

**CONSTRUCCIÓN DE UNA PRÓTESIS RODILLA MONOCÉNTRICA POR
MEDIO DE MECANIZADO CNC**

**(CONSTRUCTION OF A PROSTHESIS MONOCHNTRIC KNEE BY CNC
MACHINING)**

*Diego Andrés Pineda Flores¹, Fernando Vinicio Valencia Aguirre², Diego Ortiz³, David Ojeda⁴,
Victor Erazo⁵, Cosme Mejia⁶*

Department of engineering in mechatronics, Universidad Técnica Del Norte, Ibarra-Ecuador¹

Autor principal/Corresponding author, e-mail: fpda1208@hotmail.com

Abstract

A manufacturing process for the monocentric knee prosthesis is developed with the CNI ROMI D800 machine from Univerisidad Tecnica del Norte, in order to verify that the Siemens D800 post processor and the Solid Cam software work correctly, it is taken into account the most Relevant of different bibliographies of development of prosthesis by this method of manufacture in CNC machines. After performing an extensive analysis on how to bring the parts of the knee prosthesis to work, the manufacturing process is a functional prototype for a disabled person with transfemoral amputation, so that in the future the design, weight and esthetics can be improved , And can be tested on people who require it.

Keywords. Machining, prosthesis, amputation.

Resumen

Se desarrolla un procesos de fabricación para la protesis de rodilla monocentrica con la máquina CNC ROMI D800 de la Univerisidad Tecnica del Norte, con el fin de comprobar que el pos procesador Siemens D800 y el software Solid Cam funcionan correctamente, se toma en consideración lo mas relevante de diferentes bibliografias de desarrollo de protesis por este metodo de manufactura en máquinas CNC. Despues de realizar un análisis extensivo sobre como llevar al mecanizado las partes de la protesis de rodilla, el proceso de fabricacion es un prototipo funcional para una persona discapacitada con amputacion transfemoral, para que en el futuro se pueda mejorar el diseño, peso, y estetica, y pueda ser probado en personas que así lo requieran.

Palabras Clave. Mecanizado, prótesis, amputación.

Introducción

De acuerdo con el Consejo Nacional de Discapacidades del Ecuador (CONADIS). En Ecuador 397233 personas tienen algún tipo de discapacidad y aproximadamente 193905 personas tienen algún tipo de discapacidad física en todo el país. De esta cifra 4620 personas tienen discapacidad física en la provincia de Imbabura de las cuales 320 personas sufren de discapacidad transfemoral [1].

Los diferentes procesos de fabricación de prótesis son realizados bajo estándares de calidad muy exigentes en la actualidad el desarrollo de piezas mecánicas con el uso de máquinas CNC a dado un paso muy grande en la mejora de la calidad y desarrollo de prótesis de rodilla.

El mecanizado de la prótesis de rodilla se realiza en tres fases de trabajo las cuales fueron mecanizar en material de aluminio fundido, para comprobar que la geometría de la prótesis no tenga errores en el mecanizado, la segunda fase es mecanizar la misma prótesis pero en material de grillo y comprobar que las fases de trabajo planteados sean correctos y que el mecanizado sirve para tomar medidas y saber que el mecanizado está correcto, la tercera fase es mecanizar en aluminio 7075 como modelo funcional.

I. PROTESIS

Es una extensión artificial que reemplaza una extensión del cuerpo, para que se determine como prótesis debe funcionar o reemplazar la parte afectada realizando la misma función o algún movimiento similar.

En la marcha humana es importante definir parámetros como peso, fuerza, equilibrio, determinación del material, ya que existen varias categorías y depende del nivel de actividad física y por lo tanto el tipo de prótesis a usar. Por esta razón se toma la clasificación en el sistema. Este sistema clasifica las prótesis y los accesorios por su peso, grado de movilidad; por peso de elementos funcionales como pies protésicos, rodillas y articulaciones de cadera, el sistema Walky simplifica el montaje de partes funcionales en relación con elementos estructurales.

Las prótesis se clasifican según el nivel de actividad.

Walky 1.

El paciente tiene la capacidad de caminar sobre superficies planas o niveladas a un ritmo constante de marcha [2].



Fig. 1: Proceso de manufactura según la tecnología [2].

Walky 2.

En el walky 2 la persona es capaz de superar barreras pequeñas como bordillos, escaleras o superficies irregulares dentro de un lugar controlado, pero se limita en lugares al aire libre [2].



Fig. 2: Proceso de manufactura según la tecnología [2].

Walky 3.

El usuario de prótesis es capaz de controlar las velocidades de marcha y superar la mayoría de los obstáculos dentro y fuera de lugares controlados, pero al igual que el walky 2 se limita su funcionamiento al aire libre [2].



Fig. 3: Proceso de manufactura según la tecnología [2].

Walky 4.

El usuario de prótesis es capaz de moverse a velocidades con alto impacto, se incrementa las cargas de choque tensión y deformación, la capacidad de moverse es ilimitada tanto dentro como fuera en ambientes al aire libre [2].



Fig. 4: Proceso de manufactura según la tecnología [2].

II. PROCESO DE MANUFACTURA POR ARRANQUE DE VIRUTA.

La manufactura es una palabra que se divide en dos partes (manus) manos y (factus) hacer, que significa "hacer con las manos", [3], está puede definirse en dos partes:

Tecnología:

Es la unión de diferentes procesos que alteran las propiedades y la forma del material para elaborar productos con valor agregado.

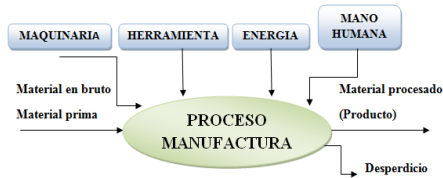


Fig. 5: Proceso de manufactura según la tecnología.

Economía:

Es la transformación de materiales en artículos de mayor valor a través de diferentes etapas provocando que el material tenga un costo significativo.

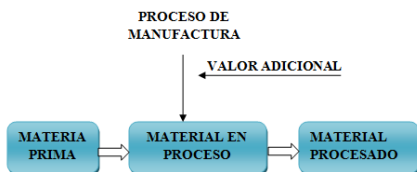


Fig. 6: Proceso de manufactura según la economía.

III. PROCESO DE FRESADO

El fresado es un tipo de operación que se utiliza una herramienta rotatoria con múltiples filos cortantes que se mueven lentamente sobre el material para generar un plano o una superficie recta. El fresado se diferencia del taladrado por la orientación entre el eje de la herramienta y la dirección del avance. En el taladrado la herramienta de corte avanza en dirección paralela a su eje de rotación.

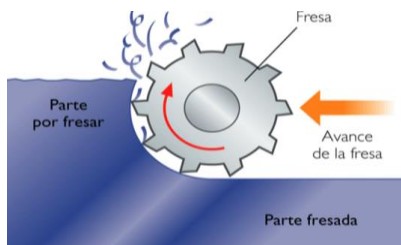


Fig. 7: Proceso de fresado [4]

Tipos de fresados

Fresado periférico

En este tipo de fresado el eje de la herramienta debe estar paralelo al material y depende si es una fresadora de mesa vertical o horizontal.

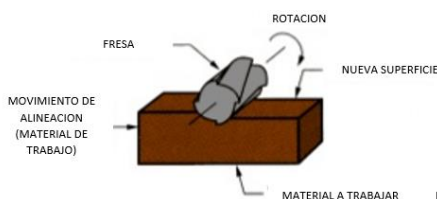


Fig. 8: Fresado con la herramienta en paralelo [5]

Fresado en las caras o frontal.

Es un fresado con una herramienta de corte perpendicular al material, este tipo de operación es más utilizado por operadores de máquinas tipo fresadoras de tres ejes. Se utiliza para desbaste y acabado superficial.

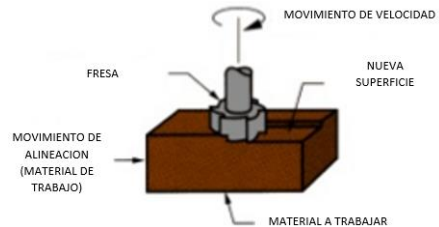


Fig. 9: Fresado frontal [5].

IV. TIPOS DE OPERACIONES

Existen dos tipos de operaciones para realizar un mecanizado:

Desbaste

La función principal es arrancar viruta de un determinado material con profundidades altas. Para esta operación la velocidad de corte y el avance de mesa son muy bajos, esto favorece a la herramienta para conservar el filo.

Acabado

En el acabado la profundidad es baja. Tiene por objetivo lograr unas superficies que cumplan estándares con exigencias de rugosidad y de tolerancias impuestas, la velocidad de corte y el avance son altos.

V. OPERACIONES DE FRESADOS

Fresado de ranuras

En el fresado de ranuras se realizan trabajos que necesitan profundidad con formas y detalles específicos. Se muestra el Ranurado de la estructura base de la prótesis de rodilla lo cual se mecanizó con una fresa de 5mm y una profundidad de 25mm.

Fresado planeado

Este tipo de operación se realiza con fresas frontales o cilíndricas, a 90 grados, es una operación básica de todos los tipos de fresados su función es de realizar careados o acabado en la superficie del material dependiendo del trabajo a efectuarse, con este fresado se necesita un tipo de herramienta de material duro para poder realizar cortes a velocidades altas.

Fresado de perfiles

El fresado de perfil se emplean fresas de longitudes extensas de mecanizado y

profundidades altas, este tipo de herramientas son largas, para realizar un perfil no muy profundo por lo general se utilizan fresas frontales.

Fresado de cavidades

El fresado de cavidades se produce cuando se va a realizar desbaste de material, pero de profundidades pequeñas que no afecte la longitud y el filo de la herramienta.

VI. SELECCIÓN DE HERRAMIENTAS DE CORTE

Una herramienta se elige según el tipo de material a mecanizar, las más conocidas son HSS son herramientas de aceros rápidos resistentes a altas temperaturas se selecciona por su diámetro, su forma de desbaste, y el tipo de pieza a mecanizar.



Fig. 10: Tipos de fresas

Ángulo de ataque

Este ángulo se produce el corte en el material con la punta de la herramienta además influye en la formación de viruta.

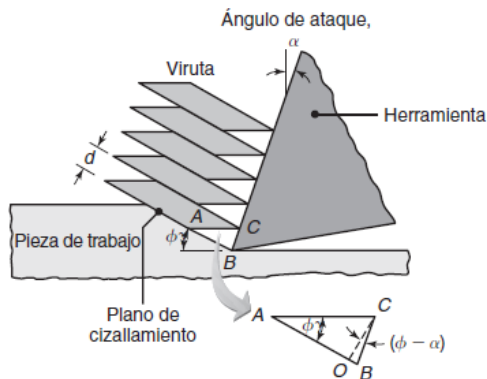


Fig. 11: Superficie de ataque [6]

Ángulo de incidencia

Este ángulo evita el rozamiento del filo de la herramienta con la superficie de trabajo sus valores oscilan de 2° a 3° para aceros duros y de 6° a 10° para materiales con menos dureza.

VII. FORMACIÓN DE VIRUTA

La formación de viruta es un parámetro fundamental al momento de mecanizar, la viruta que se desprende indica si el trabajo que se está realizando es bueno y se está aplicando todos los parámetros que este influyen o si se está mecanizando está mal, haciendo que los recursos tanto de material como de máquina que se han invertido no sean adecuados.

Tipos de viruta

Viruta continúa

La viruta continua se produce cuando se cumplen las siguientes condiciones de corte:

- Mientras el material sea dúctil
- La velocidad sea alta
- Avances y profundidades pequeñas
- Borde cortante bien afilado
- Viruta larga y continua
- Baja fricción herramienta

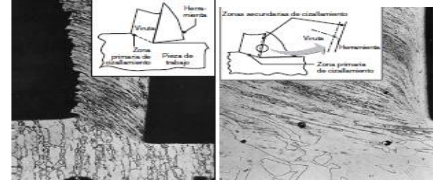


Fig. 12: Superficie de ataque [3].

Viruta continúa con acumulación

Este tipo de viruta se da cuando el maquinado cumple las siguientes condiciones.

- Materiales dúctiles
- Baja a media la velocidad de corte
- La fricción entre herramienta y viruta, causa adhesión de porciones de materia prima

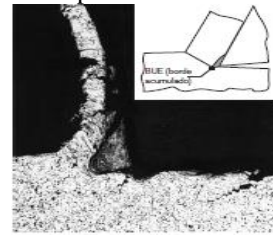


Fig. 13: Superficie de ataque [3].

Viruta discontinua

La viruta discontinua es producida por:

- Una alta fricción herramienta - viruta.
- Bajas velocidades de corte, la viruta se forma en segmentos separados.
- Avances y profundidades grandes promueven este tipo de formación.

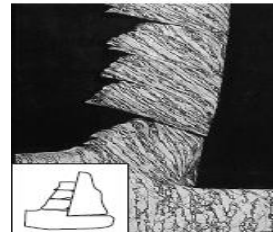


Fig. 14: Superficie de ataque [3].

Viruta dentada

La viruta dentada es un tipo de viruta que se produce cuando:

- Las virutas Semi-continuas forma de diente de sierra
- Esto sucede cuando se trabaja con materiales muy difíciles de maquinar como aleaciones de titanio, aceros inoxidables.

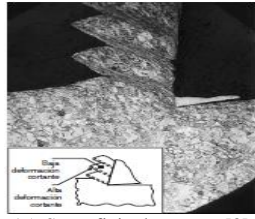


Fig. 15: Superficie de ataque [3].

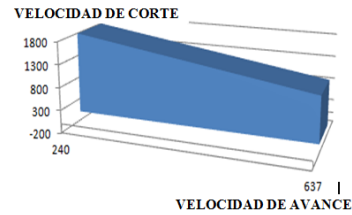


Fig. 18: Superficie de ataque

VIII. VIDA UTIL DE LA HERRAMIENTA

La vida útil de la herramienta depende de tres parámetros fundamentales, velocidad, avances, profundidad de corte y velocidad de corte. Cada parámetro genera un efecto sobre la vida útil de la herramienta.

Efectos por profundidad de corte.

La herramienta tiene efectos sobre el material cuando el corte es muy largo o el corte en el material es muy profundo. Cuando el corte es demasiado largo en tiempo, la herramienta tiende a vibrar, genera más calor, pierde el control de la viruta; cuando el corte en el material es muy profundo genera efectos como rotura de plaquita, fuerza de corte mayor, consumo de más potencia de la máquina CNC

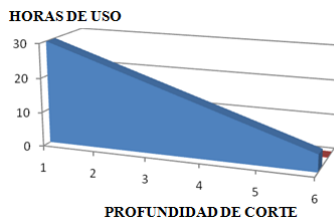


Fig. 16: Superficie de ataque

Efecto por velocidad de corte

Cuando la velocidad es muy baja, la herramienta pierde filo en el corte al material; cuando la velocidad es muy alta la herramienta tiende a desgastarse muy rápido, tiende a deformarse.

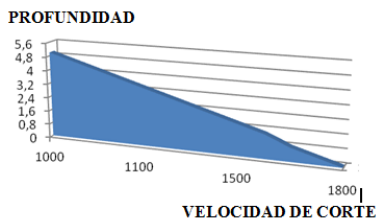


Fig. 17: Superficie de ataque

Efectos por velocidad de avance

Los efectos que causan cuando la velocidad de avance es muy baja hace que la viruta sea fibrosa, rápido desgaste de la herramienta; y cuando la velocidad de avance es muy rápida da un acabado deficiente, la viruta se funde en la herramienta, el consumo de potencia es mayor.

Conservación del filo de una herramienta

- La forma de trabajo de una herramienta debe ser de acuerdo a las indicaciones que el fabricante recomienda.
- Se utiliza refrigerante al mecanizar materiales duros o cuando las profundidades de corte son muy altas.
- La velocidad de corte de avance y profundidad deben ser con cálculos que respalden el mecanizado.

IX. PARÁMETROS DE CORTE

Velocidad de corte

La velocidad de corte es necesario para seleccionar los valores reales de profundidad de corte, y velocidad de husillo.

Material	Tipo de sierra		Diamante		Punta de carburo		Punta de carburo p/láminas finas		Multipropósito	
	Bimetálica y p/láminas finas		Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor	Menor	Mayor
Acero	580	55	-	-	-	-	700	150		
Acero inoxidable	300	25	-	-	-	-	400	77		
Aluminio	900	85	-	-	1650	120	-	-		

Fig. 19: Superficie de ataque [7].

Velocidad de avance

El avance se refiere al desplazamiento producido por la mesa en sentido longitudinal y transversal. El avance por diente es el desplazamiento de mesa cada diente de la fresa.

Avance por diente

El cálculo del avance por diente se necesita para calcular datos de corte, y avance de mesa, y el espesor máximo de viruta.

Material	Herramienta de corte	Recomendaciones generales para operaciones de fresado			
		Condiciones iniciales de propósito general		Variedad de condiciones	
		Avance mm/diente (pulgadas/diente)	Velocidad m/min (pies/min)	Avance mm/diente (pulgadas/diente)	Velocidad m/min (pies/min)
Aleaciones de aluminio					
Maquinado libre	PCD sin recubrimientos, recubiertos	0.13-0.23 (0.005-0.009)	610-900 (2000-3000)	0.08-0.46 (0.003-0.018)	300-3000 (1000-10,000)

Fig. 20: Superficie de ataque [3].

Profundidad de corte

Es la longitud que la herramienta tiene que recorrer desprendiendo material hasta una medida programada tomar en cuenta que los datos proporcionados del fabricante.

	Profundidades de fresado «a» y ancho de corte		
	Fresado en terminación y con pasada única	Fresado en desbaste	Fresado en Afinado
1. Fresas Cilíndricas.	Todo el ancho de la fresa, a = 3 mm.	Todo el ancho de la fresa, a = 5-8 mm.	Todo el ancho de la fresa, a = 1 mm.
2. Fresas Frontales.	Ancho = al diámetro de la fresa, a = 3 mm.	La mitad del diámetro de la fresa, a = 5 mm.	Igual al diámetro de la fresa, a = 1 mm.
3. Fresas Frontales de mango.	Igual al diámetro de la fresa, a = 2 mm.	La mitad del diámetro de la fresa, a = 4 mm.	Igual al diámetro de la fresa, a = 0,5 mm.

Fig. 21: Superficie de ataque [8].

X. MECANIZADO DE LA PARTE MÓVIL

El mecanizado de la parte móvil se realiza en 5 etapas de trabajo, los cuales se determina por la utilización de los accesorios de fijación a la mesa.

• Diseño CAD

El diseño CAD de la parte móvil tiene una geometría que necesita un análisis para poder llevar al mecanizado.

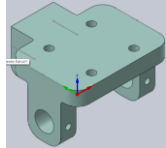


Fig. 22: Parte móvil.

• Análisis CAM

El análisis consiste en observar la forma de la pieza y buscar las herramientas que se va necesitar, y la forma en cómo sujetar la pieza a la mesa para el mecanizado.

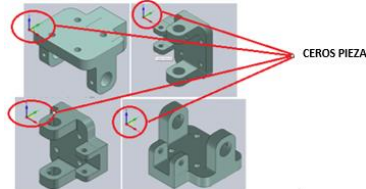


Fig. 23: Toma de cero pieza de la parte móvil.

• Selección de herramientas

Se elige el material a mecanizar y se escoge un tipo de herramienta, como es en este caso se utiliza las fresas en aceros rápidos HSS (High Speed Steel) según el catálogo de Vertex [9].

• Cálculos de los parámetros de mecanización

Porcentaje de herramienta:	80%
Velocidad de corte Vc:	100 m/min
Avance por diente fz:	0,1 mm
Profundidad de corte longitudinal ap:	2 mm
Profundidad de corte radial ae:	12 mm
Diámetro D16:	16mm
Numero de dientes Zc:	4

Ecuación 1: Velocidad del husillo

$$N = (Vc * 1000) / (\pi * D16) * 80\%$$

$$N = 1591 \text{Rpm}$$

Ecuación 2: Velocidad de avance

$$Vf = fz * N * Zc$$

$$Vf = 636,4 \text{ mm/min}$$

Ecuación 3: Arranque de viruta

$$Q = (ap * ae * Vf) / 1000$$

$$Q = 12,73 \text{ (cm}^3\text{)/min}$$

• Simulación CAM

Las operaciones CAM son métodos del propio software los cuales se utilizan para la simulación del mecanizado de la parte móvil, donde se define el material, la forma, el cero pieza y se detalla las diferentes operaciones a utilizarse.

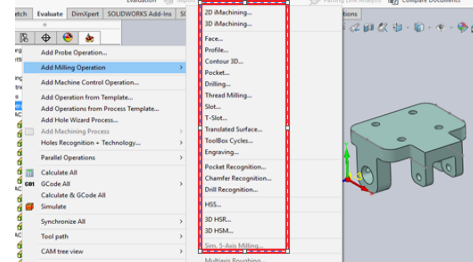
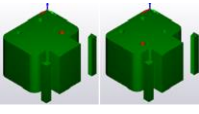
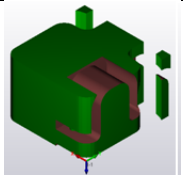
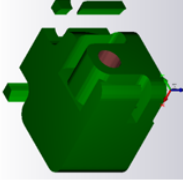
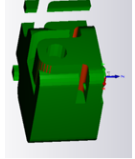
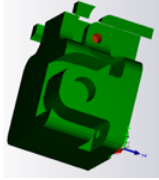
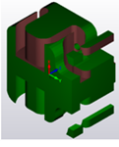
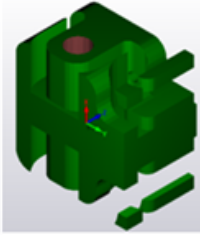
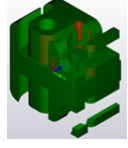
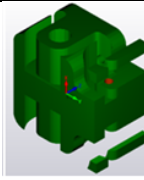
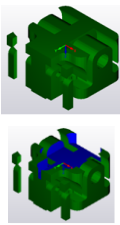
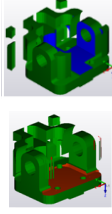
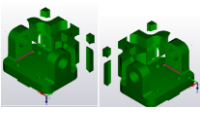


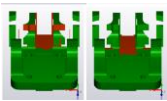
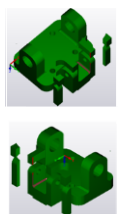
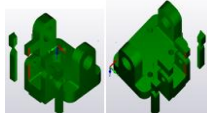
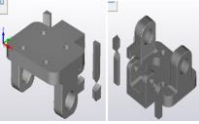
Fig. 24: Metodos CAM

A continuación, se describe el proceso CAM paso a paso que posteriormente se utilizara para mecanizar la parte móvil, que se divide en 5 fases de trabajo.

	Toma de cero pieza para el mecanizado de la parte móvil.
	Para el mecanizado de esta parte se utiliza la operación de contorno hasta una profundidad de 49mm con pasadas de 1mm.
	Se utiliza broca de 5.5mm para realizar dos perforaciones como la medida en de 6,6 se utiliza una fresa de 5 mm y se realiza una cajera para ampliar los agujeros.
	En la fase 2 de trabajo se utiliza fresa de 16 mm y para desbastar el material dando el perfil de la parte móvil
	Como se muestra en la imagen se realiza un perfilado y dar forma a

	las esquinas con una fresa de 6mm.
	De igual manera que en la fase 1 se utiliza una broca de 5,5mm para las perforaciones de la parte superior y con una fresa de 5mm realizar una cajera para agrandar el agujero.
	Se mueve el cero pieza como se muestra en la figura, la operación que se utiliza es contorneado externo en desbaste hasta una profundidad de 30 mm y con una fresa de 16mm.
	La perforación se realiza mediante la utilización de una broca de 10mm hasta una profundidad de 13mm y posteriormente se utiliza una fresa de 8 mm con la operación de cajera para agrandar el agujero hasta 16mm
	Con una fresa de 6mm se realiza un perfilado, para dar forma en los redondeos en la parte izquierda de la parte móvil.
	Con una broca de 5.5mm se realiza una perforación en la parte indicada en la figura y se utiliza una fresa de 5 mm para agrandar el agujero y llegar a la medida nominal.
	Nuevamente se realiza el cambio de cero pieza donde se realiza la operación de perfil en la cara derecha de la

	parte móvil con una fresa de 16mm
	La perforación se realiza mediante la utilización de una broca de 10mm hasta la profundidad de 13mm y posteriormente se utiliza una fresa de 8 mm con la operación de cajera para agrandar el agujero hasta 16mm
	Con una fresa de 6mm se realiza un perfilado, para dar forma en los redondeos de la parte móvil.
	Con una broca de 5.5mm se realiza una perforación en la parte indicada en la figura y se utiliza una fresa de 5 mm para llegar a la medida del agujero
	Se realiza un cambio de cero pieza; y con una fresa de 16mm se realiza con un contorneado interno para poder eliminar material innecesario
	Como se observa en la figura se utiliza una fresa de 16mm con la operación de cajera interna y eliminar material hasta la profundidad de 35mm.
	En las figuras se muestra el mecanizado de los redondeos de cada lado se utiliza la operación de perfil con una fresa de punta redonda de 6,3mm

	Por el espacio angosto de la parte móvil se utiliza una fresa de 6mm para desbastar el material restante
	De igual manera se utiliza una fresa de punto redonda de 6,3mm para realizar los redondeas como se muestra en la imagen.
	Se utiliza la operación de contorneado para la remoción de material con una fresa de 6mm
	Vista isométrica de la parte móvil mecanizada por el simulador SOLID CAM.

XI. MECANIZADO DEL ACOPLE DE PIRÁMIDE

El acople pirámide es la parte más importante de la prótesis de rodilla su función es de unir la parte móvil con el muñón de pierna por medio del acople de su parte superior y sujeto por pernos, este acople tiene que tener un ángulo de 15 grados que es el espacio para realizar el movimiento de flexión y extensión de la rodilla.

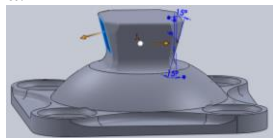


Fig. 25: Acople de piramide

• Diseño CAD

El acople de pirámide es diseñado haciendo el uso de ingeniería inversa con escáner 3D.



Fig. 26: Acople de piramide

• Análisis CAM

Comprende en buscarla forma de cómo llevar al mecanizado la pieza, el primer paso es colocar los distintos ceros pieza que se necesite

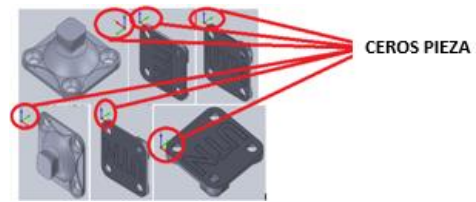


Fig. 27: Toma de cero pieza del acople de piramide

• Selección de herramientas

La selección de herramientas se realiza basándose en la geometría del acople de pirámide al igual que la parte móvil. Se utilizó tres herramientas para fabricar el acople de pirámide.

• Cálculos de los parámetros de mecanización

Factor de seguridad:	80%
Velocidad de corte Vc:	50 m/min
Avance por diente fz:	0,1 mm
Profundidad de corte longitudinal ap:	1 mm
Profundidad de corte radial ae:	5 mm
Potencia kc:	104 N/mm ²
Diámetro D6:	6mm
Numero de dientes Zc:	4

Ecuación 4: Velocidad del husillo

$$N = (V_c * 1000) / (\pi * D_6) * 80\%$$

$$N = 2121 \text{ Rpm}$$

Ecuación 5: Velocidad de avance

$$V_f = f_z * N * Z_c$$

$$V_f = 848,4 \text{ mm/min}$$

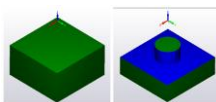
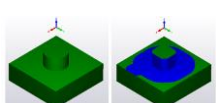
Ecuación 6: Arranque de viruta

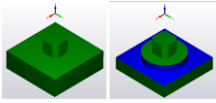
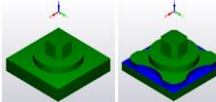
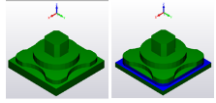
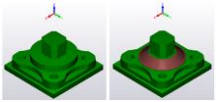
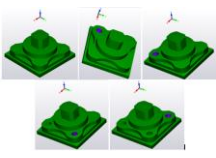
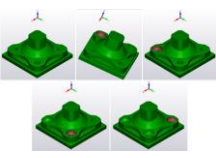
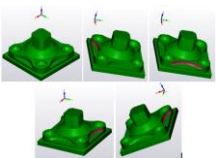
$$Q = (a_p * a_e * V_f) / 1000$$

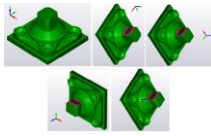
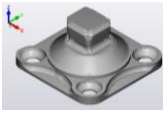
$$Q = 4,24 \text{ (cm}^3\text{)/min}$$

• Simulación CAM

El mecanizado del acople de pirámide se realiza mediante las siguientes fases de trabajo.

	Toma cero pieza, a verificación de la colocación de las herramientas de sujeción, posteriormente se realiza un contorno externo en desbaste de 1mm al material en bruto
	Con la operación de perfil se realiza un perfilado para dar la

	forma que se muestra en la figura.
	En esta figura se muestra el mecanizado con la operación cajera
	Para esta operación se utiliza la operación de perfil y se mecaniza como se muestra en la figura.
	En este mecanizado se utiliza la operación de contorno.
	Para el mecanizado de este tipo de figuras se utiliza la operación HSM, donde el mecanizado es analizado por el software CAM generando los códigos necesarios para esta figura.
	En esta figura se muestra 4 agujeros donde se utiliza una broca de 5.5mm y se realiza los agujeros con la operación de taladrado, y posteriormente se utiliza una fresa de 5mm para agrandar los agujeros hasta 6,6mm
	Como se muestra en la figura los agujeros tienen unas figuras redondeadas, se utiliza la operación de HSM para poder mecanizar este tipo de figuras.
	Los perfilados que se muestran en la figura se mecanizan utilizando una fresa de punta redonda y realizar un perfil en las esquinas donde se produce concentración de esfuerzos.

	En esta figura se muestra el mecanizado de los redondeados de la cabeza en forma de pirámide donde se utiliza la operación de HSM en el cambio de los diferentes ceros pieza.
	Acople de pirámide mecanizada.

Durante el mecanizado del acople de pirámide se presentó el mismo problema de la parte móvil la forma en cómo se coloca la pieza sobre todo cuando se va a mecanizar los chaflanes de la cabeza, se utiliza una entenalla de precisión, pero no está bien calibrada, lo que se hizo es compensar ese desnivel, compensando el lado donde esta desigual y verificando con un nivel

XII. MECANIZADO DE LA ESTRUCTURA BASE

La mecanización de la estructura base es en 5 fases de trabajo donde se describe la forma de mecanizar en tres distintos materiales.

• Diseño CAD

El diseño de la estructura base tiene una forma compleja de mecanizar, el cual hay que analizar la manera en cómo llevar esta pieza a la fabricación.

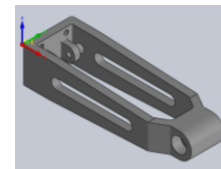


Fig. 28: Estructura base

• Análisis CAM

Mediante el diseño establecido el análisis por CAM requiere de visualizar la manera de cómo un tocho de material se puede llevar a la fabricación de esta pieza. Se comienza con el tipo de herramientas a utilizar, además se observa que con un solo cero pieza no se va a poder mecanizar toda la pieza, hay que moverle a 5 distintos ceros pieza.

• Selección de herramientas

La selección de herramientas para el mecanizado de la estructura base, se obtiene del análisis del diseño CAD, se elige el material a mecanizar y se escoge un tipo de herramienta, como es en este caso se utiliza las fresas en aceros rápidos HSS (High Speed Steel) según

el catálogo de [10] recomienda utilizar este tipo de herramientas porque tiene más dureza que el aluminio, resistentes a altas temperaturas y según el proveedor en el país su costo es económico con respecto a herramientas con aleaciones más compuestas.

• Cálculos de los parámetros de mecanización.

La velocidad de corte es proporcionada por el fabricante de herramientas que se utilizó en los mecanizados de las diferentes partes de la prótesis de rodilla, en nuestro caso [10], es recomendable que para el fresado por desbaste utilizar un porcentaje de herramienta del 80% según [11]; y el avance por diente, es tomado en cuenta las recomendaciones de [3], y la profundidad de corte longitudinal por [8].

- Factor de seguridad:** 80%
- Velocidad de corte Vc:** 100 m/min
- Avance por diente fz:** 0,1 mm
- Profundidad de corte longitudinal ap:** 2 mm
- Profundidad de corte radial ae:** 12 mm
- Potencia kc:** 104 N/mm²
- Diámetro D16:** 16mm
- Numero de dientes Zc:** 4

Ecuación 7: Velocidad del husillo

$$N = (Vc * 1000) / (\pi * D8) * 80\%$$
N=1591Rpm

Ecuación 8: Velocidad de avance

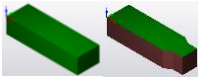
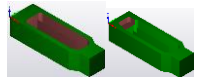
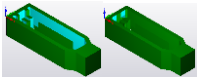
$$Vf = fz * N * Zc$$
Vf=636,4 mm/min

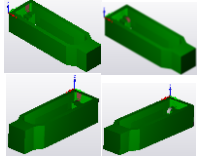
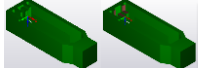
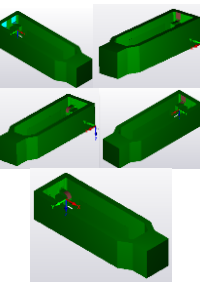
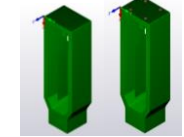
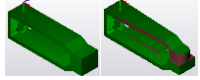
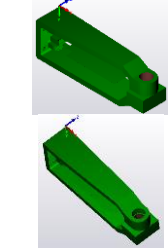
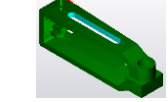
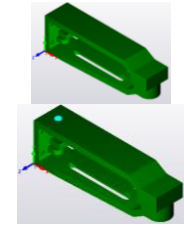
Ecuación 9: Arranque de viruta

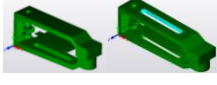
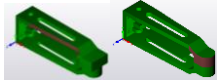
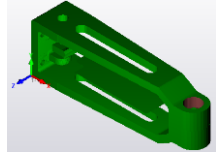
$$Q = (ap * ae * Vf) / 1000$$
Q=7,63 (cm³)/min

• Simulación CAM

El proceso CAM de la estructura base de la prótesis de rodilla, se divide en 5 fases de trabajo por la forma de sujeción del material.

	El material en bruto es mecanizado con una fresa de 16mm con la operación de perfil por la parte externa del material.
	La operación de cajera se utiliza para el desbaste excedente del material.
	Con la operación de perfil se utiliza para un desbaste de material en la parte interna con una fresa de 6mm.

	Con una fresa de 5 mm se mecaniza los redondeos que se muestra en la figura.
	Como se muestra en la figura se realiza el mecanizado de la parte interna de la estructura base eliminando material excesivo.
	Con una fresa de 5 mm se mecaniza los redondeos que se muestra en la figura.
	Como se muestra en la figura se realiza un cambio de cero pieza para así poder realizar el taladrado y cajera que se muestra.
	Nuevamente se cambia el cero pieza y se realiza la operación de perfil externo
	Con la operación de taladrado se realiza las perforaciones hasta la profundidad de 60 mm, y con la operación de cajera se realiza en agrandamiento de la perforación.
	Con la operación de cajera de realiza un desbaste de material interno como se muestra en la figura.
	Como se muestra en la figura se realiza un cambio de cero pieza y se realiza una perforación con la operación de taladrado y cajera para agrandar el agujero.

	Se utiliza una fresa de 8mm para realizar el mecanizado de la figura con la operación de cajera.
	Con la operación de contorno se utiliza para mecanizar la otra parte del perfil de la estructura base
	Para la siguiente operación se utiliza la operación de taladrado y realizar una perforación y con la operación de cajera agrandar el agujero que se muestra en la figura

XIII. ANALISIS DE RESULTADOS.

Se propuso mecanizar la prótesis en diferentes materiales, la utilización del aluminio fundido es para comprobar las fases de trabajo son correctas, en este mecanizado es posible verificar los errores en programación G, seteo de herramientas, tipo de ajuste de la pieza.

La dificultad de mecanizar la prótesis de rodilla está en el cambio de los diferentes ceros de la pieza, la razón es que hay que mover la pieza en diferentes posiciones lo cual hace que el mecanizado tenga errores de apreciación como se espera eso depende en gran parte del tipo de herramienta de corte y ajuste de la máquina CNC.

Resultados de la prótesis de rodilla en aluminio fundido

La prótesis de rodilla en aluminio fundido es analizada mediante el uso de la teoría de tolerancias geométricas, donde se verifica todas las formas según los datos obtenidos en las pruebas a las tres piezas de la prótesis, las pruebas realizadas son;

Rectitud

Como se muestra en la siguiente tabla la rectitud mejora en cada mecanizado, eso se debe a las propiedades del material y la experiencia del operador.

Tabla I
Tabla de rectitud

PORCENTAJE DE ERROR EN EL MECANIZADO CON PRUEBA DE RECTITUD			
	ALUMINIO FUNDIDO	GRILLON	ALUMINIO 70-75
PARTE MOVIL	8%	5%	2%
ACOPLE DE PIRAMIDE	8%	5%	2%
ESTRUCTURA BASE	8%	5%	2%

Planicidad

La planicidad de las tres prótesis a simple vista no se nota, pero se hace un examen con papel carbón para observar que las caras se pinten y observar el porcentaje de error como se observa en la tabla II.

Tabla II
Tabla de planicidad

PORCENTAJE DE ERROR EN EL MECANIZADO CON PRUEBA PLANICIDAD			
	ALUMINIO FUNDIDO	GRILLON	ALUMINIO 70-75
PARTE MOVIL	5%	3%	0%
ACOPLE DE PIRAMIDE	5%	3%	0%
ESTRUCTURA	5%	3%	0%

Redondez

Para medir la redondez se utiliza un calibrador y se mide por la parte interna de los agujeros los resultados se observa en la Tabla III que existe una mejora en cada mecanizado.

Tabla III
Tabla de planicidad

PORCENTAJE DE ERROR EN EL MECANIZADO CON PRUEBA REDONDEZ			
	ALUMINIO FUNDIDO	GRILLON	ALUMINIO 70-75
PARTE MOVIL	8%	3%	1%
ACOPLE DE PIRAMIDE	8%	3%	1%
ESTRUCTURA	8%	3%	1%

Cilindricidad

La cilindridad de un agujero depende de la herramienta de corte muchas de las veces hay roturas en los filos y produce que las tolerancias no sean las correctas, esto paso con la prótesis de aluminio fundido y grillon se utilizó herramientas desgastadas y no se respetó los datos calculados.

Tabla IV
Tabla de planicidad

PORCENTAJE DE ERROR EN EL MECANIZADO CON PRUEBA CILINDRICIDAD			
	ALUMINIO FUNDIDO	GRILLON	ALUMINIO 70-75
PARTE MOVIL	5%	3%	1%
ACOPLE DE PIRAMIDE	5%	3%	1%
ESTRUCTURA	5%	3%	1%

Perpendicularidad

Hay un error alto de perpendicularidad a simple vista no se nota, pero al igualar con una escuadra se observa un pequeño desnivel.

Tabla V
Tabla de planicidad

PORCENTAJE DE ERROR EN EL MECANIZADO CON PRUEBA PERPENDICULARIDAD			
	ALUMINIO FUNDIDO	GRILLON	ALUMINIO 70-75
PARTE MOVIL	8%	5%	0%
ACOPLE DE PIRAMIDE	8%	5%	0%
ESTRUCTURA	8%	5%	0%

Simetría

El dato de simetría de las tres prótesis es bajo por que se corrigió a tiempo los posibles errores durante el mecanizado.

Tabla VI
Tabla de planicidad

PORCENTAJE DE ERROR EN EL MECANIZADO CON PRUEBA SIMETRIA			
	ALUMINIO FUNDIDO	GRILLON	ALUMINIO 70-75
PARTE MOVIL	4%	4%	1%
ACOPLE DE PIRAMIDE	4%	4%	1%
ESTRUCTURA	4%	4%	1%

XIV. BIBLIOGRAFIA

- [1] X. Lima, MECANISMO DE ARTICULACIÓN DE RODILLA PARA PROTOTIPO DE PRÓTESIS EXTERNA BIOMECASTRÓNICA, Ibarra, 2015.
- [2] Streifeneder, «Prothèse Membre Inférieur,» *Prothèse Membre Inférieur*, pp. 12-18, 2012.
- [3] S. Kalpakjian y S. Schmid, Manufactura, Ingeniería y Tecnología, Mexico: Person Education, 2008.
- [4] N. Urrego Ospina, «Fresado,» 17 Abril 2010. [En línea]. Available: <http://es.slideshare.net/nurrego/fresado>.
- [5] «Teoría del maquinado de metales,» 5 Marzo 2013. [En línea]. Available: <http://es.slideshare.net/dilver8512/teora-del-maquinado-de-metales>. [Último acceso: 16 Junio 2016].
- [6] Sandvik, «Tipos de fresados,» [En línea]. Available: http://www.sandvik.coromant.com/es-es/knowledge/milling/application_overview/slot_milling/end_milling_of_slots?Country=ec. [Último acceso: 25 Junio 2016].
- [7] I. Garcia, L. Juan, U. Luis y D. Pete, Diseño e Implementación de un control cnc para crear modelos y esculturas en tercera dimensión a partir de un diseño cad, Bogotá, 2009.
- [8] A.L.CASILLAS, «MAQUINAS,» de *CALCULOS DE TALLER*, p. 322.
- [9] Vertex, «Productos Vertex,» [En línea]. Available: <http://www.vertex-tw.com.tw/>. [Último acceso: 25 Junio 2016].
- [10] Vertex, «Productos Vertex,» [En línea]. Available: <http://www.vertex-tw.com.tw/>. [Último acceso: 25 Junio 2016].
- [11] S. Mallorqui y J. Carrasco, Prácticas y procesos de taller de mecanizado: fabricación por arranque de viruta, Mexico: S.A. MARCOMBO, 2012.