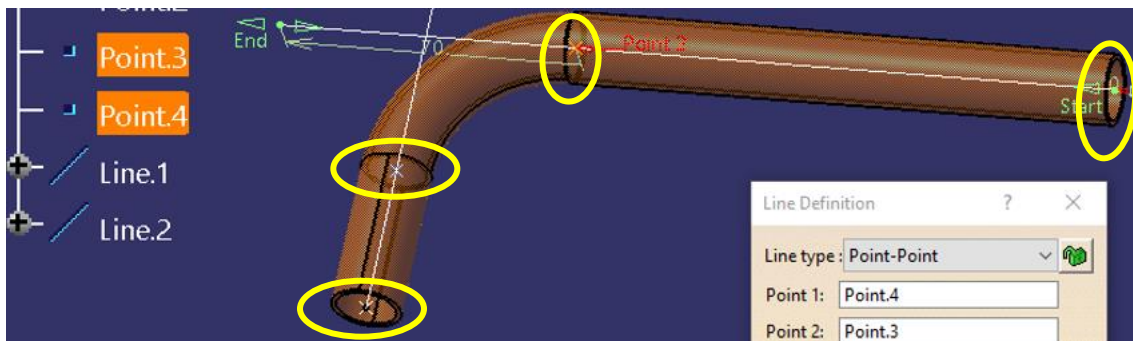


Figura: 1. 2 creación de 4 puntos de referencia.

Después se procede a realizar dos líneas para tomarlas como puntos de referencia y poder crear la curva de la tubería, para eso se utiliza como puntos de referencia el punto 1 y el punto dos, dándole un final a la línea de 70 mm, tal como muestra la figura 1.3

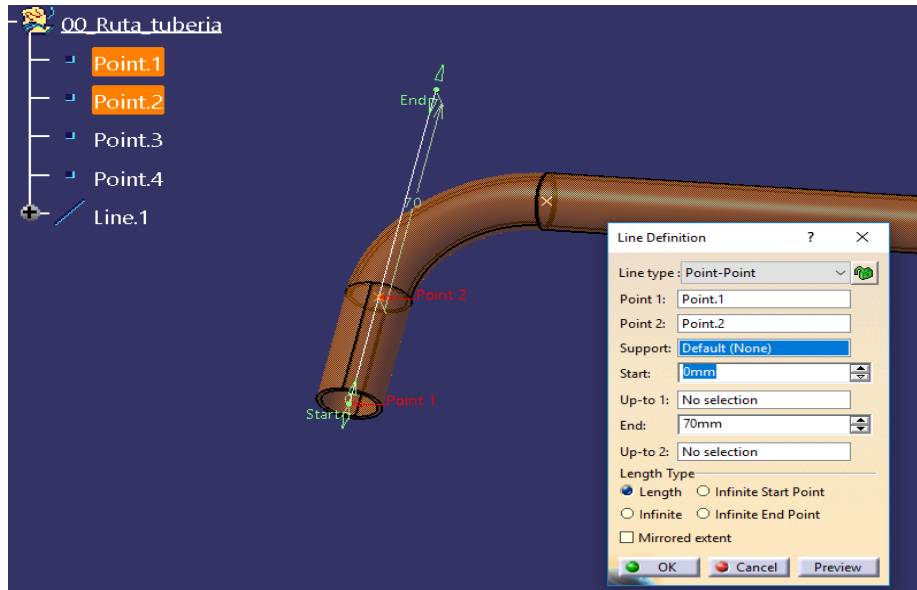


Figura: 1. 3 Creación de línea de referencia para curva de molde

Se repite lo mismo para crear otra línea, pero ocupando el punto 3 y punto 4, de modo que estas dos líneas se intercepten, una vez creada la segunda línea se selecciona la herramienta intersección.

Esta herramienta sirve para unir dos o más elementos dentro del software, que en este caso, se usara para unir la línea 1 con la línea 2.

Después se procede a hacer la curva del molde, el dibujo indica que la curva de la tubería es de un radio de 35 mm, por lo que se usa la herramienta poli línea.

En la barra de comandos desplegar la pestaña de el comando “línea” y mostrara la opción de poli línea, donde se seleccionara primero el punto 1, después la intersección previamente realizada, y para finalizar el punto 4, donde al final en la parte de radio se dará la medida del radio de 35 mm.

Una vez realizado todo esto, se concluye la creación de la ruta de la tubería que se usara para fabricar el molde, que se muestra en la figura 1.4

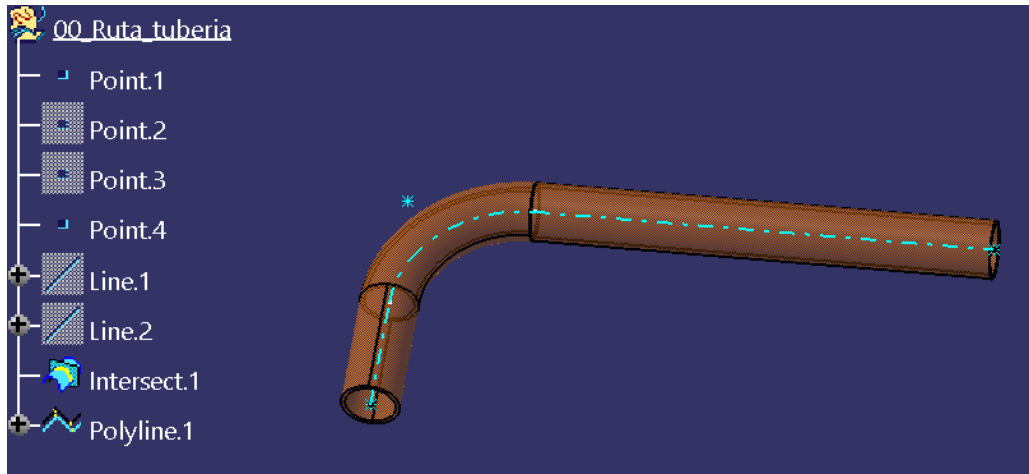


Figura: 1. 4 Ruta de tubería para molde de flexión.

Creación de puntos, líneas y planos de referencia para superficies onduladas.

Una vez creada la ruta de la tubería se pueden realizar los planos de referencia para ir dando forma al molde de flexión, se comienza creando un plano a través de dos líneas, la cual ira entre la línea uno y la línea dos previamente realizadas, este plano debe quedar como la figura 1.5.

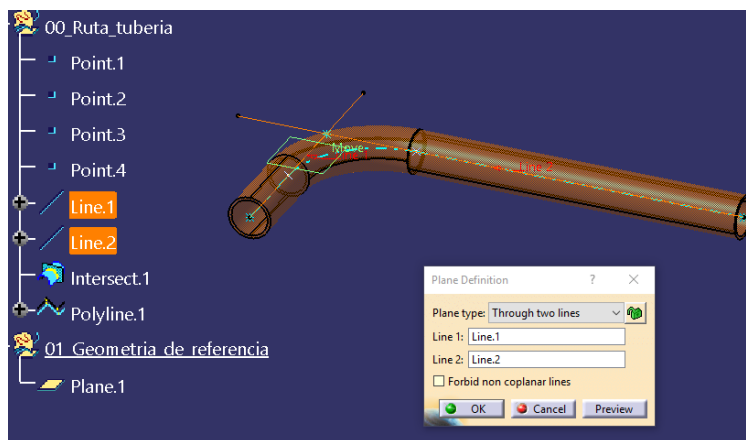


Figura: 1. 5 Plano 1 a través de dos líneas.

Se crea una tercera línea para utilizarla como referencia, y usarla para la creación del molde de flexión. Esta tiene que ser una línea utilizando un punto y una dirección, el punto será la intersección 1 previamente realizada, y la dirección el plano 1 tal como se muestra en la figura 1.6

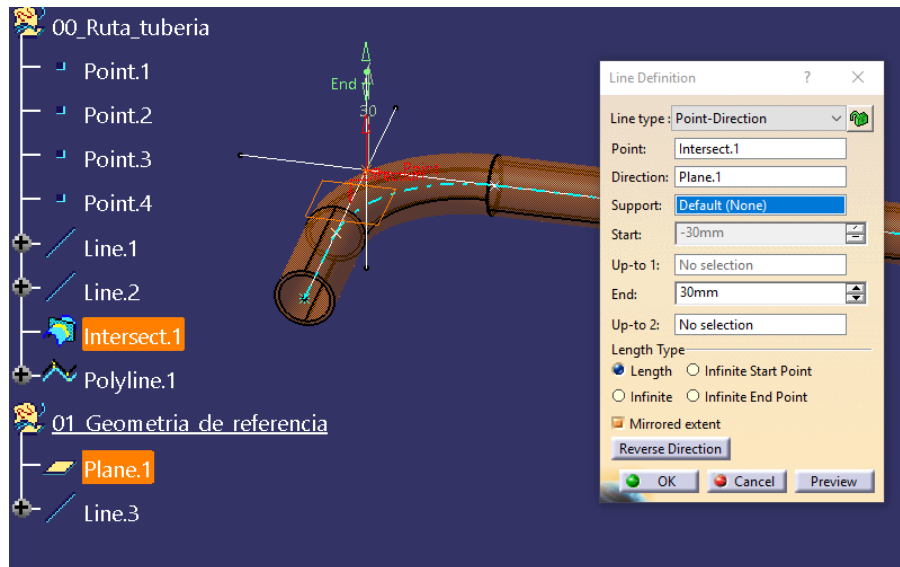


Figura: 1. 6 Creación de línea de referencia o línea 3

A partir de aquí vamos a usar unos planos para ir dando forma a las pestañas del molde de flexión, pero antes de esto necesitamos establecer donde irán ubicados estos planos, de modo que usaremos unos puntos de referencia que colocaremos usando el punto uno, los cuales serán el punto 5 y 6, donde el punto 5 estará ubicado a 20 mm de distancia del punto 1, mientras que el punto 6 estará ubicado a 25 mm de distancia.

El siguiente paso es colocar los planos de tipo normal a la curva, tomando como curva la poli línea y como punto el punto 5 y 6, quedando como la figura 1.7

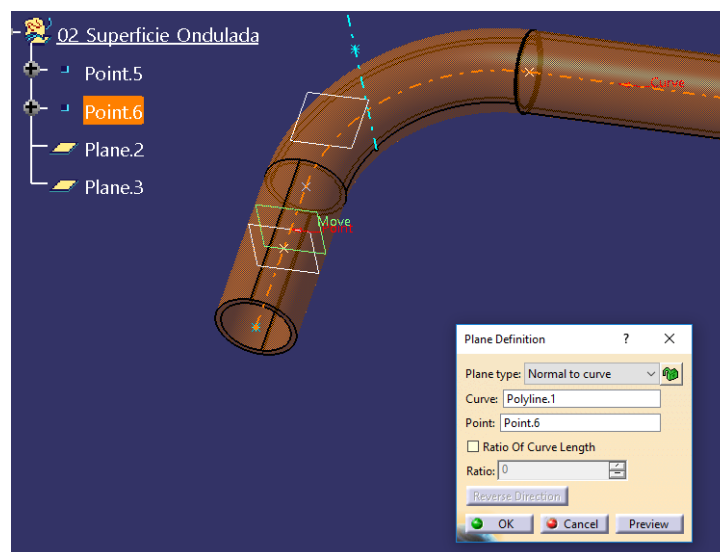


Figura: 1. 7 Creación de planos de referencia 2 y 3

Ahora se establecerán parámetros que ayudaran a agilizar el diseño de las líneas, que se utilizaran para crear las superficies del molde, mismas que se usaran para crear las pestañas del molde, de modo que no tengamos que editar una por una, en CATIA se selecciona la opción F(x) que ayuda a crear formulas y parámetros para incorporarlos a los requerimientos y restricciones de diseño.

Para el parámetro de longitud 1. (length1), Junto al botón new parameter of type se encuentran 2 cuadros editables, en el primero se selecciona length y en el segundo single value, y se le dará una longitud de 30 mm, tal como lo muestra la figura 1.8

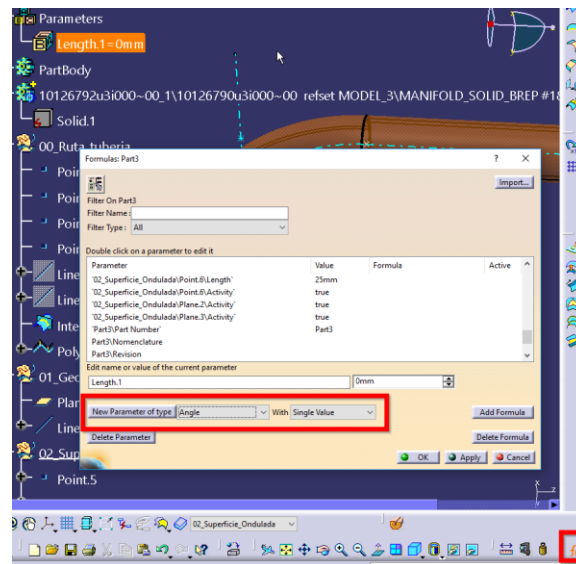


Figura: 1. 8 Creación de parámetro de longitud de 30 mm

Ahora se crean parámetros para dos ángulos, el primero de 45, y segundo de 15 grados, que muestra la figura 1.9, estos ángulos ayudaran a la orientación de las líneas de referencia, para la fabricación de las pestañas del molde.

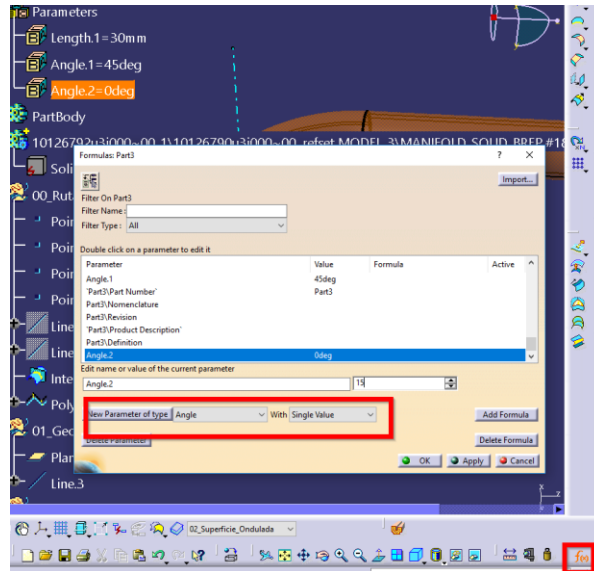


Figura: 1. 9 Creación de ángulo de 15° para líneas de pestañas de molde

Ahora se continua con la creación de los planos de referencia para el diseño de las pestañas del molde, se crea un plano 4 normal a la curva figura 1.10, tomando como curva la poli línea, y como punto el punto 1.

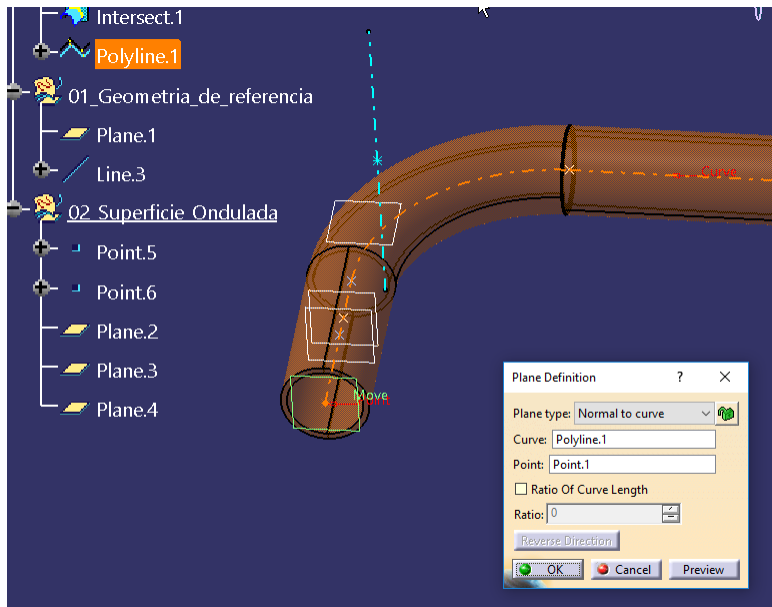


Figura: 1. 10 Creación de plano 4 de referencia.

Se crea un sketch posicionado, tomando como soporte del sketch el plano 4, como origen proyectado en un punto en el punto 1 y la orientación paralela a una línea que en este caso es la línea 3, véase figura 1.11

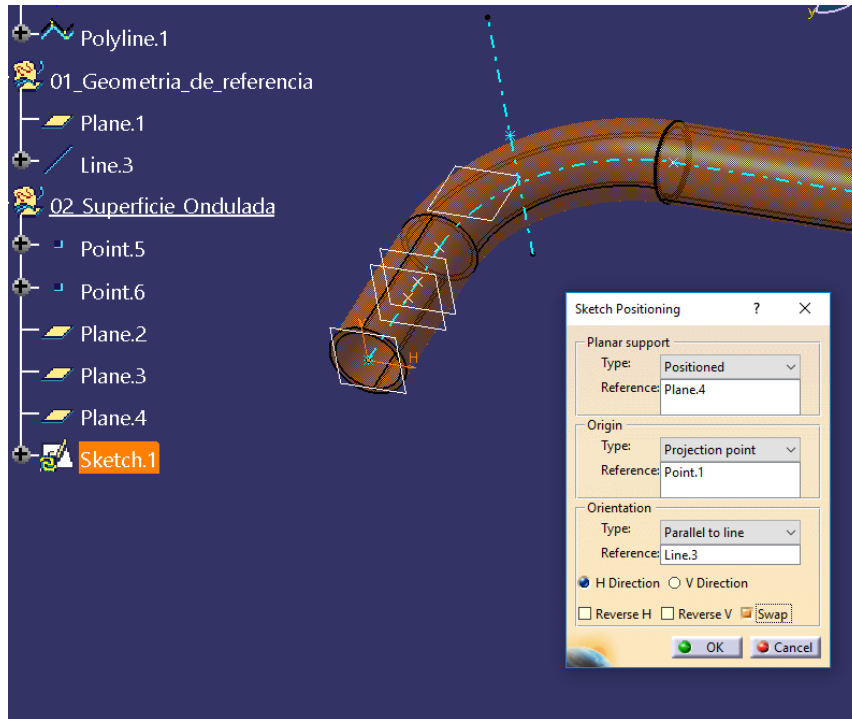


Figura: 1. 11 Creación de sketch 1

Es momento de crear las líneas de referencia para las superficies de las pestañas, para eso se utilizará el siguiente plano de coordenadas que se ocupará más adelante para facilitar la explicación de diseño del molde, véase Figura 1.12

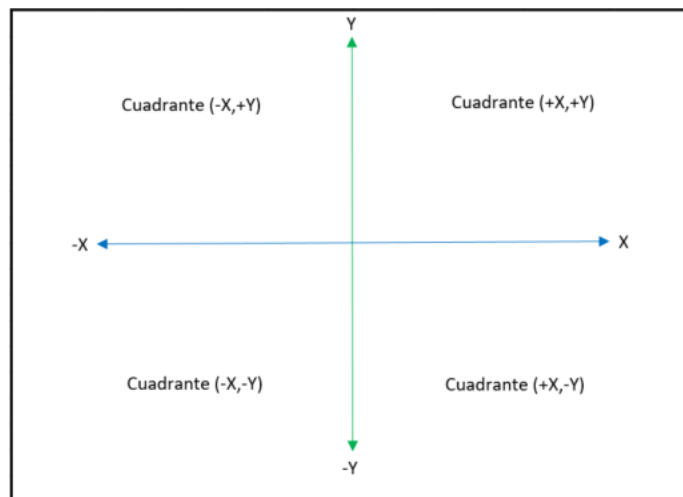


Figura: 1. 12 Plano de coordenadas (X, Y)

Una vez definido donde se requiere el sketch, se hace una línea donde se encuentra el punto uno, para esto se usa un sketch, quedando como sketch 1, después seleccionamos la cota, damos click derecho, y seleccionamos edit. formula como muestra la figura 1.13

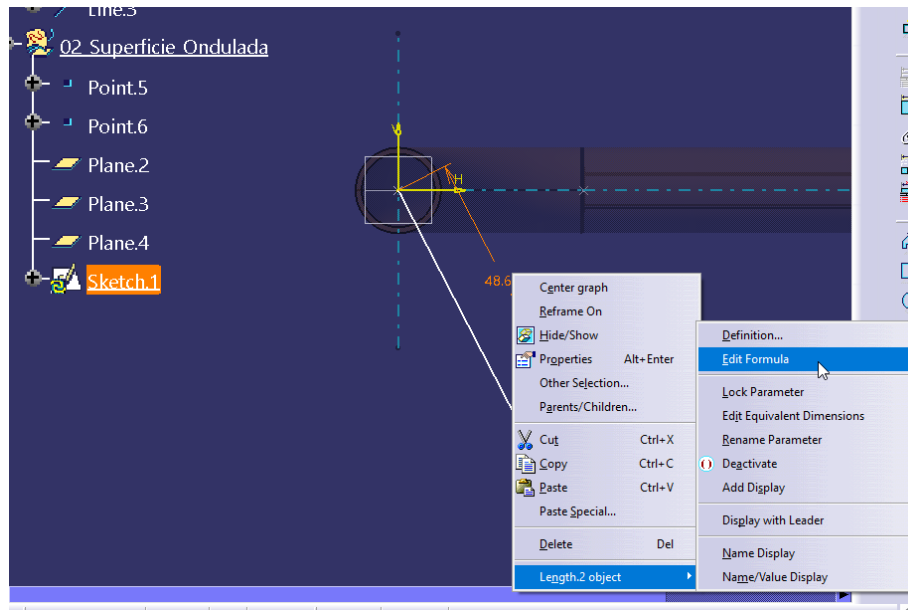


Figura: 1. 13 Creación de primera línea de referencia para pestañas de molde

Esta línea se va a vincular con el parámetro de longitud anteriormente creado que es Length 1. (figura 1.8) y con el parámetro de Angulo 1 (Angle 1) (Figura 1.15) Para que tenga una longitud de 30 mm (Figura 1.14) y un angulo de 45 grados, en dirección al cuadrante (+X, -Y)

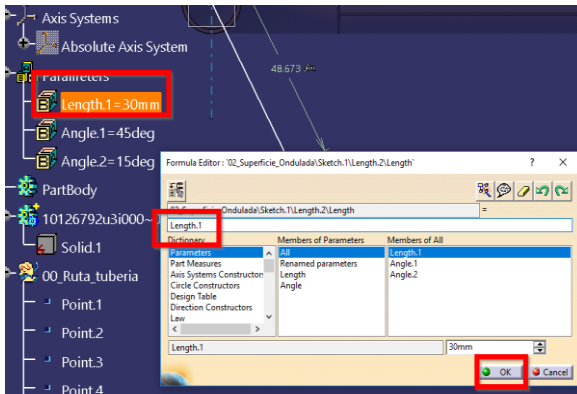


Figura: 1. 14 Vinculación de línea con parámetro length 1

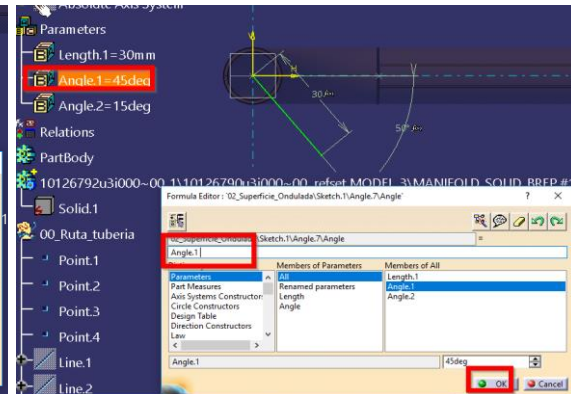


Figura: 1. 15 Vinculación de línea con parámetro Angle 1.

Se crean nuevamente un sketch en los planos 4, 2, y 3 respectivamente, en estos sketches se crearán las líneas referencia con los parámetros de las figuras 1.14 y 1.15, en el plano 4 se crea el sketch 2, y en este la línea en dirección al cuadrante (-X, +Y), en el plano 2, el sketch 3, con línea en dirección al cuadrante (+X, -Y), y en plano 3, el sketch 4, con línea en dirección al cuadrante (-X, +Y), quedando como muestra la figura 1.16

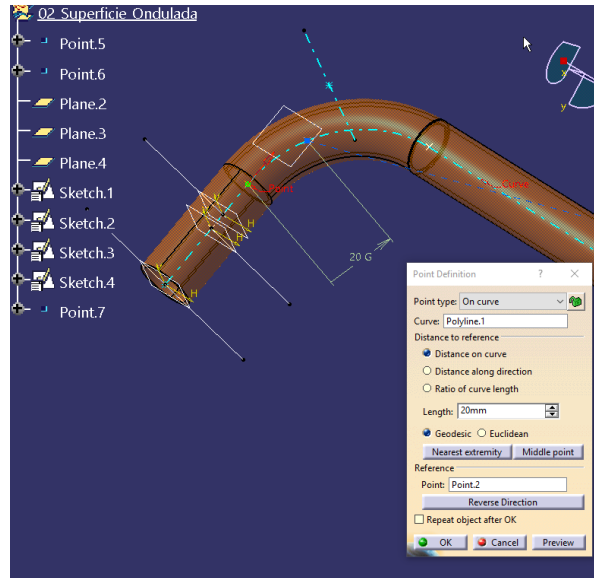


Figura: 1. 16 Creación de líneas de referencia de los planos 4, 2, 3.

Ahora se crean los puntos 7 y 8, usando de referencia el punto dos, así como puntos 9 y 10 usando el punto 3, creando cuatro puntos nuevos, los puntos tienen que ir al hacia la línea 3 que es la dirección hacia donde se realizara la pestaña del molde.

Se repite el proceso de creación de los planos 5, 6, 7, 8 y los aplicamos para los puntos creados anteriormente como muestra la figura 1.17

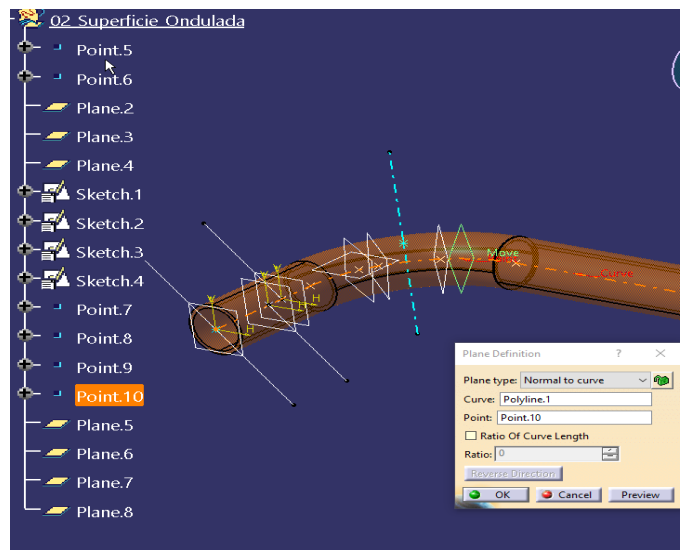


Figura: 1. 17 Creación de planos 5, 6, 7, 8

Se repite el mismo proceso de crear un sketch para cada plano acompañado de una línea, todas las líneas deben tener los parámetros anteriormente creados, para estos 4 planos se

crearan 4 sketches respectivamente a los planos creados que serán sketch 5, 6, 7, y 8, en estos sketch se crearan las líneas de referencia que usaran los parámetros que muestran las figuras 1.14 y 1.9, en el sketch 5 la dirección de la línea corresponderá al cuadrante (-X, -Y), mientras que para los sketch 6, 7, y 8, la dirección de la línea será (+X, +Y), (-X, -Y), (+X, +Y), respectivamente, quedando como la figura 1.18

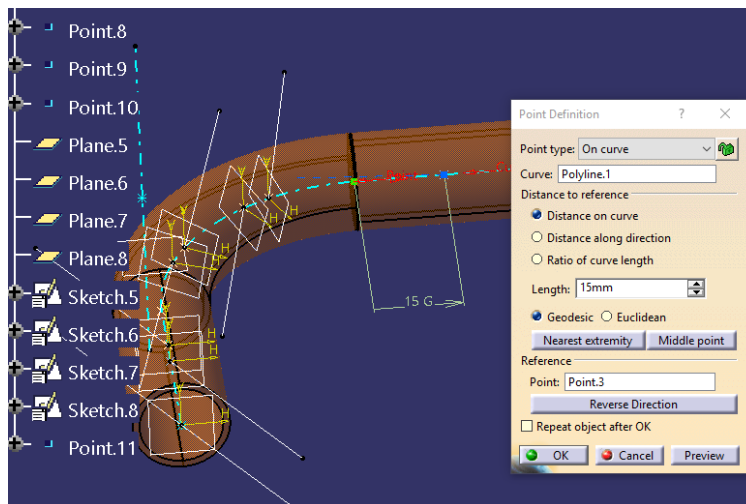


Figura: 1. 18 Creación de líneas de referencia de sketch 5, 6, 7, 8

Se procede a realizar los puntos que van a servir como referencia para los planos donde irán las líneas de referencia, creando un punto 11 y 12, que tomarán como referencia el punto 3, dejando una distancia de 15 y 10 mm respectivamente al punto 3, y se crean los planos 9 y 10 de los puntos recién creados, una vez creados, de igual forma repetimos la creación de los nuevos sketches 9 y 10 en los planos mencionados, creando la línea de referencia tomando los parámetros de la figura 1.8 y figura 1.15, en dirección del cuadrante (-X, +Y) para el sketch 9 y (+X, -Y) para el sketch 10.

Se continua con la creación de los puntos 13 y 14, seleccionando la herramienta punto y se selecciona como referencia el punto 3, dándoles una longitud de 60 mm y 70 mm respectivamente, sobre estos puntos se crean los planos 11 y 12 respectivamente, ahora se crean los sketches 11 y 12 en los planos 11 y 12, realizando en los sketches las líneas de referencia con los parámetros que muestran la figura 1.18 y 1.15, quedando en dirección del cuadrante (+X, -Y) para el sketch 11 y (-X, +Y) para el sketch 12.

Se crean los puntos 15 y 16, tomando de referencia el punto 4 y dejando una longitud de 30 mm y 20 mm respectivamente, con la finalidad de crear el plano 13 en el punto 15, y plano 14 en el punto 16, después se crean los sketches 13 y 14, en los planos 13 y 14, con su respectiva línea con los parámetros de la figura 1.8 y 1.15, en dirección del cuadrante (-X, -Y) para el sketch 13, y (+X, +Y) para el sketch 14.

Por último, se crean los planos 15 y 16, tomando como referencia el punto 4, en el plano 15 se creará el sketch 15, en el que se creará una línea con los parámetros de las figuras 1.8 y 1.15, en dirección a las coordenadas (+X, +Y), de igual forma en el plano 16 se crea el sketch 16, tomando como referencia el plano 15, y en él crearemos la última línea de referencia con parámetros de (-X, -Y)

Una vez finalizado todo esto, se ha concluido la creación de los puntos, planos, y líneas de referencia del molde quedando como muestra la figura 1.19

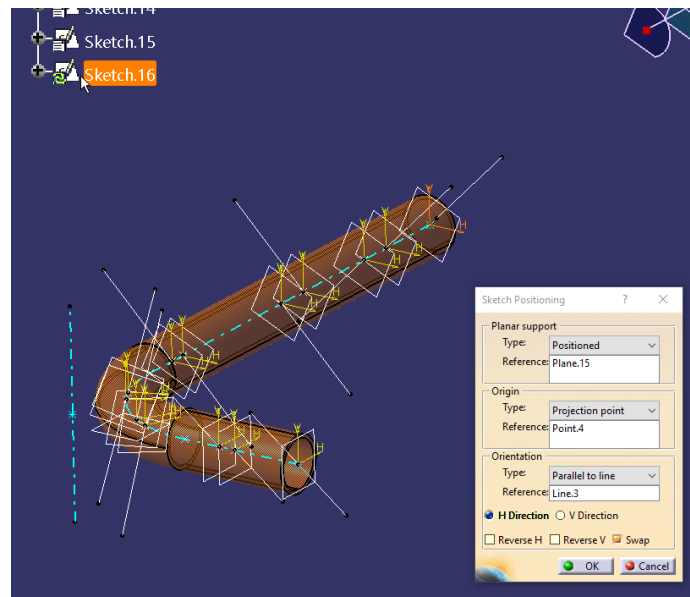


Figura: 1. 19 Creación de todos los puntos, planos, sketches, y líneas de referencia para la creación del cuerpo del molde.

Creación de superficies guía para superficie ondulada.

Una vez creadas todas las líneas de referencia, se procede a crear las superficies del molde, para eso se usara la herramienta Multi-sections Surface definition, una vez seleccionada nos

desplegara una ventana, en esta se seleccionan las líneas de referencia, que nos aparecerán como sketch, por lo que seleccionamos los sketch del lado interior, que son sketch 1,3, y se da click en ok, después se vuelve a seleccionar la herramienta Multi-sections Surface definition, seleccionando el sketch 6 y 8, sin embargo para crear esta superficie se selecciona como guía la poli línea 1, y después se da click en ok, con la misma herramienta se selecciona el sketch 10 y 11, damos click en ok, por último, el sketch 14 y 15 y se da en ok, creando las 4 superficies que se usaran para dar forma a las pestañas del molde, quedando como muestra la figura 1.20

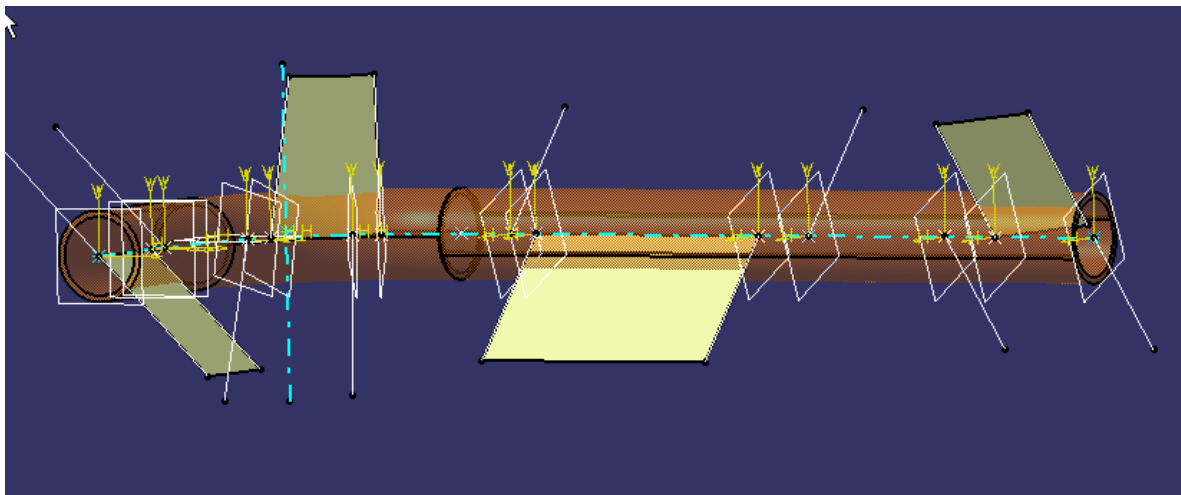


Figura: 1. 20 Creación de las superficies de referencia de pestañas.

Es tiempo de continuar con la fabricación de las superficies, en todas estas se usará la herramienta Multi-sections Surface definition. Seleccionando el sketch 3 y 6, después dentro de esta misma ventana, se selecciona el sketch 3 y ahora se selecciona la parte final de la primera superficie, después se toma el sketch 6 dentro de la misma ventana y se da click al final de la segunda superficie, cuando se seleccione la parte final de la superficie que corresponde a cada sketch, debe aparecer en la parte de supports, la leyenda Multi-section Surface 1 para sketch 3, y Multi-section Surface 2 para el sketch 6, ambas deben tener en el apartado de continuity, Tangent, quedando como muestra la figura 1.21, si se hizo todo lo anterior correctamente, al dar click en ok, la superficie debe quedar como la figura 1.22

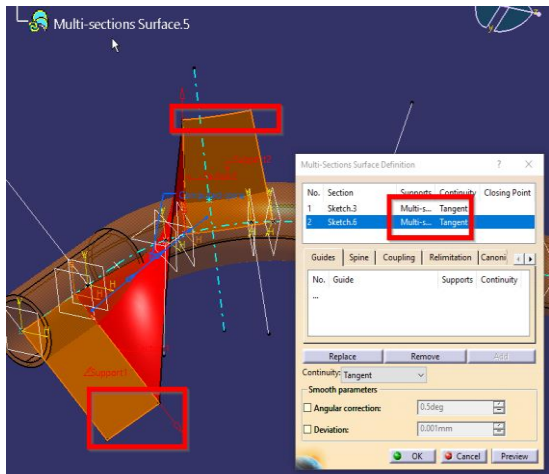


Figura: 1. 21 selección de parámetros de superficie

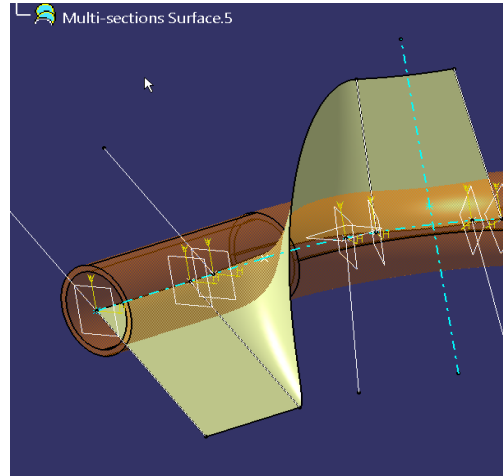


Figura: 1. 22 Primera parte de superficie ondulada.

Este proceso se repite para el sketch 8 y 10, de igual forma se selecciona la parte final de su superficie anteriormente creada que es Multi-section Surface 2 y 3, en el apartado de continuity, debe quedar como Tangent.

Lo mismo con el sketch 11 y 14, si se realizó de la manera correcta, la superficie ondulada debería de quedar como muestra la figura 1.23

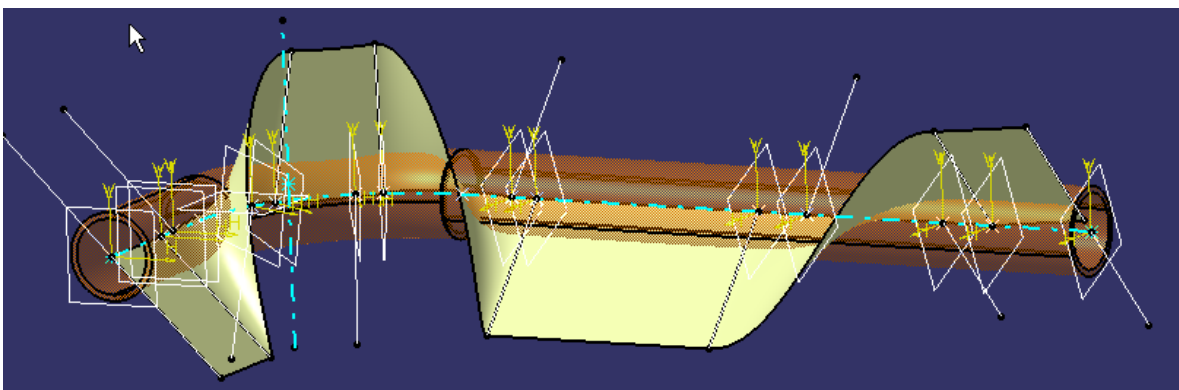


Figura: 1. 23 Creación de superficie interna ondulada.

Como resultado quedarán 7 Multi-sections Surface, mismas que se unirán con la herramienta Join. Para las líneas de referencia faltantes se repite el mismo procedimiento que se hizo para crear esta superficie ondulada, al final, al tener las otras 7 superficies, deben unirse de nuevo con Join, y una vez teniendo la superficie ondulada externa e interna, es necesario unir las con un tercer Join, dando un resultado como muestra la figura 1.24

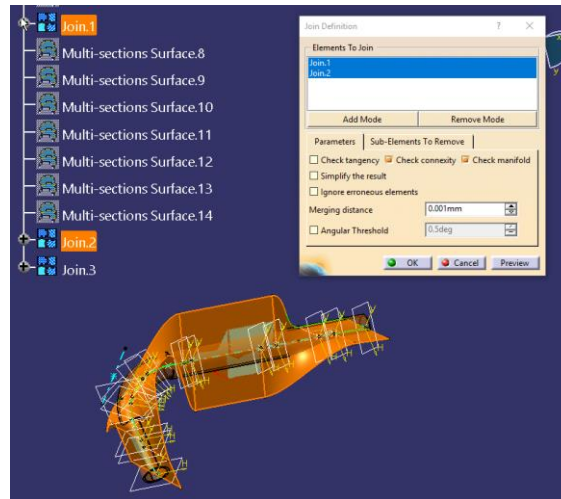


Figura: 1. 24 Unión de Join 3, superficie ondulada interna (Join1) y externa (Join2)

Ahora se crea una tubería con .15 mm más grande al diámetro de la tubería del CAD quedando esta nueva tubería con radio de 8.3 mm, para esto se ocupa la herramienta Swept Surface definition, y se selecciona un subtipo o subtype, de tipo centro, y radio o Center and radius, quedando como la figura 1.25

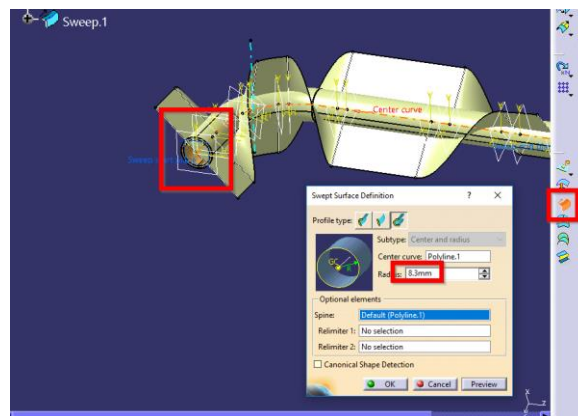


Figura: 1. 25 creación de tubería de referencia para la creación de pestañas del molde

Con la superficie ondulada se procede a cortar la tubería recién creada, se hace esto con la herramienta Split, seleccionando como elemento a cortar (Element to cut), el sweep 1, y como elemento cortante (Cutting element) el Join 3, una vez cortada se oculta Join 3 y salimos para entrar al apartado de part design de CATIA, en donde se usara la herramienta Thicksurface definition, se da click y nos desplegara una ventana en donde en el apartado de object to offset (Objeto a compensar) se selecciona el Split 1, en First offset se coloca el

espesor que se desea para el molde, que en este caso se usara espesor de 5 mm, quedando como la figura 1.26

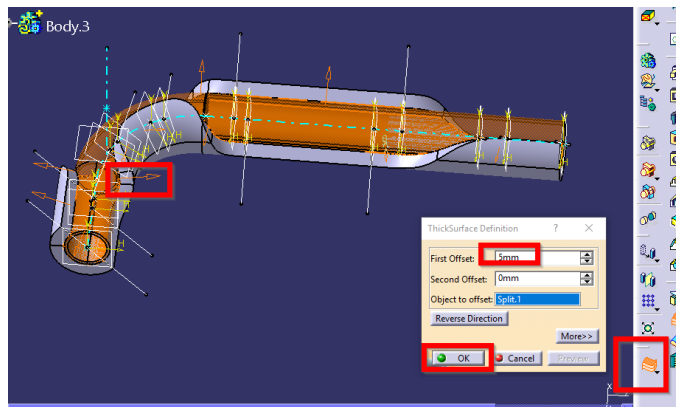


Figura: 1. 26 Espesor de cuerpo de molde

Con la herramienta definición de filo de filete (Edge fillet definition), se eliminaran los filos para agregar radios internos, una vez seleccionada esta herramienta se seleccionan los bordes internos del molde, y se les agrega un radio de 1 mm, después se crea la base del molde, para esto se crea un sketch que será el número 17, con la forma y medidas que se muestran en la figura 1.27, de igual forma se le da un espesor con la herramienta Pad y se le colocaran las medidas que muestra la figura 1.28

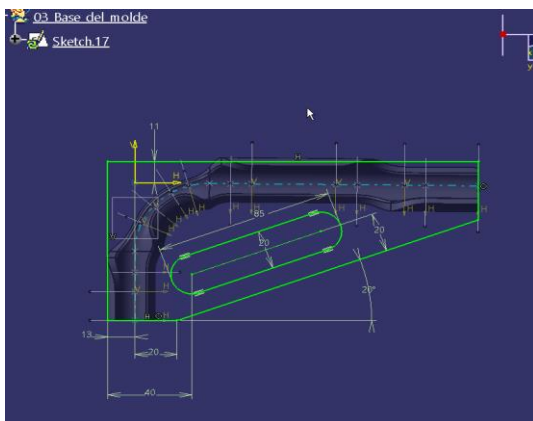


Figura: 1. 27 Creación de base de molde

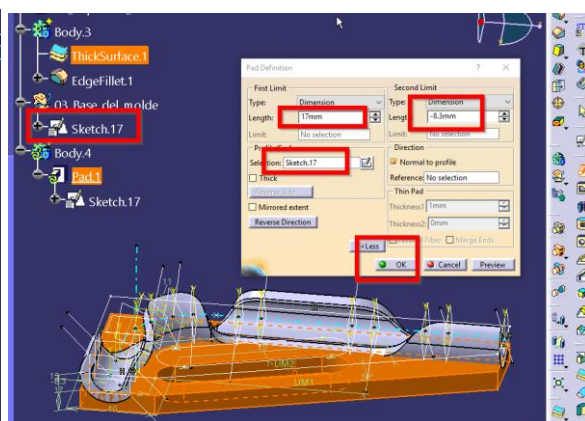


Figura: 1. 28 Asignación de espesor de base del molde.

Una vez creada se proceden a eliminar los excesos de la base, que no tienen función alguna para después darle un acabado fino al molde, esto se hace ya que si se imprime de esa forma, la base y el molde tendrán muchos filos, los cuales pueden dañar la mano del operador y la tubería que se insertara en la cavidad del mismo.

Finalmente, una vez eliminados los filos de la cavidad, base y exterior del molde se tiene el diseño final del molde de flexión diseñado en CATIA, que se puede apreciar en la figura 1.29

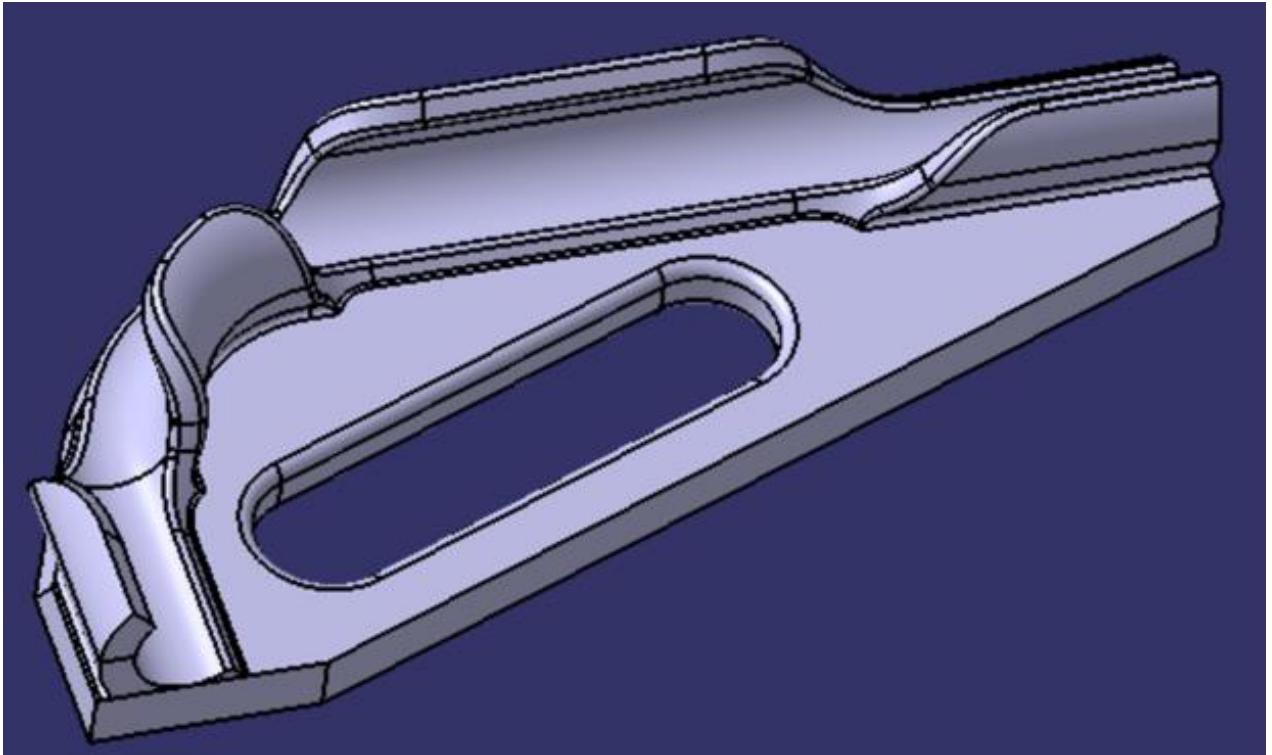


Figura: 1. 29 Diseño final del molde de flexión 3D en CATIA