

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

**GENERACIÓN DEL SISTEMA DE SELLADO PARA DISPOSITIVO DE MOLDEO  
POR PRESIÓN (PCAST)**

**JURIEL FERNANDO SILVA GAMBOA**

**UNIVERSIDAD ECCI  
FACULTAD DE INGENIERÍA  
PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA  
BOGOTÁ, D.C.  
2023**

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

**GENERACIÓN DEL SISTEMA DE SELLADO PARA DISPOSITIVO DE MOLDEO  
POR PRESIÓN (PCAST)**

**JURIEL FERNANDO SILVA GAMBOA**

**Proyecto de Investigación**

**Director: Ing. Msc. MARIO JOSÉ REMOLINA LEÓN**  
**CODIRECTOR Ing. Msc. CESAR GIOVANNI AREVALO CABRERA**

**UNIVERSIDAD ECCI**  
**FACULTAD DE INGENIERÍA**  
**PROGRAMA INGENIERÍA MECÁNICA**  
**BOGOTÁ, D.C.**  
**2023**

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

## TABLA DE CONTENIDO

<b>1. RESUMEN</b>	<b>4</b>
<b>2. IDENTIFICACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA</b>	<b>5</b>
<b>3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN</b>	<b>6</b>
3.1 OBJETIVO GENERAL	6
3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS	6
<b>4. JUSTIFICACIÓN</b>	<b>7</b>
<b>5. DELIMITACIÓN</b>	<b>8</b>
<b>6. MARCO CONCEPTUAL</b>	<b>8</b>
<b>7. MARCO TEÓRICO.</b>	<b>10</b>
<b>8. METODOLOGÍA</b>	<b>21</b>
8.1. Geometría para el sellado a partir del O-ring	21
8.3. Procedimiento de mecanizado	23
8.4. Montaje de máquina	24
8.5. Trayectorias de mecanizado	26
8.6. Parámetros de corte	35
8.7. Mecanizado	36
<b>9. PRODUCTO FINAL</b>	<b>44</b>
<b>10. CRONOGRAMA</b>	<b>45</b>
<b>11. RECURSOS</b>	<b>46</b>
<b>12. CONCLUSIONES</b>	<b>46</b>
<b>13. RECOMENDACIONES Y CONSIDERACIONES</b>	<b>47</b>
<b>14. REFERENCIAS</b>	<b>48</b>

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

## 1. RESUMEN

La población afectada por ausencia parcial o total en sus miembros inferiores, es asistida para la generación de dispositivos artificiales que les permiten recuperar un porcentaje de la movilidad perdida. Con lo que estas personas pueden recuperar tanto la confianza en sí mismos, como la habilidad para desempeñar diferentes tipos de actividades. Sin embargo, actualmente este tipo de prótesis no se ajustan de manera personalizada a las necesidades del paciente, generando incomodidad al paciente debido a que la pieza que une la prótesis y el muñón (denominada en adelante como socket) no consigue una sujeción ideal, por lo que estas personas constantemente sufren de laceraciones, irritaciones y molestias en general. (1)

Actualmente en Colombia no se tiene certeza absoluta respecto al número de personas que se encuentran en situación de discapacidad por amputación de un miembro inferior, pero se estima que este número oscila del 5 al 10% de la población en situación de discapacidad, siendo las malformaciones, accidentes de tránsito y consecuencias del conflicto armado, las principales razones de estas discapacidades. (2)

Con motivo de recuperación respecto a la autoestima de estas personas, movilidad y generación en general de las condiciones propicias para que esta parte de la población pueda recobrar en alguna medida tanto su movilidad como parte de sus vidas, la universidad ECCI en conjunto con el hospital militar central, han desarrollado un mecanismo que, mediante un vacío por presión de agua, genera un molde personalizado a través del cual el paciente puede conseguir un socket que se ajusta al muñón y por tanto disminuye la molestia en esta zona.

Para el desarrollo del dispositivo generador de sockets, es necesario realizar un sistema de sellado, con el que el mecanismo podrá conseguir mediante una película polimérica, empaques y la sujeción ideal, lograr el vacío requerido para que al momento en que el mecanismo se accione, mediante la presión hidrostática generada se tome la forma del muñón en porcentaje adecuado, para que la toma del molde con el que se obtendrá el socket sea ideal respecto a un paciente en cuestión.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

## 2. IDENTIFICACIÓN Y FORMULACIÓN DEL PROBLEMA

El hidrossocket subsiquial es un dispositivo que, mediante una película polimérica y presión hidrostática, genera un volumen con la impresión o forma del muñón que permite la concepción de sockets que pueden lograr el acople ideal entre una prótesis femoral y la pierna. La universidad ECCI actualmente se encuentra en el desarrollo de un mecanismo que permite elaborar este tipo de moldes, sin embargo, no se ha conseguido lograr el vacío ideal, la eliminación de filtraciones y fugas de agua en el mecanismo. Los problemas mencionados anteriormente, pueden originar molestias como fugas constantes de líquidos y una presión inconstante que no permitiría la generación de un molde ideal, por lo que los efectos de irritación y laceración ocasionados por los moldes que existen actualmente no desaparecerían.

Cómo puede generarse un sistema de cierre ideal para el mecanismo de hidrossocket subsiquial que permita lograr un cierre lo suficiente hermético que permita conseguir la presión ideal que genere un molde ideal con el que un paciente con amputación transfemoral pueda conseguir un socket con el cuál pueda disminuir la irritación y laceraciones que se tienen en los sockets actualmente disponibles en el mercado.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

### **3. OBJETIVOS DE LA INVESTIGACIÓN**

#### **3.1 OBJETIVO GENERAL**

Realizar la manufactura del sistema de sellado del dispositivo PCAST, teniendo en cuenta restricciones del diseño, parámetros de corte, montajes de máquina, trayectorias de mecanizado y garantizando la reproducibilidad de los resultados obtenidos al terminar el proyecto.

#### **3.2. OBJETIVOS ESPECÍFICOS**

- Elaborar las trayectorias de mecanizado en el software CAD-CAM a usar durante la manufactura de los discos requeridos para el sistema de sellado del PCAST, estableciendo el orden adecuado para las operaciones, que garantice la integridad del material, la máquina y las herramientas de corte.
- Establecer los parámetros de corte para cada una de las herramientas a usar y los montajes de máquina asociados a los mecanizados de los discos que componen el sistema de sellado del PCAST.
- Realizar la manufactura de los discos en el CNC, a partir de los códigos ISO generados previamente que garanticen las condiciones dimensionales mínimas para que este pueda ser ensamblado y puesto en funcionamiento

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

#### 4. JUSTIFICACIÓN

Durante el periodo de gestación, muchas mujeres suelen generar algunas malformaciones en el feto, que pueden ocasionar amputación o crecimiento inadecuado en los miembros inferiores del feto, también, suelen suceder un sinnúmero de accidentes que mutilan parcialmente a la persona afectada. Estos dos casos terminan en pacientes que requieren el uso de prótesis que les permitan recuperar en un porcentaje adecuado su movilidad, sin embargo, estas prótesis poseen sockets o empates de conexión entre el muñón y la pierna, que normalmente no tienen una forma ideal, por lo que traen efectos como irritación, laceración leve, movimientos involuntarios en la prótesis y molestias generales en el paciente. De manera artesanal muchos pacientes tratan de ajustar el socket de conexión entre la prótesis y el muñón, pero normalmente las molestias solo ceden en una menor cuantía.

Actualmente la universidad ECCI se encuentra adelantando un proyecto que busca la generación de hidrosocket transfemoral que buscan un mejor ajuste entre el muñón y la prótesis. La idea principal es conseguir mediante presión hidrostática y una película polimérica, un molde que se ajuste a la forma específica de cada muñón y con ello lograr generar un socket adecuado a las necesidades de cada paciente, permitiendo a estos lograr un mejor acople entre la prótesis y la pierna, que les permitan mejor movilidad, disminuir los movimientos involuntarios, reducir la irritación en esta zona y, la eliminación de las laceraciones ocasionadas por el mal empate entre el socket y la pierna.

Sin embargo, el mecanismo de hidrosocket subsiquial, actualmente no cuenta con un sistema de cierre adecuado que le permita eliminar cualquier tipo de fuga de líquido, por lo que la presión generada puede ser inestable en algunos momentos, lo que puede ocasionar que el molde generado en el mecanismo no tenga la forma deseada y por tanto no se consigue el objetivo de este.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

Este proyecto abordará la consecución de un cierre adecuado para el mecanismo, por lo que se tomarán las dimensiones del mecanismo, se establecerán los valores necesarios para la presión hidrostática que permita generar el molde ideal para el paciente y a partir de esto se procederá con los cálculos de las dimensiones adecuadas para la tapa, el número de pernos que se debe ubicar en la tapa, el tipo de empaque que permitirá eliminar las filtraciones de agua en el mecanismo y la forma adecuada para el ensamblaje de la tapa, que permita dar las condiciones adecuadas para que el conjunto trabaje de manera adecuada.

## 5. DELIMITACIÓN

Como el proyecto establece la consecución del dispositivo de hidrosoclet subsiquial completo, este proyecto abarcará únicamente la generación del cierre adecuado para el mecanismo y eliminará cualquier otro aspecto adicional o periférico a su investigación, por ello los aspectos puntuales sobre los que se trabajará este proyecto son:

- Con los diseños de la geometría de la tapa y los empaques, se elaborará un montaje de máquina ideal para el mecanizado tanto de la tapa, como del empaque, este montaje incluirá las herramientas de trabajo, sujeción adecuada para el material de trabajo, códigos de CNC (si se realiza el trabajo en el centro de mecanizado) o plan de trabajo detallado (si se realiza en fresadora convencional)
- Mecanizado de la tapa y de los empaques a partir de los planos de trabajo y los cálculos previos realizados

Según lo anterior, este proyecto se puntualizará únicamente en la parte del cierre del mecanismo como se mencionó anteriormente y no se centrará en algún otro punto del mecanismo en general.

## 6. MARCO CONCEPTUAL

✓ **Parámetros de corte:** Todas las variables que pueden intervenir en un proceso de mecanizado como velocidades de giro, avances, geometría de la herramienta de trabajo y materiales tanto a mecanizar como de las herramientas de arranque de viruta.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

✓ **CNC:** Centro de control numérico automatizado que permite automatizar el movimiento completo en los procesos de mecanizado por arranque de viruta, pueden presentarse en forma de torno o fresadora y constan de varios ejes sobre los que puede desplazarse la herramienta de corte sobre la pieza a maquinar.

✓ **Trayectorias de mecanizado:** Forma en la que la herramienta se mueve para ir dando la forma final al material en bruto a mecanizar, pueden ser cajeados, contornos, taladrados, redondeos y chaflanes entre otras.

✓ **Empack:** Material extremadamente dúctil utilizado en ingeniería como alternativa a materiales tradicionales como el aluminio o el latón por sus buenas propiedades térmicas, mecánicas y químicas.

✓ **Socket:** Es parte fundamental de la prótesis, en ella encaja el muñón o extremidad residual. Generalmente, el socket se fabrica utilizando un termoplástico moldeado a la geometría del muñón. El socket debería ofrecer comodidad mientras sujeta el muñón en las etapas de la marcha.

✓ **Sistema de suspensión transfemoral:** Es el método para fijar la prótesis al muñón y evitar que la extremidad residual se mueva, deslice o gire en el interior del socket. Cuando la extremidad residual se sitúa en el encaje, el aire sale por una válvula unidireccional que crea un vacío entre la piel y el interior del socket. Luego, cuando se introduce completamente el miembro residual en el encaje, se genera un cierre hermético (presión negativa).

✓ **Subsiquial:** El diseño implica un socket de succión elevado y la línea de encaje proximal coincide distalmente con la tuberosidad isquiática, apoyándose completamente en los músculos del muslo para soportar el peso del paciente.

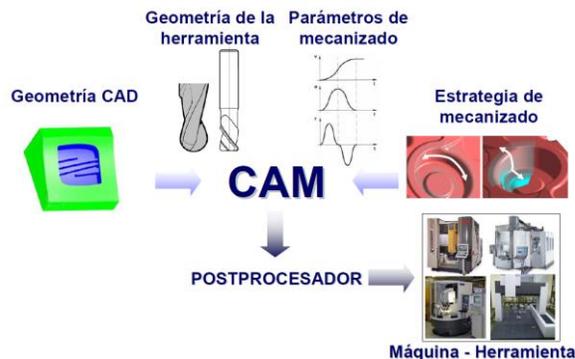
	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

✓ **Fresa plana:** Herramienta de corte con cara plana que permite generar arranque de viruta a partir de filos en su cara inferior, presenta propiedades y modo de trabajo diferentes a partir de la cantidad de filos interiores, el material de la herramienta. el diámetro de la misma. Las fresas planas pueden venir en varias presentaciones incluyendo filos en el mismo material de la fresa o mediante insertos que mejoran sus propiedades o presentan disminución de costos al desechar únicamente el inserto y no la herramienta completa.

✓ **Oring:** Anillo polimérico que permite aislar un sistema de manera eficaz, evitando filtraciones de líquido y gas, el sellado se obtiene a partir de la presión axial sobre el anillo, lo que permite el cierre de las piezas en contacto con este.

## 7. MARCO TEÓRICO.

El mecanizado de elementos mecánicos es el proceso mediante el cual se transforma la materia prima (con dimensiones y forma previamente preestablecida) en las piezas que integran los diferentes tipos de ensamblajes existentes. Dentro de las competencias de la ingeniería, una importante es la generación de todas las condiciones necesarias para maquinar materia prima y convertir esta en piezas mecánicas para todo tipo de mecanismos y estructuras.



*Nota.* Adaptado de Fabricación asistida por ordenador, Aitzol Lamikiz Mentxaka – 2011

**Figura 1.** Proceso básico de mecanizado en CNC

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

En el caso de los centros de mecanizado CNC, el proceso de diseño parte del modelo CAD elaborado en un determinado proceso de diseño, que, al transferirse a un programa CAM, genera el código de programación para el centro de mecanizado (CNC) para la posterior mecanización del material bruto y la generación de la pieza a desarrollar. En la figura 1 puede notarse un esquema básico del esquema de trabajo para la generación de piezas en un CNC. (Mentxaka – 2011)

- **Modelado CAD**

La geometría a desarrollar en un determinado estudio, se elabora en software de diseño especializados como ANSYS, Solidedge, Solidworks, AutoDesk o AutoCAD entre otros. Los softwares CAD recientemente se han convertido en una alternativa ideal a la hora no solo de generar la geometría de piezas de diseño, sino que también incluyen en su mayoría el análisis de elementos finitos para la descripción del comportamiento tanto de los elementos como de los ensamblajes, en situaciones de la vida cotidiana (variables físicas que puedan alterar la pieza o ensamblaje durante su funcionamiento).

Los principales campos de aplicación de softwares de diseño son principalmente la ingeniería civil donde se cargan los diferentes elementos para analizar su comportamiento en una estructura en fase de diseño, el diseño industrial aplicado a la generación de partes integrales de equipos o directamente la fabricación de piezas para la distribución y, el diseño electrónico con simulación de circuitos y verificación de su funcionamiento entre muchas otras aplicaciones.

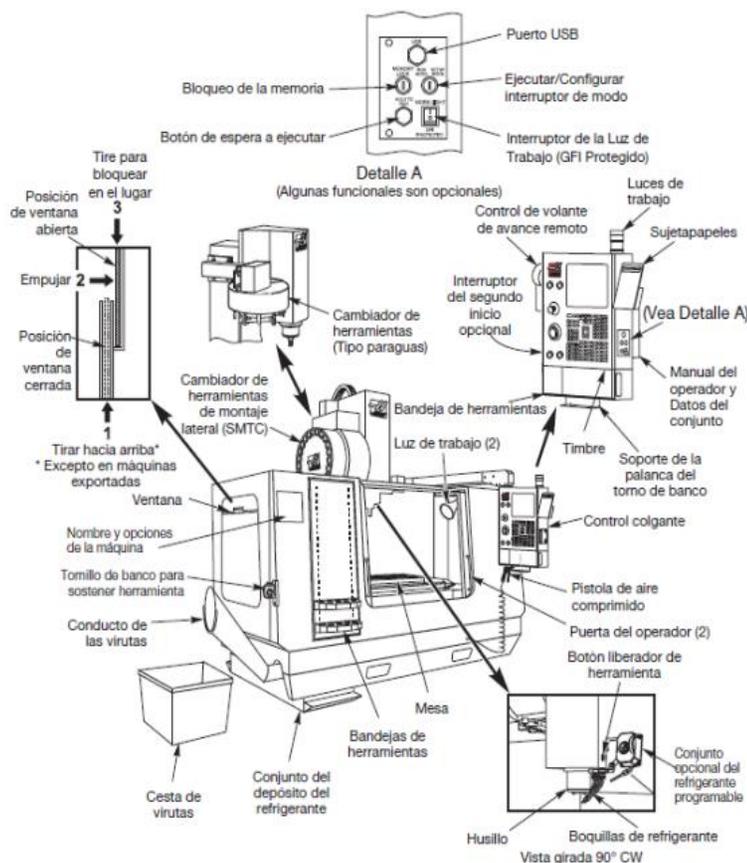
Entre los principales beneficios que encontramos en el modelamiento CAD encontramos que es posible corregir errores no detectados en la fase de diseño, ahorro de tiempo y dinero en prototipos iniciales que pueden ser modelados dentro del software, por otro lado, los productos que pasan por procesos de diseño asistido por computador, normalmente son productos de mayor calidad al haber reducido los errores mediante simulación previa. (Mendieta, 2013).

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

- **Centros de mecanizado CNC**

Los centros de mecanizado son máquinas que permiten el desarrollo de piezas con geometrías bastante complejas en un altísimo nivel de precisión, estos pueden presentarse en forma de fresadora o torno y la herramienta normalmente mecaniza de 3 a 5 ejes (incluidos los ejes rotacionales). Los CNC trabajan a partir de instrucciones secuenciales o programas llamados códigos ISO, estos contienen la información relacionada con los diferentes tipos de movimiento que se espera desarrolle la máquina, las herramientas a usar en determinado mecanizado, los parámetros de corte relacionados a un movimiento específico y la activación de mecanismos auxiliares como iluminación o líquido refrigerante entre otras. El conjunto de instrucciones entregadas a la máquina debe hacerse en un orden específico y de este depende el correcto desarrollo de un mecanizado.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>	<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>



*Nota.* Adaptado de Manual de Máquina de Control Numérico Haas VF2.

**Figura 4.** Constitución física de un centro de mecanizado vertical

Para el desarrollo del presente proyecto se dispuso de un centro de mecanizado vertical como el mostrado en la figura 4, a este tipo de máquina se le puede entregar la información mediante una memoria externa o mediante un cable de conexión y la entrega se realiza por bloques puntuales de manera continua hasta la finalización del código.

- *Códigos ISO*

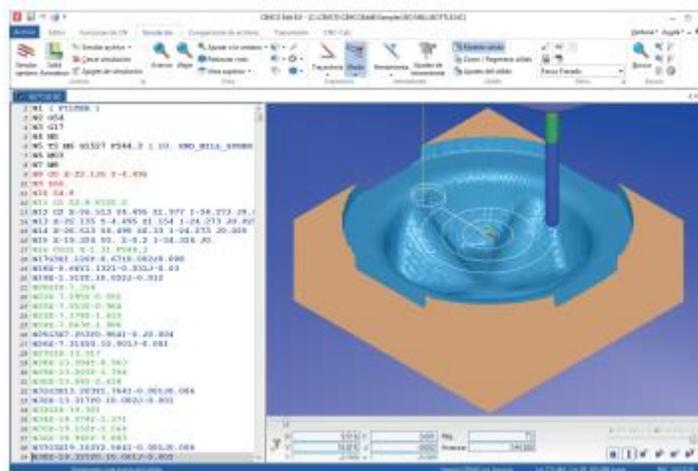
La estructura mediante la cual se realiza el lazo entre la secuencia lógica de pasos para un mecanizado, y, la ejecución de la misma en el centro de mecanizado se realiza mediante el

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

denominado código ISO, estos están constituidos por un algoritmo de programación estructurado a partir de bloques con las instrucciones del movimiento de la herramienta en los diferentes ejes de que disponga el CNC, la escogencia de la herramienta designada para cada mecanizado y cada una de las instrucciones pertinentes para que la máquina pueda maquinar el material dispuesto para un desarrollo. Los códigos ISO pueden dividirse en:

- ✓ Misceláneos (Programan funciones especiales de la máquina como sentido de giro de la herramienta, manejo de refrigerantes, iluminación, sujeciones, escogencia de herramientas y arranque o parada del husillo entre otras)
- ✓ Códigos G (asociados al desplazamiento de la herramienta o material en el espacio de trabajo) (Díaz – 2008)

Los códigos ISO pueden obtenerse de manera manual en algunos softwares como CIMCO EDIT que permiten escribir los bloques de manera manual, verificando cada instrucción en una simulación ofrecida por el mismo.



	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

En la figura 5 puede verificarse que se introducen los códigos en el extremo izquierdo (el programa establece un color según la naturaleza del código) y se genera la simulación de los mecanizados de mano derecha. (CIMCO software)

Este tipo de programas ofrecen una forma sencilla para la realización de diferentes tipos de códigos para CNC, sin embargo, presentan limitaciones a la hora de generar códigos complejos o trabajo sobre superficies no convencionales.

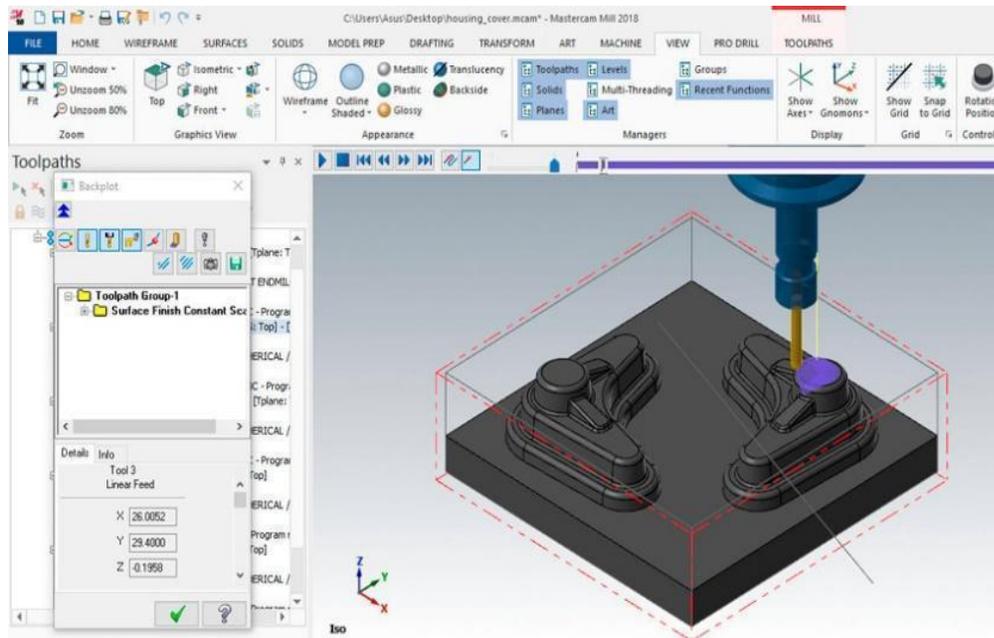
Para el desarrollo de geometrías complejas se suele usar programas más sofisticados como MASTERCAM, que permiten un trabajo más profesional en cuanto a interfaz de trabajo, funcionalidades ofrecidas y tipos de geometría a desarrollar.

- *Mastercam*

Dentro de las herramientas más utilizadas actualmente en cuanto a software de diseño asistido por computador se refiere, se encuentra Mastercam el cual es un paquete computacional que permite al diseñador de una manera bastante intuitiva y organizada, la generación de códigos ISO para comando de CNC. Dentro de las principales facilidades que ofrece Mastercam tenemos que los códigos no se escriben de manera directa, sino que se establecen las secuencias a seguir, se indican los parámetros de las herramientas a usar, se indican las dimensiones del material en bruto a trabajar y las trayectorias a mecanizar, cuando se tiene la simulación completa a desarrollar, el software se encarga de transcribir a código ISO todas las instrucciones indicadas de tal manera que son ejecutables de manera precisa por el centro de mecanizado. (Mendieta, 2013)

En la figura 6 puede notarse que la interfaz del programa presenta una interacción bastante intuitiva a partir de la cual pueden generarse las distintas operaciones para el mecanizado de una pieza o conjunto.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>



*Nota. Adaptado de diseño, simulación y programación de  
La fabricación de piezas de alta  
Precisión en un entorno Mastercam - Carrillo Sardón, Diego*

**Figura 6.** Interfaz de trabajo de Mastercam

A demás de establecer las instrucciones de trabajo, Mastercam también consta de un módulo de simulación para el mecanizado que permite verificar de una manera bastante aproximada los procesos de remoción de material que se obtendrán en el centro de mecanizado y a partir de estas simulaciones verificar aspectos tan importantes como el choque de la herramienta, los acabados finales de la pieza, los tiempos de mecanizado y si las trayectorias escogidas son las idóneas para una tarea o tareas en específico. (Díaz – 2008)

- **Parámetros de corte**

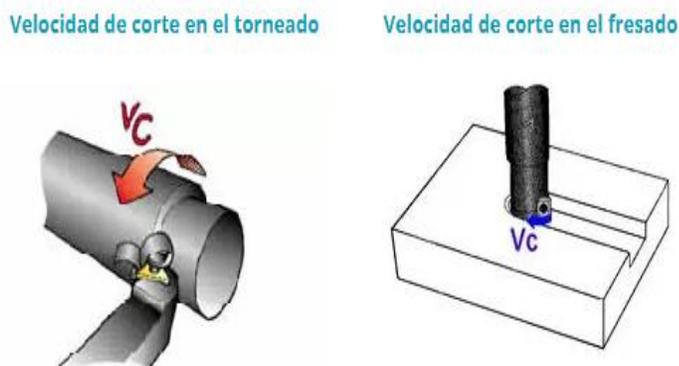
Una de las principales condiciones a tener en cuenta para el correcto mecanizado de piezas ya sea de manera individual o en serie, es la escogencia de los parámetros de mecanizado ideales que

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

permitirán obtener el resultado deseado en un tiempo adecuado, sin descuidar tanto las herramientas de trabajo y la máquina. Se entienden por parámetros de corte a todas las condiciones necesarias para garantizar un proceso de mecanizado ideal que no genere un desgaste excesivo en las herramientas y la máquina de trabajo.

- *Velocidad de corte*

Factor de maquinabilidad asociado con el material de trabajo, es la velocidad recomendada a la que puede un material ser cortado en función del tiempo, más específicamente es la velocidad relativa a la que la arista de corte de la herramienta puede avanzar sobre la superficie a mecanizar de la pieza. La velocidad de corte se mide en mm/min y es un valor que normalmente es entregado por los fabricantes de herramientas de corte a partir de la experimentación. En la figura 7 puede apreciarse este factor tanto en el torneado como en el fresado.



*Nota.* Adaptado de Ikastaroak.ulhi.net (2018) Procesos de mecanizado por arranque de viruta,  
*parámetros de mecanizado*

**Figura 7.** Velocidad de corte en fresado y torneado

- *Velocidad de giro*

Tanto en el torno como en la fresadora, el arranque de viruta se da mediante revolución, en el caso del torno, el arranque se da por el giro del material a mecanizar y por otro lado, en la fresadora

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

es la herramienta quien gira. La condición de trabajo en ambos casos es la que realza la importancia de la velocidad a la que gira el cabezal, factor conocido coloquialmente como “rpm”.

$$N = \frac{1000 \cdot V_c}{\pi \cdot D} \quad \text{Ecuación 1.}$$

Existe una estrecha relación entre la velocidad a la que puede avanzar la herramienta y la velocidad de giro del cabezal, en la ecuación 1 puede apreciarse que la constante de proporcionalidad está asociada con el perímetro de la herramienta y un factor de conversión de unidades.

- *Velocidad de avance*

La velocidad de avance es el factor que conjuga tanto la geometría de la herramienta, como la potencia de máquina y el material a mecanizar, es directamente proporcional al número de dientes que posee la herramienta de corte, a la velocidad de giro del husillo y al avance de la herramienta por cada diente como puede verse en la ecuación 2.

$$V_f = f_z \cdot z \cdot n \quad \text{Ecuación 2.}$$

Donde,  $f_z$  Es el avance por diente (dato ofrecido por el fabricante de herramientas o calculado experimentalmente),  $z$  es el número de dientes de la herramienta y  $n$  es la velocidad de giro o “rpm” de la máquina.

- *Profundidad de la pasada*

A partir del material de la herramienta y el material a mecanizar junto con su geometría puede definirse la profundidad ideal a la que se va a remover el material, este factor es fundamental ya que a pasadas poco profundas se pierde tiempo en el mecanizado y a pasadas excesivas la herramienta puede romperse o producir alteraciones en el acabado de la zona mecanizada.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

$$p = \frac{D - d}{2}$$

$$A_p = \frac{p}{n} = \frac{D - d}{2 \cdot n}$$

$$6 \cdot A_v \ll A_p \ll 10 \cdot A_v$$

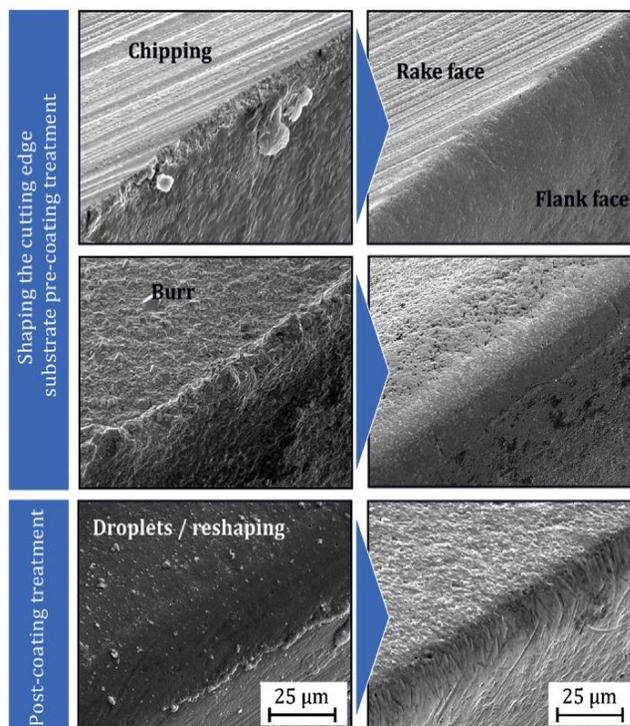
**Figura 8.** Relaciones asociadas a la profundidad de la pasada.

Donde, D y d son los diámetros antes y después de la pasada, **n** es la velocidad de giro,  $A_p$  es el avance por vuelta. Como puede observarse en la figura 8, la profundidad de cada pasada es un factor asociado al 60% al 100% del avance por vuelta. (Recuperado de procesos de mecanizado por arranque de viruta).

- *Geometría de la herramienta*

A la hora de establecer las condiciones sobre las que se llevará a cabo un mecanizado, la geometría de la herramienta cobra particular importancia, ya que de esta se desprenden directamente las velocidades a las que puede trabajar directamente la herramienta, al permitirse una mayor remoción de material si el filo de la herramienta lo permite. Por otro lado, la forma del filo de la herramienta tiene una particular importancia ya que en algunos casos es posible llevar a cabo algunos tipos de mecanizado que requieren algún tipo particular de geometría de acabado y con la destreza suficiente, es posible modificar el filo de la herramienta para llegar a este tipo de formas.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>



*Nota.* Adaptado de Cutting edge geometries. Institute of Production Engineering and Machine Tools (IFW) B. Denkena, D. Biermann (2014).

**Figura 9.** Principales efectos de un mal filo en la herramienta de corte.

Dentro de los principales efectos que pueden tenerse en una mala preparación de la herramienta, tenemos los mostrados en la figura 9, en ella pueden apreciarse efectos como rebabas producidas por una mala remoción del material, el “Chipping” o desgarro del material mecanizado por efecto de bajos filos o sobre esfuerzo a la hora de pasar el filo por el material, que no lo corta, si no lo arranca. Este y otros efectos pueden mitigarse a partir de una correcta preparación de las herramientas antes del mecanizado.

A la hora de trabajar con cargas excesivas tanto de tiempo, esfuerzos sobre el filo de la herramienta temperaturas elevadas de trabajo y la mitigación del desgaste de una herramienta, la geometría de esta puede permitir conseguir mejores resultados con pérdidas menores tanto en el desgaste de la máquina como en la vida útil de la herramienta. (Cutting Edge Geometries - 2014).

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

## 8. METODOLOGÍA

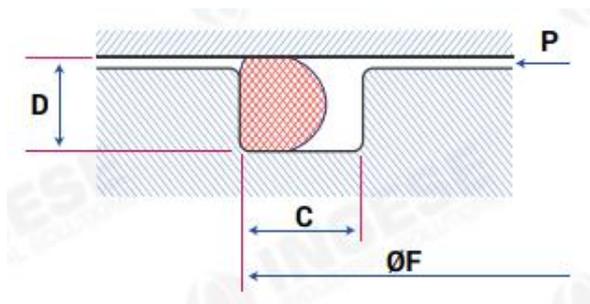
### 8.1. Geometría para el sellado a partir del O-ring

El dispositivo PCAST al estar sometido a presión de líquido durante su funcionamiento, requiere un sistema de sellado que garantice que el fluido en el interior de este no consiga salir del dispositivo, por lo que se diseñaron dos ranuras en el disco inferior de la sujeción, que tienen como tarea alojar un o-ring en cada caso, que evitarán en dos puntos la salida del líquido al exterior del dispositivo.

El o-ring es un tipo de sello bastante usado en dispositivos que deben permanecer sellados y sobre los que circula alguna clase de fluido en estado líquido o gaseoso, la acción de sellado en estos se ejerce a partir de la presión que se ejerce sobre el mismo, quien, mediante deformación, logra aislar el componente para evitar cualquier clase de fuga.

Las condiciones de funcionamiento para el o-ring dependen de la aplicación para la que este es destinado, siendo deformado entre un 12% y el 25% para aplicaciones estáticas, mientras que si el conjunto del que este hace parte, se realizan deformaciones de entre el 8% y el 20%. (Recuperado de INGESE soluciones industriales)

Para garantizar el correcto funcionamiento del o-ring en determinado sellado, la geometría de la cavidad donde este será alojado debe tener una geometría particular a partir de la forma en que se va a aplicar la carga sobre el elemento.



*Nota.* Adaptado de O-RINGS, INGESE soluciones industriales.

En la figura anterior puede apreciarse la aplicación particular de este proyecto, la cual consiste en la presión de un fluido tratando de salir del dispositivo y el o-ring evitando la salida del mismo.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

En este caso el diámetro adecuado para el o-ring a partir de las dimensiones de la cavidad se determina mediante la siguiente tabla:

Ø Sección (mm.)	D	C
1	0,7	1,6
1,5	1,1	2,2
1,6	1,2	2,3
1,78/1,8	1,3	2,5
1,9	1,5	2,5
2	1,6	2,6
2,4	1,8	3,2
2,5	1,9	3,3
2,62/2,65	2,05	3,5
2,7	2,15	3,6
3	2,4	4
3,5/3,53/3,55	2,9	4,5
3,6	3	4,6
4	3,3	5
4,5	3,7	6
5	4,1	6,5
5,3/5,34	4,5	7
5,7	4,85	7,5
6	5,1	8
6,99/7	6	9,5
8,4	7,25	11

*Nota.* Adaptado de O-RINGS, INGESE soluciones industriales.

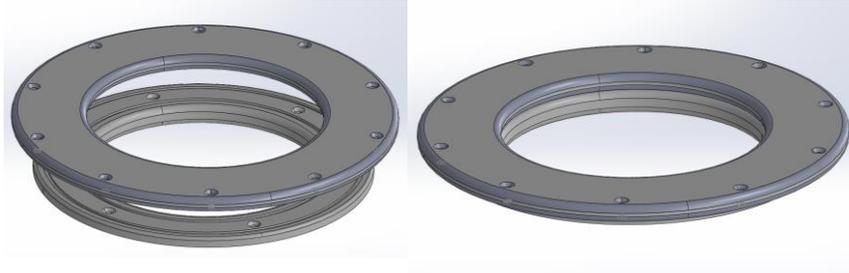
Como la cavidad usada para el proyecto tiene un ancho de 4mm, la sección del o-ring a usar es de 3mm y la deformación del elemento se encargará de generar el aislamiento del dispositivo.

Por las dimensiones del disco no fue posible conseguir directamente el anillo del o-ring con la longitud indicada, por lo que se optó por comprar el diámetro asociado y en una longitud de tres metros, garantizando material suficiente para completar el sello del sistema.

## 8.2. Ensamblaje

Para la parte del ensamblaje, se realizó la simulación del ensamblaje en Solidworks, verificando interferencias y posibles cruces en los agujeros de ambas piezas durante el ensamble.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>



**Figura 10.** Verificación del ensamblaje de las dos piezas usando Solidworks.

En la figura 10 es posible verificarse que las dos piezas generan un ensamblaje perfecto desde el interior del disco, sin embargo, a la hora de hacer el montaje, se debe realizar primero el ajuste de los tornillos del disco inferior para proceder con los del disco exterior. Una vez realizada la verificación y el correspondiente ensamble de las dos piezas, se procedió a aplicar un análisis estático a las dos piezas, verificando la carga recibida por cada uno de los tornillos, esfuerzos soportados en el avellanado, esfuerzos de tensión sufridos por los tornillos, correcta distribución de la carga en los mismos y carga distribuida sobre las caras en contacto.

### 8.3. Procedimiento de mecanizado

Se procede a realizar el mecanizado de las diferentes partes que integran esta zona, teniendo como restricciones que deben usarse tornillos avellanados, la ubicación de o ring en los dos discos de empack para evitar filtraciones de agua en las zonas de la membrana y en el anillo de acero inoxidable. Con la geometría de las piezas que integran el ensamble se procede a realizar los códigos ISO para el centro de mecanizado, en este punto se establecen las condiciones para el montaje, las trayectorias de mecanizado, las herramientas de trabajo y los parámetros de corte ideales para mecanizar cada pieza.

Una vez establecidas las condiciones de mecanizado, es importante el análisis independiente de cada una de estas, para que en conjunto permitan lograr de manera eficiente y sin errores las diferentes piezas.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

A continuación, se exponen las principales consideraciones que se tuvieron en cuenta antes, durante y después de mecanizar cada una de las dos piezas trabajadas en el centro de mecanizado.

#### **8.4. Montaje de máquina**

El montaje de la pieza dentro del CNC es una parte vital de las estrategias llevadas a cabo a la hora de mecanizar, ya que de este depende la cantidad de montajes que puedan necesitarse para el mecanizado completo, dependiendo de la complejidad de la pieza y de si el centro de la cantidad de ejes que ofrece la máquina (en el caso del CNC existente, se cuentan con 3 ejes).

En el caso de la primera pieza a mecanizar, se contó con una lámina de empack de 330x330x20mm, material que se hizo sujeción en sus cuatro extremos mediante bridas, realizando un croquis básico del contorno para verificar los puntos de anclaje. En cada uno de los puntos de anclaje se corrió el programa de mecanizado del contorno en vacío, para verificar que en ningún caso la herramienta pasará cerca de la sujeción y con ello evitar el choque de la máquina o cualquier clase de daño durante los procesos.

Una vez garantizada la sujeción de la pieza se estableció el cero de máquina, se hizo la compensación manual de las longitudes de cada una de las herramientas de trabajo a usar, y se hizo una pasada con el comparador de carátulas sobre la superficie de la zona a mecanizar, garantizando 10 décimas de milímetro en la altura de las diferentes zonas de la pieza, por lo que se hicieron algunas pasadas de desbaste para rectificar la pieza. Las pasadas de desbaste se hicieron con una fresa de 16 mm de diámetro, con dos insertos rectangulares de una aleación AlTiN (nitruro de titanio aluminio), herramienta que permitió la rápida rectificación de manera manual de la lámina para la consecución de una micra de diferencia entre los extremos de la lámina de empack usada para la primera pieza.

Respecto a la segunda pieza no fue necesaria esta rectificación, ya que la diferencia entre los extremos no superó en ninguna dirección las 10 micras.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>



**Figura 17.** Sujeción de la pieza y reglaje de la pieza por medio del comparador de carátula.

A partir del primer proceso de mecanizado se estableció el procedimiento de sujeción que se usaría en el mecanizado de la segunda pieza, cada una de las precauciones y verificaciones pertinentes del montaje anterior. En este caso se trató de una lámina de empack de 380x380x15mm. Cabe resaltar que el material en bruto se encontraba sobredimensionado respecto al ancho y al alto en ambos cortes, por lo que se pudo garantizar las dimensiones finales de ambas piezas.

Una vez realizados los mecanizados de la primera cara de ambas piezas, se hizo un cambio de montaje, usando mordazas interiores para reducir el riesgo de chocar la herramienta con las bridas durante el corte de la circunferencia exterior de los discos, del mismo modo, se establecieron las trayectorias de mecanizado para garantizar la remoción del material interior al disco y con esto permitir la sujeción interior de la pieza por medio del montaje de una mordaza de centros

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>



**Figura 18.** Sujeción para realizar los mecanizados de la segunda cara de ambas piezas.

### 8.5. Trayectorias de mecanizado

La geometría de ambas piezas a mecanizar, implican trayectorias de contornos, redondeados, avellanados y taladrados mayoritariamente, por lo que las herramientas destinadas para el proceso fueron:

Herramienta	Diámetro
Fresa plana	3mm
Fresa plana	10mm
Fresa plana	16mm
Broca de centros	3mm
Broca	7mm

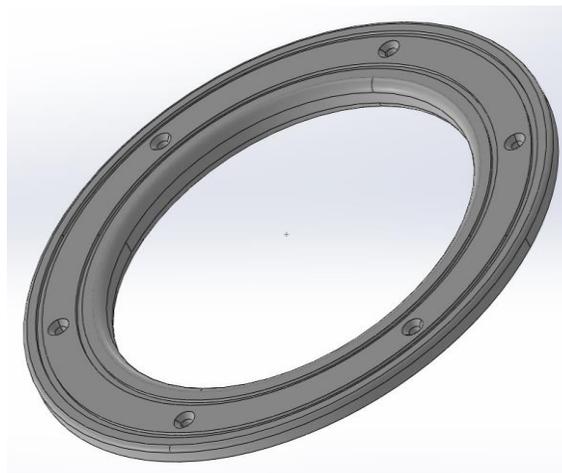
	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

Fresa esférica	4mm
----------------	-----

**Tabla 1.** Herramientas usadas durante los procesos de mecanizado.

### *Pieza 1*

Las trayectorias de mecanizado llevadas a cabo en la cara superior de la primera pieza trabajada fueron de taladrado, para la generación de los 8 agujeros para la sujeción, ranurado para la generación de las cavidades sobre las cuales se ubicarán los o ring de sellado, contorno en dos dimensiones para el corte del material sobrante del centro de la pieza, contorno en tres dimensiones para generar el avellanado del ajuste de los tornillos y el redondeo del contorno del disco



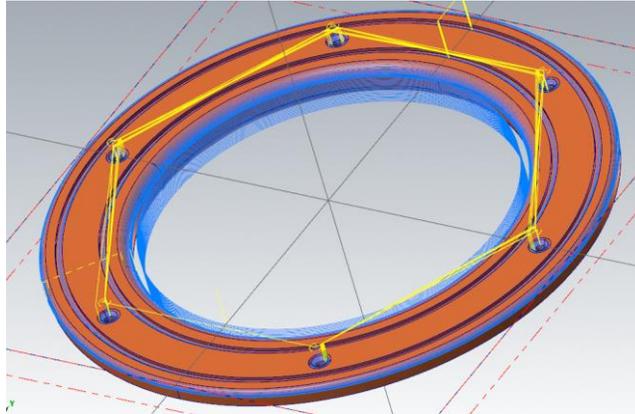
**Figura 19.** Modelado CAD de la pieza 1 en su cara 1.

A partir de la simulación del mecanizado generada por Mastercam, se determinó el orden adecuado para las diferentes trayectorias de mecanizado y se organizaron las operaciones en ambas caras de la pieza a mecanizar así:

- *Pieza 1 - cara 1*
  1. Taladrados
  2. Ranurado para las cavidades de los o ring
  3. Contornos para el avellanado

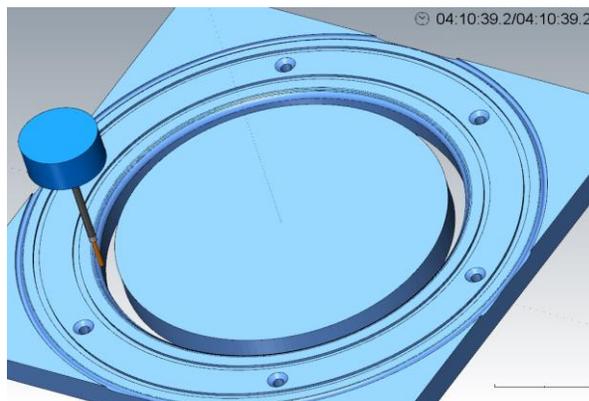
	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

4. Corte interior
5. Redondeo interior del disco
6. Redondeo exterior del disco



**Figura 20.** Operaciones generadas en Mastercam para la pieza 1 en su primera cara a mecanizar.

Como puede apreciarse en la figura 20, se ejecutaron sobre la pieza uno en su cara superior, las operaciones mencionadas anteriormente y a partir de la simulación del mecanizado, se generó el código ISO con las operaciones y el orden estricto mencionado anteriormente.

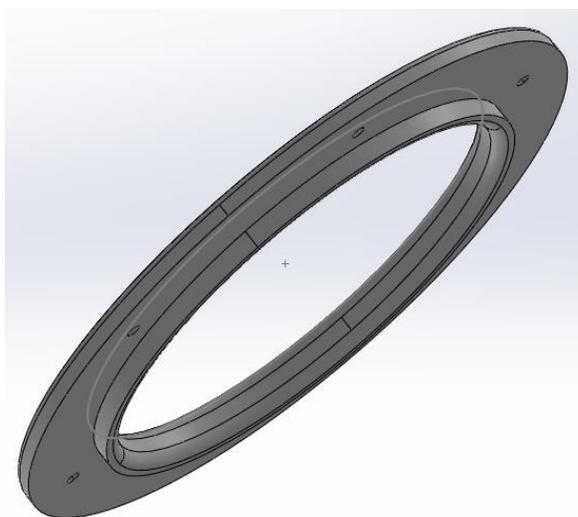


**Figura 21.** Simulación de los mecanizados en Mastercam

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

En la figura anterior pueden verificarse las operaciones ejecutadas al material en bruto y el tiempo de mecanizado que se esperaba para estas operaciones. Respecto al tiempo de mecanizado, al contarse con un material con alta ductilidad, se elevó la velocidad de avance para reducir este tiempo hasta que se consiguió generar la pieza en un tiempo total de tres horas y cincuenta y seis minutos (únicamente se tomó el tiempo de mecanizado, por lo que los tiempos de montaje de pieza y herramientas, además del censado de herramientas no se tuvieron en cuenta).

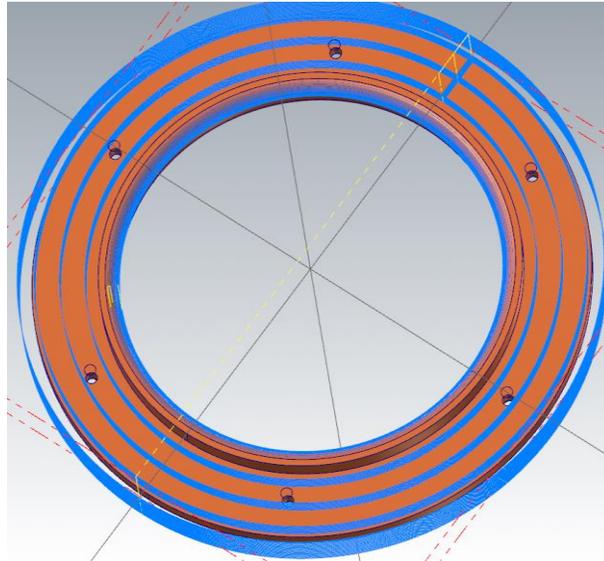
Respecto a la segunda cara del disco de la pieza 1, hubo necesidad de adicionar una fresa plana de 16 mm debido a una operación de planeado sobre esta y junto con esta operación, se realizó el redondeo interior del disco y el corte exterior para la generación final del disco.



**Figura 22.** Modelado CAD de la pieza 1 en su cara 2

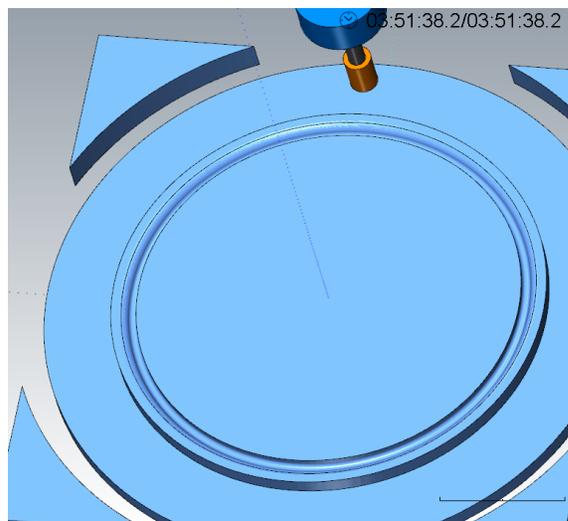
- *Pieza 1 - cara 2*
- 1. Planeado exterior
- 2. Redondeo interior
- 3. Corte exterior

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>



**Figura 23.** Operaciones generadas en Mastercam para la primera pieza en su cara inferior.

Respecto a la cara inferior de la pieza 1, puede verse en la figura 24 que para el mecanizado del planeado a realizar requería una pieza de mayor diámetro efectivo de corte, por lo que se usó la fresa plana de 16 mm de diámetro y con ello se redujeron las pasadas a tan solo 3, permitiendo también una mayor penetración de corte.



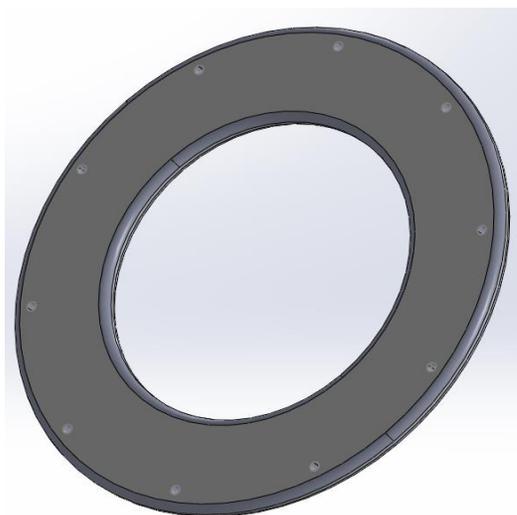
**Figura 25.** Simulación de los mecanizados a la cara inferior de la pieza 1.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

Al haberse realizado los agujeros de la pieza en la cara superior de la misma, del lado inferior las únicas operaciones que se ejecutaron fueron el planeado para conseguir el escalón en el disco, el redondeo interior y el corte del contorno exterior. Como puede verificarse en la figura 25, era necesario el cambio de montaje, al perderse la sujeción de la pieza durante la última operación, por esta razón se sujetó la pieza desde el centro para evitar complicaciones durante el mecanizado.

### ***Pieza 2***

La segunda pieza a mecanizar es un disco de 375 mm de diámetro con 10 perforaciones para tornillos avellanados de 6 mm, para ello se usó un corte rectangular de empack de 380x380x15mm, por lo que se contó con material suficientemente sobredimensionado para las dimensiones finales de la pieza.



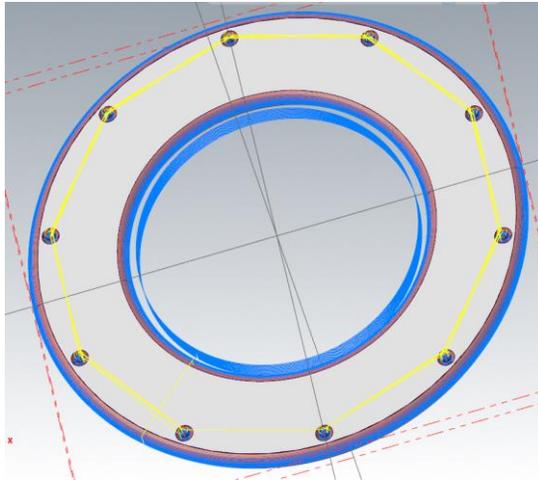
**Figura 26.** Segunda pieza a mecanizar.

En el caso de la segunda pieza, el disco tiene la misma forma en ambas caras, únicamente cambiando por el avellanado en la cara superior. Al tener operaciones mayoritariamente iguales para ambos discos, se procedió con las mismas herramientas que en la primera pieza, añadiendo

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

una fresa plana de 16 mm (también usada para el maquinado de la primera pieza en su cara inferior) que permitió una mayor tasa de remoción de material en la operación de planeado en la parte inferior de esta pieza, según lo anterior, las operaciones a realizar en la segunda pieza fueron:

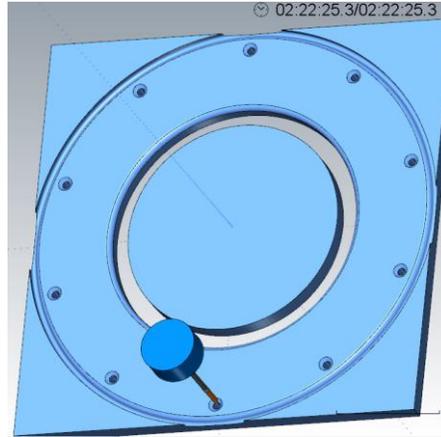
- *Pieza 2 - cara 1*
- 4. Taladrados
- 5. Corte contorno interior
- 6. Redondeo exterior e interior
- 7. Avellanado de agujeros



**Figura 27.** Simulación de las operaciones a efectuar en la segunda pieza en Mastercam.

Como puede observarse en la figura 27, respecto a la segunda pieza, se realizaron la mayor parte de los mecanizados en la cara superior de esta, garantizando coincidencia de los agujeros con los avellanados y retirando el material interior para poder realizar la sujeción interior de la pieza una vez mecanizada esta cara.

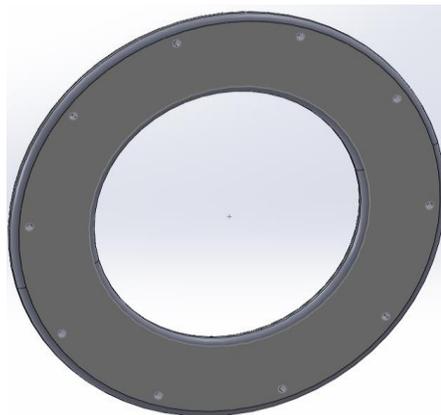
	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>



**Figura 28.** Simulación de los mecanizados en la cara superior de la segunda pieza.

A partir de las operaciones generadas para la segunda pieza, puede observarse la ejecución de las mismas en la simulación de Mastercam, con un tiempo de mecanizado de dos horas y veintidós minutos, tiempo que varió levemente durante los mecanizados, al elevar en algunos puntos la velocidad del mecanizado con constante supervisión.

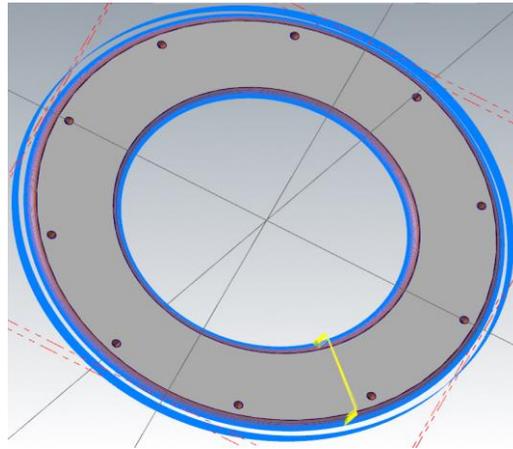
Respecto a la segunda cara de la pieza, la forma es igual salvo que en este caso no se tienen avellanados en los agujeros, con lo que únicamente se hicieron los redondeos y el corte exterior del disco:



**Figura 29.** Modelado CAD de la pieza 2 en su cara 1

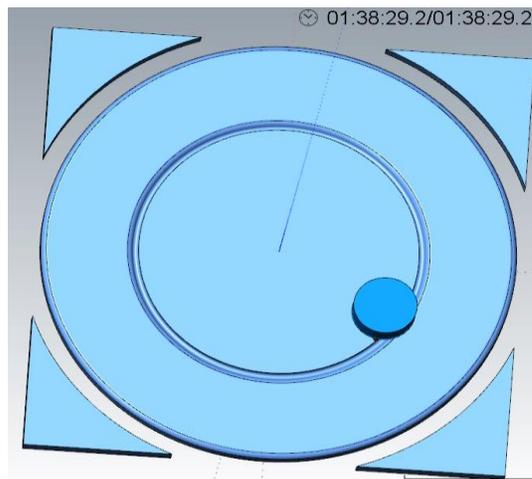
	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

- *Pieza 2 - cara 2*
- 8. Redondeo interior y exterior
- 9. Corte contorno exterior del disco



**Figura 30.** Simulación de operaciones de la pieza 2 en su cara 2

Respecto a la cara inferior de la pieza 2, los únicos mecanizados a realizar fueron los redondeos del disco y el corte del contorno exterior, en la figura 30 pueden apreciarse las operaciones generadas en Mastercam para estos mecanizados.



**Figura 31.** Simulación del mecanizado en Mastercam para la cara inferior de la segunda pieza.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

Como puede notarse en la figura 31, el tiempo de mecanizado ocupado por la segunda pieza fue de cerca de 1.6h, con lo que el mecanizado se realizó de una manera relativamente rápida respecto a las piezas anteriores.

## 8.6. Parámetros de corte

A partir de las herramientas de mecanizado y las restricciones de máquina, se generaron los parámetros de corte ideales para el trabajo en la máquina. Inicialmente se estableció que la velocidad máxima del husillo en el CNC existente para el trabajo es de 8000 rpm, por lo que se ubicó un factor del 25% sobre todos los valores calculados en máquina, respecto a la velocidad del husillo. En cuanto al valor usado para generar los cálculos, por tabla para el material a mecanizar (empack) se estableció una velocidad de corte de 195 mm/min y un avance por diente de 0.014mm/diente, en ambos casos se tomaron velocidades de desbaste para los cálculos y se obtuvieron los siguientes parámetros:

Herramienta	Número de dientes	Parámetro							
		Velocidad de corte (m/min)		Avance por diente (mm/diente)		Velocidad del husillo (rpm)		Velocidad de avance (mm/min)	
		Teórico	Usado	Teórico	Usado	Teórico	Usado	Teórico	Usado
Broca de 3mm	1	195	29,21	0,014	0,014	20690,1	3099,3	289,7	43,4
Broca de 7 mm	1	195	48,75	0,014	0,014	8867,2	2216,8	124,1	31
Fresa de 10mm	4	195	48,75	0,014	0,014	6207	1551,8	347,6	86,9
Fresa de 4 mm	4	195	48,75	0,014	0,014	15517,6	3879,4	869	217,2
Fresa de 16 mm	4	195	81,3	0,08	0,08	3879,4	1617,4	1241,4	517,6
Fresa esférica de 5 mm	4	195	81,3	0,014	0,014	12414,1	5175,7	695,2	289,8

**Tabla 2.** Valores utilizados para los parámetros de corte en cada una de las herramientas.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

Respecto a los valores calculados, se priorizó el avance por diente durante todos los mecanizados y se recalcularon los valores para la velocidad de corte, la velocidad del husillo y la velocidad de avance a partir del factor de seguridad asociado a la restricción de máquina existente.

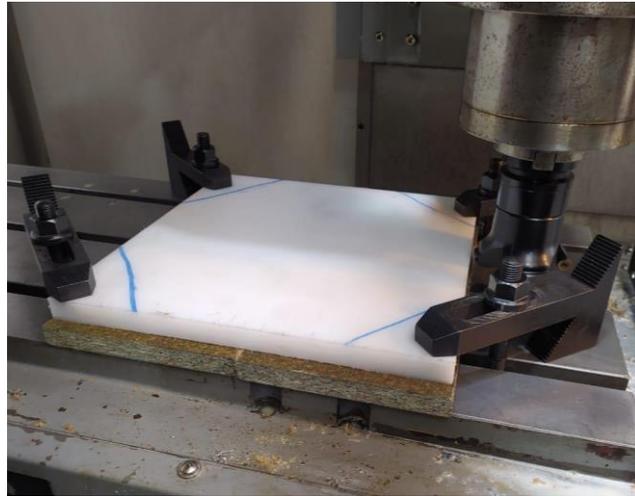
Como se mencionó anteriormente, se usó un factor de 0.25 para ajustar los valores de las velocidades del husillo respecto a la potencia de máquina existente y evitar daños por fricción o temperatura en el material de trabajo, por un lado y evitar trabajar a revoluciones cercanas a las máximas ofrecidas por la máquina, por otro lado.

### **8.7. Mecanizado**

Con la definición de los parámetros de corte y las condiciones previas al mecanizado, se procedió a iniciar el código con las operaciones para la pieza 1 en su cara superior (en la parte superior pueden verificarse las operaciones a realizar). Estas operaciones fueron organizadas de tal manera que primero se generaron los desbastes mayores y luego los redondeos, por otro lado, se tuvo en cuenta que las bridas debían mantener la sujeción de la pieza hasta el último mecanizado, también se tuvo la precaución de dejar marcas en algunos puntos de la pieza para que, al momento de girar y trabajar los mecanizados inferiores, se lograra una ubicación lo más exacta posible y evitar diferencia entre los mecanizados de las dos caras.

Durante el mecanizado en todo momento se hizo revisión del paso de la herramienta, para garantizar que no hubiera posibilidad de choque y se hicieron reducciones en el porcentaje de la velocidad de avance, para garantizar tanto la integridad de la herramienta, como de la sujeción usada (particularmente en la sujeción que se hizo interna al disco), evitando que esta se perdiera. Como puede verificarse en la figura 32, se realizaron algunas marcas sobre el material con el fin de garantizar que el paso de la herramienta no llegase a chocar con las bridas de sujeción, posterior a la ubicación de estas marcas, se corrió el contorno de la figura para garantizar que no hubiese choque alguno.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>



**Figura 32.** Demarcación de algunos extremos asociados con el contorno del disco.

Luego de realizada la pasada de verificación (ver figura 33) realizada respecto a la operación del redondeo exterior y con finalidad de verificar un posible choque en la máquina, se procedió a ejecutar el resto del código en el CNC.

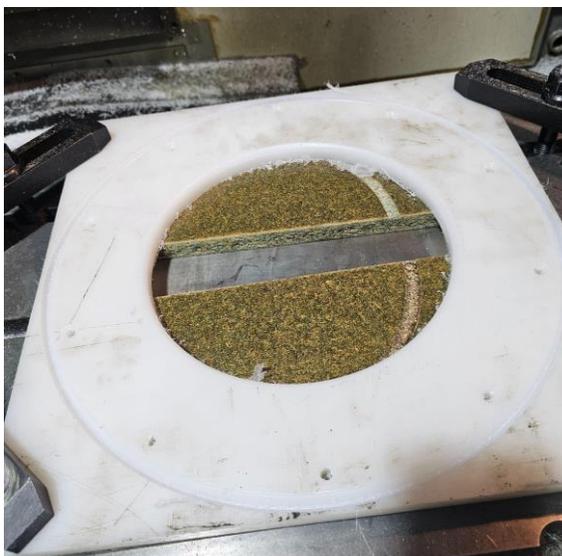


**Figura 33.** Ejecución del código referente al contorno del disco.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

- *Mecanizado del disco 1*

A partir de la verificación realizada respecto al contorno del disco, se inició el proceso de mecanizado del disco 1 se ejecutó sin problema el código asociado a las operaciones para maquinar esta pieza.



**Figura 34.** Terminación del mecanizado de la primera cara del disco 1

Con la primera cara del disco 1 mecanizada, se procedió a realizar los mecanizados respectivos a la segunda cara del mismo disco, en este caso se tomaron las mismas precauciones tomadas en la primera cara, sin embargo, en este caso por el montaje (ver figura 18) también se tomó especial cuidado respecto a la vibración producida por el efecto de la herramienta sobre el material, para este caso se realizaron verificaciones manuales constantes que permitieron analizar en qué puntos era o no pertinente aumentar la velocidad de avance y por otro lado, en qué momentos reducirla.

Respecto a las trayectorias realizadas en la segunda cara, se inició por el redondeo interior con el fin de garantizar que la herramienta fuera a chocar con las mordazas interiores que dieron la sujeción (ver figura 20), para el mismo efecto se reemplazó el porta herramienta por uno de mayor longitud para disminuir el área circundante al mecanizado y dejar esta zona lo más libre posible.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>



**Figura 35.** Redondeo del contorno interior con una fresa esférica.

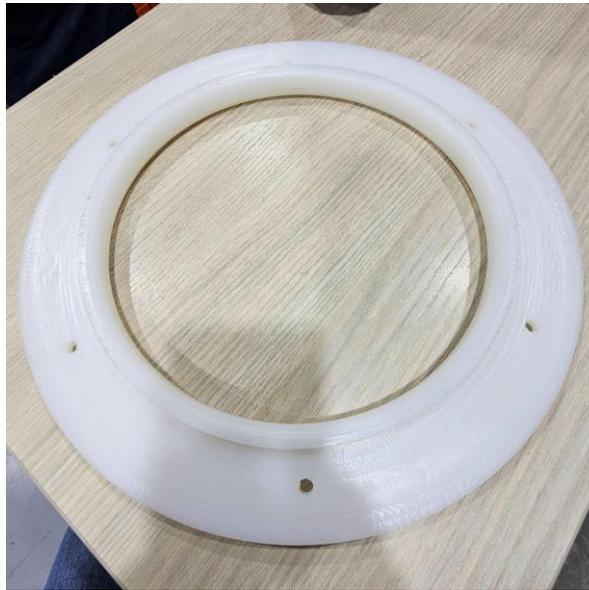
Posterior al redondeo del contorno interior, se procedió a realizar el corte del contorno exterior, en este caso se usó una herramienta de diámetro 10 para reducir el tiempo de mecanizado, luego de esto se retiraron los sobrantes de las esquinas de la pieza y se procedió a efectuar el último mecanizado que consistió en el planeado que otorga la forma completa a la pieza.



**Figura 35.** Planeado del disco en su cara inferior.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

En la figura 35 puede apreciarse que para el planeado se usó nuevamente la fresa de 10mm por lo que el mecanizado completo de esta cara del disco se realizó en alrededor de cuatro horas incluidas las demoras relacionadas con paradas de máquina, aumentos de velocidad y reducciones de la misma.



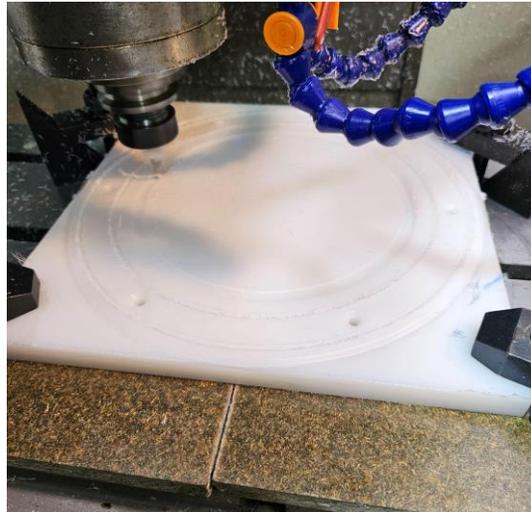
**Figura 36.** Forma final del disco 1

Una vez terminado el mecanizado del disco 1 (figura 36), se procedió a verificar si las dimensiones finales de la pieza estaban dentro de las tolerancias permitidas para el montaje del sistema de sellado y se verificó que las dimensiones finales distaban en menos de 10 mm del diseño original, por lo que se estableció que el mecanizado realizado fue ideal para el montaje.

- *Disco 2*

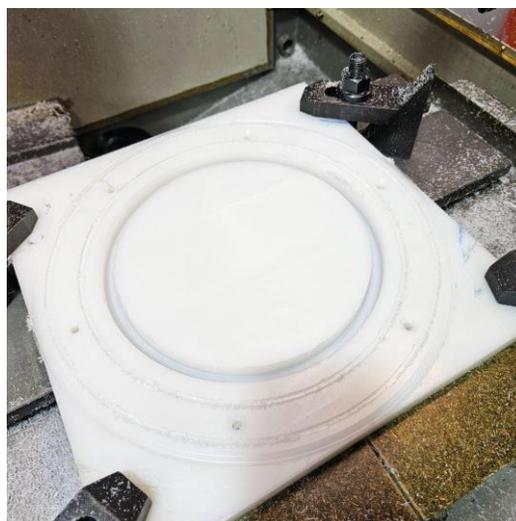
En el caso del disco 2, la remoción de material fue menor en profundidad y forma, sin embargo, las dimensiones del disco eran mayores, por lo que los tiempos de mecanizado fueron similares.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>



**Figura 37.** Mecanizado del segundo disco

Respecto al segundo disco, se procedió con el orden mencionado anteriormente, realizando verificación constante de la cercanía de la herramienta con la sujeción de la pieza y haciendo especial énfasis en la verificación de la concentricidad de las operaciones para evitar que el conjunto tuviera alguna clase de desfase respecto al centro. En la figura 37 puede evidenciarse que en este caso se realizaron un par de ranuras para la ubicación del o-ring, que evitará filtraciones y ayudará a sostener la membrana de nitrilo del PCAST.



**Figura 38.** Forma final del disco dos en su primera cara

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

Como puede evidenciarse en la figura 38, la cara 1 del disco incluyó la remoción del material correspondiente al centro del disco, esto para garantizar la concentricidad del montaje en su segunda cara a partir de las marcas dejadas en las láminas de madera usadas para elevar el material.



**Figura 39.** Mecanizados de la segunda cara del disco 2

A partir de la geometría obtenida en la cara 1 del disco, se procedió a realizar los mecanizados de la segunda cara, para esto se removió el material sobrante del interior y se hizo el montaje mostrado en la figura 39, en este caso las operaciones eran básicamente la eliminación del material de la periferia del disco y los redondeos tanto interiores como exteriores, por lo que el tiempo de estos mecanizados fue el menor de los cuatro casos.



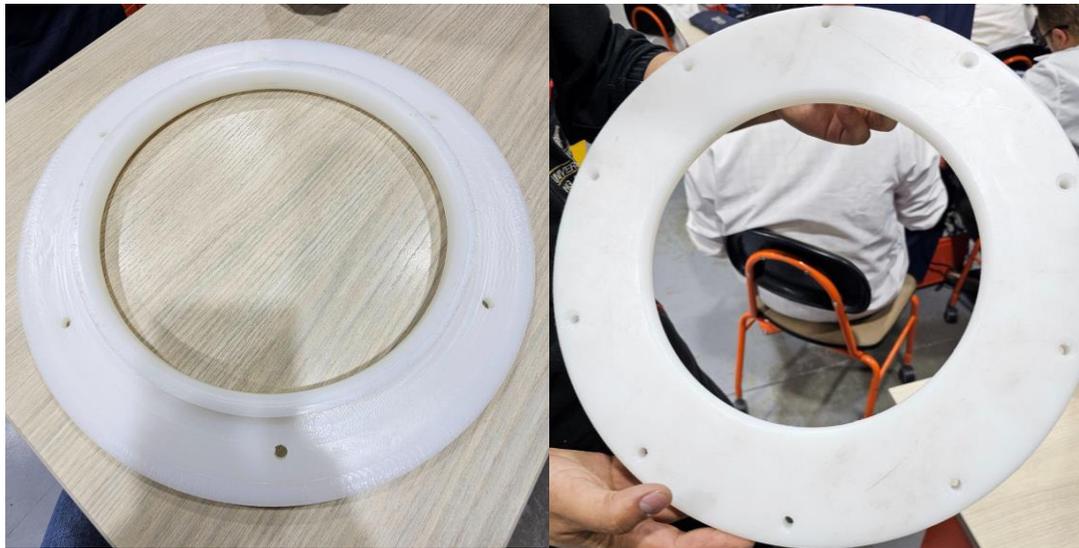
**Figura 40.** Forma final del disco 2

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

Tras la culminación de los mecanizados asociados al segundo disco, nuevamente se hizo verificación de las dimensiones finales y se estableció que estaba dentro de la tolerancia establecida por los planos originales.

## 9. PRODUCTO FINAL

Una vez culminado el proceso de manufactura de los componentes de sellado del PCAST se obtuvo un resultado con acabado superficial considerablemente bueno, unos tiempos de mecanizado razonables para las dimensiones de las piezas finales y una ejecución que no presentó incidente de ningún tipo en todo el tiempo de proceso del proyecto.



**Figura 41.** Geometría final de los discos mecanizado en el CNC

En la figura 41 puede verificarse que el acabado superficial es mejor de lo realmente requerido para el ensamblaje. Luego de realizar medidas a las diferentes zonas de las piezas, se garantiza que dimensionalmente está acorde a lo solicitado para el ensamblaje del PCAST, por lo que se concluye que la ejecución del proyecto fue la ideal.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

## 10. CRONOGRAMA

La presente propuesta de investigación abarca un periodo de 5 meses para su ejecución que comienzan a partir del 01 de julio de 2023, fecha posterior a la publicación del proyecto general a partir del que se genera este documento. Las propuestas de las actividades a desarrollar se muestran en la siguiente tabla:

ACTIVIDAD	DENOMINACIÓN	MES				
		1	2	3	4	5
Verificación del diseño existente, toma de dimensiones y análisis general del mismo	A1					
Realización de cálculos del diseño y simulación a partir de elementos finitos	A2					
Mecanización de los diferentes componentes que integran el sellado del dispositivo	A3					
Ensamble, calibración y puesta a punto del dispositivo PCAST	A4					
Manufactura de las piezas mecánicas y de la membrana de látex propuestas para la modificación del sistema de sellado del actual dispositivo PCAST.	A5					

**Tabla 3.** Cronograma general para el desarrollo del proyecto

Según lo mostrado en el cronograma anterior, para la correcta ejecución del proyecto, las piezas del sellado deben presentarse hacia la finalización del mes 4 en el cronograma general del proyecto, por lo que, tras el mecanizado de las piezas, se contó con un gap de poco más de una semana entre lo esperado y lo ejecutado.

A partir de la fecha de entrega de las piezas del sellado para el PCAST, puede esperarse que el cronograma general pueda ser ejecutado a cabalidad en los tiempos establecidos, al ser los discos para el sellado las últimas piezas requeridas para el ensamblaje general.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

## 11. RECURSOS

Para la ejecución del proyecto se dispuso de un rubro de construcción para el proceso de sellado, este fue usado para la compra de los diferentes materiales utilizados para este fin. Dentro de los principales gastos asociados con el programa tenemos:

Cantidad	Descripción	Valor unitario	Total
1	LÁMINA EMPACK 330mmx330mm 20mm	\$ 111.050	\$ 111.050
1	LÁMINA EMPACK 380mmx380mm 15mm	\$ 110.000	\$ 110.000
3	ORING DIA 4MM X METRO (3800)	\$ 3.800	\$ 11.400
1	LÁMINA DE NITRILO 0,5X1,2 1/16	\$ 160.000	\$ 160.000
1	ARO INOX 304N1 4,5mm	\$ 178.580	\$ 178.580
12	TORNILLOS AVELLANADOS M6. LONGITUD 50 mm con tuerca y arandela. INOX	\$ 5.000	\$ 60.000
8	TORNILLOS AVELLANADOS M6. LONGITUD 25 mm con tuerca y arandela. INOX	\$ 2.500	\$ 20.000
		Total	\$ 651.030

**Tabla 4.** Costos generales para la elaboración del sistema de sellado del PCAST

## 12. CONCLUSIONES

- Es importante resaltar que los software especializados para las tareas de mecanizado como Mastercam, ofrecen a quienes intervienen durante el proceso de mecanizado, algunas herramientas certeras para predecir aspectos tan importantes como el montaje de máquina. Como pudo notarse en este proyecto, gracias a la simulación de Mastercam, pudo establecerse un orden lógico para las operaciones a realizar, por un lado, y por el otro, se verificó que el montaje para el corte del contorno exterior era peligroso, por lo que fue pertinente realizar un cambio de montaje para esta operación.

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

- La precaución es un factor vital para garantizar la correcta ejecución de un proceso de mecanizado. Durante todo el proceso ejecutado, se pudo evidenciar en todo momento que, la precaución a la hora de tomar alguna decisión respecto al montaje, a las herramientas o parámetros de corte, permitió garantizar la integridad tanto de las herramientas, como de la máquina y el material.
- Durante el proceso de mecanizado se evidenció que algunas herramientas de trabajo como la fresa de redondeo, son intercambiables en cierta medida. Durante los redondeos de ambos discos, tuvo que ser reemplazado por una fresa esférica que, si bien no tuvo el mismo resultado en el acabado final de las piezas, si presentó una solución a la ausencia de la herramienta idónea para el trabajo.

### **13. RECOMENDACIONES Y CONSIDERACIONES**

Tras la realización de los procesos de mecanizado de los discos referentes al sistema de sellado para el dispositivo PCAST, se garantizó la reproducibilidad completa del proceso, esto a partir de la entrega de:

- Parámetros de corte para el mecanizado
- Paso a paso para los procesos de mecanizado
- Montaje de máquina para el desarrollo de las piezas
- Códigos ISO para la máquina en cada uno de los mecanizados de las piezas
- Consideraciones importantes a tener antes, durante y después del proceso de mecanizado

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

#### 14. REFERENCIAS

Aguilar M (2021) *configuración de parámetros, forma de uso y utilidad de las máquinas fresadoras CNC en la fabricación de aspas y moldes en madera, en el taller de máquinas y herramientas de la UPTC seccional Duitama*: Universidad Pedagógica y Tecnológica de Colombia, repositorio UPTC <https://repositorio.uptc.edu.co/handle/001/8827>

AICMA. Estadísticas de Asistencia Integral a las Víctimas de MAP y MUSE, recuperado de: <http://www.accioncontraminas.gov.co/Estadisticas/estadisticas-de-victimas>

Bonilla A. “*Guía básica para la aplicación de las TICS en PYMES*”. Zamudio 2003

Brunet P. “*Diseño gráfico y modelado geométrico*”. Marcombo 1986

Cárdenas Oliveros, JA, Cárdenas Caña, JH, & Teixeira Da Silva, JM (2017). Tornillo interpedicular y prisionero. Análisis por el Método de Elementos Finitos. *Ingeniería Mecánica*, 20 (3), 129-135.

B. Denkena, D. Biermann (2014). Cutting edge geometries. Institute of Production Engineering and Machine Tools (IFW), Leibniz Universität Hannover, 1, 2.

Castillo F (2008) *programación automática de máquinas CNC*: facultad de estudios superiores Cuautitlán,  
[http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina\\_ingenieria/mecanica/mat/mat\\_mec/m4/master\\_cam.pdf](http://olimpia.cuautitlan2.unam.mx/pagina_ingenieria/mecanica/mat/mat_mec/m4/master_cam.pdf)

Elementos finitos, recuperado de: <https://latinoamerica.autodesk.com/solutions/finite-element-analysis>

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

Recuperado de INGESE Industrial solutions, O-RINGS:

[https://www.ingese.com.ar/static/documentos/INGESE\\_Catalogo\\_O\\_rings.pdf](https://www.ingese.com.ar/static/documentos/INGESE_Catalogo_O_rings.pdf)

Estrategias para fresado y torneado 2D, Recuperado de CIMCO software:

<https://www.cimco.com/documentation/documents/cimco/brochures/es/cimco-software-brochure-es.pdf>

Ferreteríajrc.com (2022). plásticos de ingeniería. *Manual de operaciones, parametros de corte*

[https://ferreteriajrc.com/blog/plasticos-de-ingenieria/#:~:text=El%20Empack%20HD%20de%20KEX,\(polietileno%20de%20alta%20densidad\)](https://ferreteriajrc.com/blog/plasticos-de-ingenieria/#:~:text=El%20Empack%20HD%20de%20KEX,(polietileno%20de%20alta%20densidad))

Gozaydinoglu S, Hosbay Z, Durmaz H. Body image perception, compliance with a prosthesis and cognitive performance in transfemoral amputees. *Acta Orthop Traumatol Turc.*

Ikastaroak.ulhi.net (2018) Procesos de mecanizado por arranque de viruta, *parámetros de mecanizado*

[https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/PPFM/DPMCM/DPMCM01/es\\_PPFM\\_DPMCM01\\_Contentidos/website\\_331\\_parmetros\\_de\\_mecanizado.html](https://ikastaroak.ulhi.net/edu/es/PPFM/DPMCM/DPMCM01/es_PPFM_DPMCM01_Contentidos/website_331_parmetros_de_mecanizado.html)

Mendieta,A (2013) *Manual de practicas básicas del centro de mecanizado vertical CNC HAAS*

VF2: Universidad tecnológica de Pereira, repositorio de la Universidad Tecnológica de Pereira

<https://repositorio.utp.edu.co/server/api/core/bitstreams/812241a6-b52e-4c28-8fa6-7b0802976c1a/content>

Mentxaca A. “*Fabricación asistida por ordenador*”. Bilbao 2011

	<b>Proyecto de grado al título de tecnólogo en mecánica industrial (Proyecto de grado)</b>		<b>Código: IN-IN-001 Versión:01</b>
	<b>Proceso: Proyecto de investigación</b>	<b>Fecha de emisión: 22-Nov-2009</b>	<b>Fecha de versión: 22-Nov-2009</b>

Propósito y función de mallas de elementos finitos, recuperado de:

[https://autofem.com/help/es/purpose\\_and\\_role\\_of\\_meshes.html](https://autofem.com/help/es/purpose_and_role_of_meshes.html)