

CONFORMADO DE ROSCAS MEDIANTE EL PROCESO DE ROSCADO
HELICOIDAL DE CONTROL NUMÉRICO EN UN CENTRO DE MECANIZADO
VERTICAL.

JHECSER IVÁN HERNÁNDEZ PARADA

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
BOGOTÁ D. C.
2016

CONFORMADO DE ROSCAS MEDIANTE EL PROCESO DE ROSCADO
HELICOIDAL DE CONTROL NUMÉRICO EN UN CENTRO DE MECANIZADO
VERTICAL.

JHECSER IVÁN HERNÁNDEZ PARADA

Proyecto de Trabajo de Grado en la modalidad de Solución de problema de
Ingeniería para optar al título de Ingeniero Mecánico

DIRECTOR:
JORGE ANDRÉS GARCÍA BARBOSA
Ingeniero Mecánico

CODIRECTOR:
CARLOS JULIO CAMACHO LÓPEZ
Ingeniero Mecánico

UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D. C.
2016

NOTA DE ACEPTACIÓN

FIRMA DEL PRESIDENTE DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

FIRMA DEL JURADO

Bogotá, 20 de septiembre de 2016.

DEDICATORIA:

A mis padres:

Ellos, mis amados padres, me han enseñado el valor de la perseverancia, siempre me han apoyado en los momentos gratos, así como también en los momentos difíciles de mi vida, a ellos dedico este gran logro.

A mis profesores:

Sin ellos nunca me hubiese sido posible alcanzar mis metas, personas que con su apoyo y esfuerzo me ayudaron a formarme y crecer, como profesional y como persona.

A mis compañeros:

Gracias a aquellos que me apoyaron durante ese tiempo que estuve estudiando ingeniería mecánica, que junto a mi supieron afrontar los obstáculos de esta bella carrera.

Para todas aquellas personas que vieron como al pasar del tiempo me fui formando como profesional y me apoyaron para que así lo fuese, muchas gracias, a ustedes les dedico esta tesis.

AGRADECIMIENTOS:

De antemano agradezco a mis padres ya que sin el apoyo incondicional de ellos quizá no hubiese podido alcanzar este título, a mi familia porque a pesar de tantas cosas siempre estuvieron hay para apoyarme.

A la Universidad Santo Tomás, por haberme aceptado en esta comunidad tomasina y haberme permitido formarme como profesional en sus aulas.

A mi tutor el Ingeniero Jorge Andrés García Barbosa, ya que con su paciencia, orientación y conocimientos supo guiarme durante mi proceso como resista.

A todas las personas que me apoyaron les doy miles y miles de gracias.

TABLA DE CONTENIDO

INTRODUCCIÓN.....	13
1. OBJETIVOS.....	14
1.1 OBJETIVO GENERAL.....	14
1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS.....	14
2. MARCO TEÓRICO	15
2.1 ROSCAS MÉTRICAS TRAPEZOIDALES	15
2.1.1 Aplicaciones y usos.	15
2.1.2 Geometría.....	16
2.1.3 Ajustes y tolerancias	19
2.2 TALLADO DE ROSCAS POR FRESADO	25
2.2.1 Cinemática del proceso de roscado	27
2.2.2 Maquinado concordante y discordante.....	31
2.2.3 Sentido de giro de roscado aplicando maquinado concordante y discordante.....	31
2.3 HERRAMIENTAS MONOCORTE.....	32
2.3.1 Ángulos principales de corte	33
2.4 PROGRAMACIÓN PARAMÉTRICA.....	36
2.5 MÁQUINAS HERRAMIENTAS VIRTUALES	42
3. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE HERRAMIENTA DE CORTE	44
3.1 MATERIAL DE LA HERRAMIENTA: ACERO O1	44
3.1.1 Aplicaciones	44
3.1.2 Composición química	45
3.1.3 Tratamiento térmico	45
3.2 PERFIL DE LA HERRAMIENTA	48
3.3 FILOS DE CORTE.....	49
3.4 GEOMETRÍA FINAL DE LA HERRAMIENTA.....	50
3.5 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA HERRAMIENTA	51
3.6 METROLOGÍA DE LA HERRAMIENTA	51

4.	FRESADO DE ROSCAS CON DIÁMETROS SUPERIORES A 31 mm.	53
4.1	COMPONENTES A FABRICAR.....	53
4.2	PLANIFICACIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA.....	55
4.3	PROGRAMACIÓN CNC PARA ROSCADO TRAPEZOIDAL.....	57
4.4	MACROS PARA TALLADO DE TUERCA <i>TR 40 X 3 7H/7e</i>	64
4.5	MACROS PARA TALLADO DE TORNILLO <i>TR 40 X 3 7H/7e</i>	66
4.6	SIMULACIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA.....	69
5.	EJECUCIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA.....	71
5.1	MONTAJE DE MATERIA PRIMA.	71
5.2	MECANIZADO DE PIEZAS	72
5.3	VERIFICACIÓN DE PAR CINEMÁTICO	75
5.4	INSPECCIÓN Y METROLOGÍA DE PIEZAS.....	76
5.5	CORRECCIÓN DE LA APARICIÓN DE REBABAS EN LA CRESTA DE LAS ROSCAS	76
6.	CONCLUSIONES	80
7.	RECOMENDACIONES	82
8.	BIBLIOGRAFÍA.....	83
	ANEXO A.....	85
	ANEXO B.....	87
	ANEXO C.....	90
	ANEXO D.....	93
	ANEXO E.....	96
	ANEXO F	98
	ANEXO G	100
	ANEXO H.....	104
	ANEXO I	106
	ANEXO J.....	109
	ANEXO K.....	112
	ANEXO L	113
	ANEXO M	118

ANEXO N.....	120
ANEXO O	123
ANEXO P.....	124
ANEXO Q	125

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Tornillo roscado con perfil trapezoidal	16
Figura 2. Perfil básico de una rosca externa trapezoidal.....	17
Figura 3. Perfil básico con aclaramiento en la cresta y desviación (<i>es</i> , <i>ES</i>)	20
Figura 4. Posición de tolerancia.....	21
Figura 5. Roscas internas con posición de tolerancia <i>H</i> para el diámetro de paso	22
Figura 6. Posiciones <i>c</i> y <i>e</i> para diámetro de paso en roscas externas	22
Figura 7. Fresadoras y platos divisores	26
Figura 8. Triangulo de hélice	28
Figura 9. Movimiento de rotación sobre un eje central	29
Figura 10. Movimiento helicoidal de paso constante.....	30
Figura 11. Cinemática del proceso.....	30
Figura 12. Maquinado concordante frente a maquinado discordante	31
Figura 13. Tipo de mecanizado para rosca izquierda y derecha.....	32
Figura 14. Escarpa Stanley serie 5000 para madera	33
Figura 15. Perfil de filo de una herramienta monocorte	33
Figura 16. Ángulos de corte de una herramienta monocorte	34
Figura 17. Incidencia de la herramienta monocorte en la materia prima	35
Figura 18. Centro de mecanizado virtual.....	43
Figura 19. Cambios dimensionales durante el revenido	47
Figura 20. Curvas de tratamiento térmico para acero plata O1	47
Figura 21. Perfil de herramienta para rosca trapezoidal.....	49
Figura 22. Filos de corte con ángulos de desprendimiento e incidencia	50
Figura 23. Vistas de la herramienta para roscado trapezoidal	50
Figura 24. Torno tipo suizo PO LY GIM DIAMOND.	51
Figura 25. Proyección de perfil de herramienta para roscado trapezoidal	52
Figura 26. CAD tuerca.....	54
Figura 27. CAD tornillo	55
Figura 28. Diagrama de flujo para la fabricación de los componentes tuerca - tornillo	56
Figura 29. Diagrama de flujo para roscado helicoidal	57
Figura 30. Simulación de proceso de fabricación tuerca roscada TR 42X3 7H/7e	70
Figura 31. Simulación de proceso de fabricación tornillo roscado TR 42X3 7H/7e	70
Figura 32. Copa de mordazas autocentrantes.	71
Figura 33. Base imantada, brazo extensible, comparador.....	72
Figura 34. Control metrológico diámetro básico mayor para roscas externas	73

Figura 35. Mecanizado de piezas, A. Avellanado, B. Roscado externo, C. Sección hexagonal, D. Agujero, E. Roscado interno, F. conjunto de piezas.....	74
Figura 36. Piezas finalizadas (Tuerca-tornillo)	75
Figura 37. Verificación de par cinemático.	75
Figura 38. Metrología de la rosca externa en el proyector de perfiles.	76
Figura 39. Proyección de rebabas generadas.....	77
Figura 40. Corte de material según su dirección	78
Figura 41. Triangulo para determinación de ángulo φ	78

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Nomenclatura para las medidas de una rosca con perfil trapezoidal	16
Tabla 2. Dimensiones básicas del perfil	18
Tabla 3. Tabla de dimensiones básicas	18
Tabla 4. Combinaciones diámetro - paso.....	19
Tabla 5. Nomenclatura de tolerancias de roscas con perfil trapezoidal	19
Tabla 6. Grados de tolerancia	21
Tabla 7. Clases de tolerancias recomendadas para roscas internas	23
Tabla 8. Clases de tolerancias recomendadas para roscas externas	23
Tabla 9. Desviaciones fundamentales para roscas internas y externas	24
Tabla 10. Tolerancia para el diámetro mayor de la rosca externa (T)	24
Tabla 11. Tolerancia para diámetro de paso en roscas externas (T)	25
Tabla 12. Ángulos de corte para herramientas monocorte	35
Tabla 13. Rango de variables Fanuc	36
Tabla 14. Variables matemáticas en programación con macros.....	37
Tabla 15. Ejemplo de programación con macros.....	40
Tabla 16. Aplicaciones del acero O1	44
Tabla 17. Composición química acero O1	45
Tabla 18. Cambios dimensionales durante el temple	46
Tabla 19. Calculo de dimensiones para rosca de perfil trapezoidal	54
Tabla 20. <i>Macro O156 tuerca TR 42x3 7H/7e operación roscado interno</i>	58
Tabla 21. <i>Macro O163 tornillo TR 42x3 7H/7e operación roscado externo</i>	61
Tabla 22. <i>Macro O151 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación diámetro de hexágono</i>	64
Tabla 23. <i>Macro O165 tornillo rosca TR 42 x 3 7H/7e operación chaflán sección hexagonal</i>	67

RESUMEN

Se realiza el tallado de un conjunto de elementos roscados tuerca-tornillo haciendo uso del centro de mecanizado vertical multiejes FINETECH GTX-170, se utiliza programación paramétrica útil para agilizar un proceso por arranque de viruta y la cual puede ser utilizada en el control del centro de mecanizado vertical, dicho código G o macro parametrizada, contiene una serie de variables necesarias en cada operación para que la máquina realice movimientos específicos, además posee recomendaciones sugeridas con el fin de no hacer mal uso del centro de mecanizado vertical.

Con ayuda de herramientas virtuales como son *NX 10* y *el centro de mecanizado virtual* fue posible diseñar las piezas que se desean tallar con todas las operaciones necesarias junto con la utilización de roscado helicoidal, además se crean los modelos de las herramientas de perfil trapezoidal ideales para el tallado de roscas con este tipo de perfil y con un paso de 3 mm. Igualmente se hace la simulación del tallado de los elementos roscados tuerca-tornillo con el fin disminuir los posibles errores en el momento de realizar la practica real y a su vez perfeccionar totalmente los movimientos que debe realizar el centro de mecanizado.

Se realiza el tallado de las herramientas de perfil trapezoidal utilizando un torno tipo suizo de referencia PO LY GIM DIAMOND, estas herramientas son fabricadas en acero plata 01, además se practica metrología y se realiza un tratamiento térmico a las herramientas para así poder garantizar el correcto mecanizado de las piezas que poseen roscado helicoidal con perfil trapezoidal.

Igualmente se realiza la metrología de las piezas que contienen secciones roscadas, para determinar la calidad del proceso que se concluye.

INTRODUCCIÓN

Según la Cámara Fedemetal de la Andi, en la última década, el crecimiento tanto de la producción interna como de las importaciones de tornillos y tuercas en Colombia ha sido exponencialmente considerable. Solamente, durante el 2005, el volumen de las compras de tornillos autoroscables (con más de 2.000 referencias) desde China, creció 92,84 % con respecto al 2004, y 67.50 % en 2006, este último al pasar de 3.709.038 kilos en 2005 a 6.212.776 kilos en 2006 [1]. Estos datos dejan en evidencia el constante aumento en la utilización de este tipo de uniones, además su gran campo de acción.

El uso de centros de mecanizado vertical para el proceso de roscado ha sido subutilizado. Mediante el uso de tecnologías CNC ya existentes, pero poco empleadas en el proceso de roscado, como es el caso de los centros de mecanizado vertical, es posible llegar a reducir los tiempos de conformado de roscas, así como incrementar la precisión del proceso. igualmente facilita el mecanizado de roscas de grandes diámetros debido a que el montaje de materia prima con grandes dimensiones en un torno es más complejo, la tecnología CNC posee una alta versatilidad, incrementando considerablemente las posibilidades de roscado en cuanto a componentes de grandes diámetros que necesiten secciones roscadas tanto internas como externas.

Utilizando interpolación helicoidal en un centro de mecanizado vertical y mediante la caracterización y parametrización del proceso de roscado, se obtendría flexibilidad en dicho proceso, se lograría una gran variedad de diámetros, pasos y perfiles, reduciendo tiempos, incrementando la precisión y calidad del tallado de roscas y supliendo la demanda constante de la industria metalmecánica, petrolera, química, aeroespacial, entre otras.

Además, con el desarrollo del proyecto se haría un aporte en cuanto al mejor aprovechamiento del parque industrial instalado en Colombia en cuanto al proceso roscado helicoidal de control numérico en centros de mecanizado de tres ejes, ya que se haría uso de la capacidad tecnológica que poseen las máquinas CNC.

1. OBJETIVOS

Se definieron un objetivo general y tres específicos que se definen a continuación:

1.1 OBJETIVO GENERAL

- Implementar el proceso de roscado helicoidal, para el conformado de roscas de grandes diámetros (mayores a 31.75 mm), en el centro de mecanizado vertical Finetech GTX-210.

1.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Elaborar una propuesta de las piezas a mecanizar mediante el estudio cinemático y geométrico del proceso de roscado y la caracterización de la capacidad tecnológica que posee el centro de mecanizado vertical.
- Planificar el proceso de manufactura de las piezas a roscar propuestas, usando programación paramétrica y una máquina virtual para verificar el desarrollo del proceso.
- Realizar una práctica experimental correspondiente al proceso de roscado helicoidal en el centro de mecanizado vertical Finetech GTX-210 y al control metrológico de las piezas fabricadas.

2. MARCO TEÓRICO

Se definen todos los conceptos necesarios para el desarrollo del proyecto de grado, tal como se muestra a continuación:

2.1 ROSCAS MÉTRICAS TRAPEZOIDALES

Las roscas trapezoidales son altamente utilizadas en la industria, este tipo de roscas debe su nombre a su característica principal, el perfil geométrico descrito por su surco helicoidal, siendo un trapecio isósceles que posee un ángulo entre paredes de surco de 30° , al ser una rosca métrica las medidas están dadas en milímetros.

Este tipo de roscas son generalmente utilizadas para transmisión de potencia, su perfil es muy similar al de las roscas ACME, pero regidas en cuanto a dimensiones y normas métricas, las roscas de perfil trapezoidal muchas veces son mal llamadas "Métricas ACME" o también "Métrica de la serie M ACME", estas roscas son fuertes, robustas y duraderas.

La designación para este tipo de roscas viene inicialmente dada por las letras "TR", seguido por el diámetro mayor en mm y luego el paso de la rosca igualmente en mm separados estos últimos datos por una X por lo tanto la designación para una rosca de perfil trapezoidal con diámetro de 42 mm y paso 3 mm sería TR 42 X 3, el elemento X se nombra como un "por", es decir, verbalmente la designación sería rosca trapezoidal cuarenta y dos por tres.[2]

2.1.1 Aplicaciones y usos.

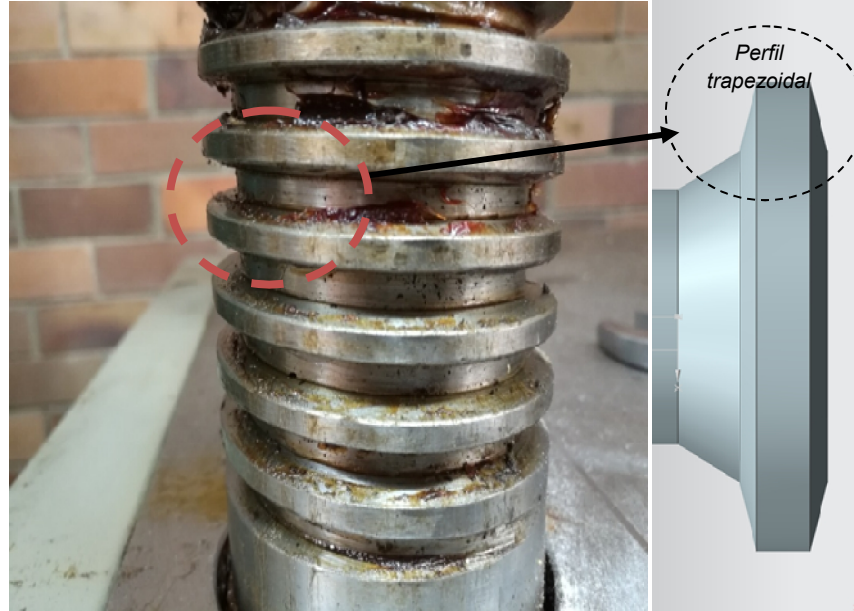
Las roscas de perfil trapezoidal son utilizadas para máquinas que necesiten transmisión de fuerza en una dirección, se emplean en sistemas de gatos, tornillos de banco, sujetadores y cerrojos especiales.[1]

Algunas aplicaciones poco convencionales pero que igualmente involucran roscas de perfil trapezoidal son:

- Maquinaria farmacéutica.
- Maquinaria de envasado.
- Unidades de dispositivos médicos.
- Maquinaria agrícola.
- Unidades de prensa de tornillo [2].

En la Figura 1, se observa un tornillo que posee tallada una rosca con perfil trapezoidal, perfil que va a ser utilizado en el diseño de la herramienta de corte.

Figura 1. Tornillo roscado con perfil trapezoidal



Fuente: Taller de máquinas de la Universidad Santo Tomás.

2.1.2 Geometría.

Según la norma ISO 2901:1993[3], existen diferentes dimensiones que involucran el perfil básico de una rosca trapezoidal, tal como se ve en la Tabla 1.

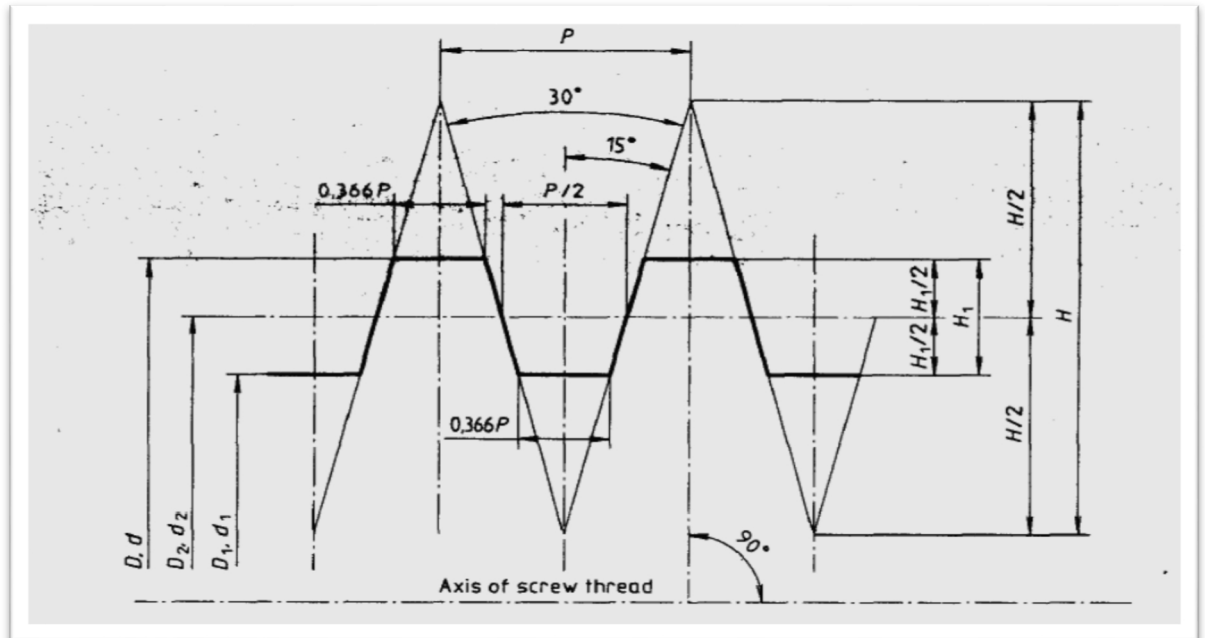
Tabla 1. Nomenclatura para las medidas de una rosca con perfil trapezoidal

<i>Símbolo</i>	<i>Denominación</i>
D	Diámetro mayor de la rosca interna
d	Diámetro nominal o diámetro de la rosca externa.
D_2	Diámetro de paso de la rosca interna
d_2	Diámetro de paso de la rosca externa.
D_1	Diámetro menor de la rosca interna.
d_1	Diámetro menor de la rosca externa.
P	Paso.
H	Altura fundamental del triángulo.
H_1	Altura básica de perfil.
a_c	Aclaramiento de la cresta.[3]
H_4	Altura de roscas internas.
h_3	Altura de roscas externas. [7]
A	Ancho de perfil en cresta

Fuente: [3]

A su vez, en la Figura 2 se muestra el perfil de una rosca trapezoidal con sus respectivas dimensiones.

Figura 2. Perfil básico de una rosca externa trapezoidal



Fuente:[3]

Las ecuaciones que definen el cálculo de una rosca de perfil trapezoidal, se encuentran a continuación:

$$H_1 = 0.5 * P \quad (2 - 1)$$

$$H_4 = H_1 + a = 0.5 * P + a \quad (2 - 2)$$

$$h_3 = H_1 + a = 0.5 * P + a \quad (2 - 3)$$

$$z = 0.25 * p = H_1/2 \quad (2 - 4)$$

$$D_1 = d - 2 * H_1 = d - P \quad (2 - 5)$$

$$D_4 = d + 2 * a \quad (2 - 6)$$

$$d_3 = d - 2 * h_3 \quad (2 - 7)$$

$$d_2 = D_2 = d - 2 * z = d - 0.5 * P \quad (2 - 8)$$

$$R_1 m = 0.5 * a \quad (2 - 9)$$

$$R_2 m = a \quad (2 - 10)$$

$$A_d = 0.366 * P$$

(2 - 11)

Asimismo, se encuentran establecidas tablas que contiene las algunas de las dimensiones básicas para una rosca de perfil trapezoidal, estas medidas están dadas en milímetros, en la Tabla 2 se muestran las dimensiones básicas de una rosca de perfil trapezoidal:

Tabla 2. Dimensiones básicas del perfil

<i>P</i>	<i>ac</i>	<i>H4=h3</i>	<i>H1</i>	<i>R1</i> <i>máx.</i>	<i>R2</i> <i>máx.</i>
1,5	0,15	0,9	0,75	0,08	0,15
2	0,25	1,25	1	0,13	0,25
3	0,25	1,75	1,5	0,13	0,25
4	0,25	2,25	2	0,13	0,25
5	0,25	2,75	2,5	0,13	0,25

Fuente: [3]

En la Tabla 3 se encuentran establecidos los diámetros menores, de paso y mayor para roscas internas y externas, con un perfil trapezoidal.

Tabla 3. Tabla de dimensiones básicas

<i>Díámetro nominal.</i>			<i>Paso</i>	<i>Díámetro de paso</i>	<i>Díámetro mayor</i>	<i>Díámetro menor</i>	
<i>d</i>			<i>p</i>	<i>d2 = D2</i>	<i>D4</i>	<i>d3</i>	<i>D1</i>
<i>Columna 1</i>	<i>Columna 2</i>	<i>Columna 3</i>					
40			3	38,5	40,5	36,5	37
			7	36,5	41	32	33
			10	35	41	29	30
	42		3	40,5	42,5	38,5	39
			7	38,5	43	34	35
			10	37	43	31	32
44			3	42,5	44,5	40,5	41
			7	40,5	45	36	37
			10	38	45	31	32

Fuente: [3]

Para determinar la combinación diámetro-paso que posee un elemento roscado con este tipo de perfil trapezoidal, se debe de tener en cuenta la clasificación que se encuentra establecida en la norma ISO 2902:1977[4], la cual muestra en la

Tabla 4 las diversas combinaciones entre diámetro y paso estandarizadas para el perfil de rosca trapezoidal.

Tabla 4. Combinaciones diámetro - paso

Diámetros nominales			pasos										
col 1.	col 2.	col 3.	12	10	9	8	7	6	5	4	3	2	1,5
40				10			7				3		
	42			10			7				3		
44			12				7				3		

Fuente: [4]

2.1.3 Ajustes y tolerancias

Las holguras especifican el espacio vacío provisto para las tuercas y los tornillos para acomodar los recubrimientos y/o algún material extraño. Las tolerancias especifican los límites de errores de fabricación aceptables cuando las holguras son incluidas en la producción de tornillos y tuercas que se pretende que cumplan los perfiles y dimensiones estándares.[5]

Para garantizar que un conjunto tuerca-tornillo roscados con perfil trapezoidal posean par cinemático, se debe tener en cuenta una serie de ajustes y tolerancias establecidos por norma.

En la norma ISO 2904:1993[6], se fija la designación de cada una de las tolerancias aplicadas tal como se observa en la Tabla 5.

Tabla 5. Nomenclatura de tolerancias de roscas con perfil trapezoidal

Símbolo	Designación
<i>N</i>	Designación para grupo de roscado normal
<i>L</i>	Designación para grupo de roscado extenso
<i>T</i>	Tolerancia
<i>T</i> ₁	Tolerancia para el diámetro menor básico de la rosca interna
<i>T</i> ₂	Tolerancia para el diámetro de paso básico de la rosca interna

Fuente: [6]

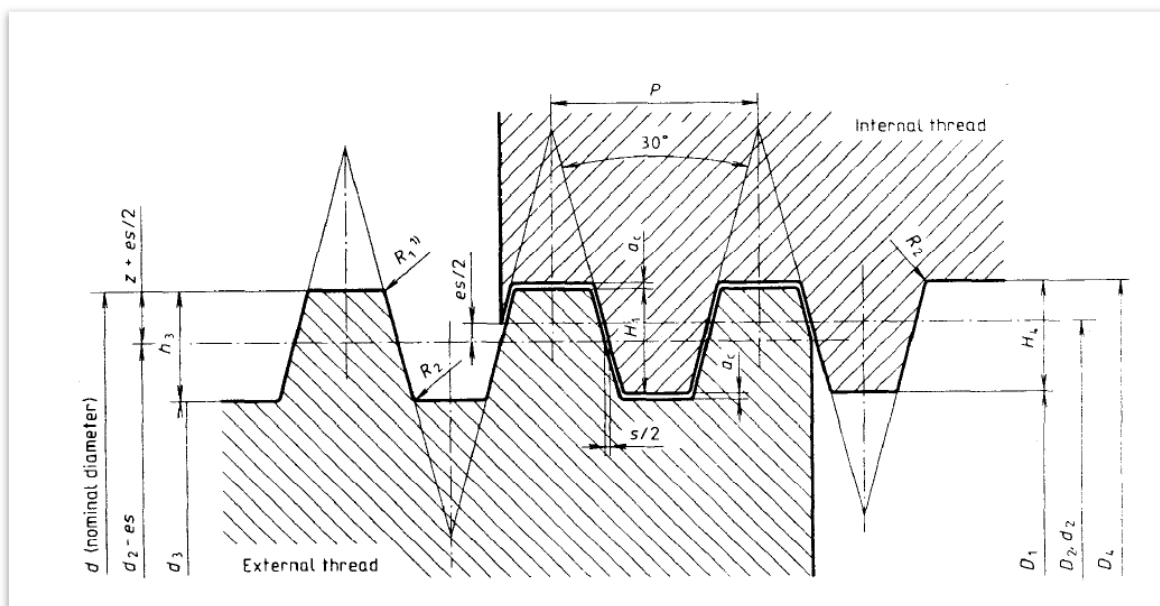
Continuación Tabla 5. Nomenclatura de tolerancias de roscas con perfil trapezoidal

T_d	Tolerancia para el diámetro nominal o mayor básico de la rosca externa
T_3	Tolerancia para el diámetro menor básico de la rosca externa
T_2	Tolerancia para el diámetro de paso básico de la rosca externa
ei, EI	Desviación fundamental para roscas internas
es, ES	Desviación fundamental para roscas externas

Fuente :[6]

Específicamente no se encuentra establecidas tolerancias para el D_4 diámetro mayor básico de la rosca interna, las demás tolerancias se encuentran dadas en micrómetros [6]. La Figura 3. muestra un perfil trapezoidal con aclaramiento en la cresta.

Figura 3. Perfil básico con aclaramiento en la cresta y desviación (es, ES)



Fuente:[3]

La norma ISO 2903:1993[6] expone diversos grados de tolerancia normalizados según sea el diámetro establecido, estos grados de tolerancia normalizados pueden ser vistos en la Tabla 6.

Tabla 6. Grados de tolerancia

GRADOS DE TOLERANCIA				
	grados de tolerancia			
Diámetro menor de la rosca interna (D1)		4		
Diámetro mayor de la rosca externa (d)		4		
Diámetro de paso de la rosca interna (D2)		7	8	9
Diámetro de paso de la rosca externa (d2)	-6	7	8	9
Diámetro menor de la rosca externa (d3)		7	8	9

Fuente: [6]

El grado de tolerancia 6 incluido en el diámetro de paso de la rosca externa d_2 se incluye únicamente para determinar los grados de tolerancia 7, 8 y 9.

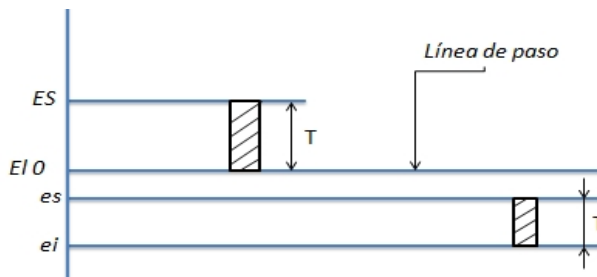
El grado de tolerancia para el diámetro menor de la rosca externa d_3 es siempre igual al diámetro de paso de la rosca externa d_2 .

Sin embargo los valores para T_{d3} y T_{d2} no son iguales debido a que [5]

$$T_3 = 1.25 * T_2 + 1 \text{ e } 1 \quad (2 - 12)$$

Además, se establecen las posiciones de tolerancia con respecto a la línea de paso como se observa en la Figura 4, ya sea rosca externa e interna se establece la posición de tolerancia.

Figura 4. Posición de tolerancia

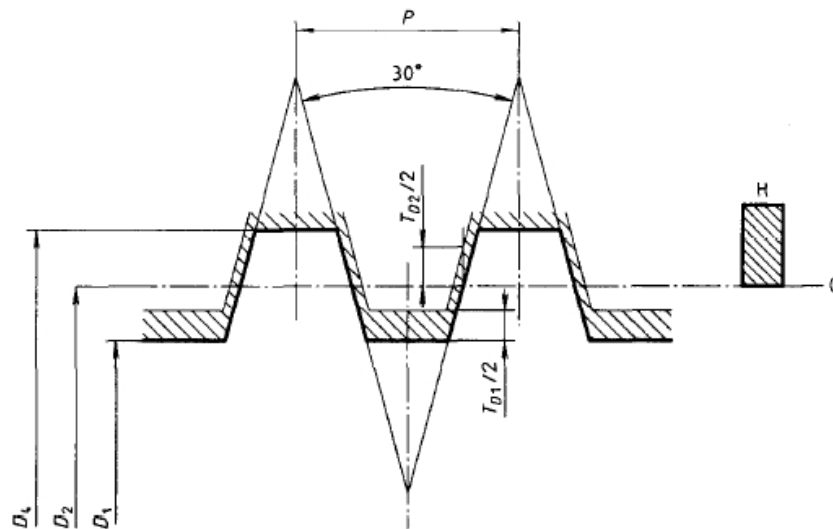


Fuente: [6]

Existen posiciones de tolerancia estandarizadas para el diámetro de paso, entre ellas encontramos:

- Para roscas internas: desviación fundamental H igual a cero, en la
- Figura 5 se muestra la posición de la desviación H

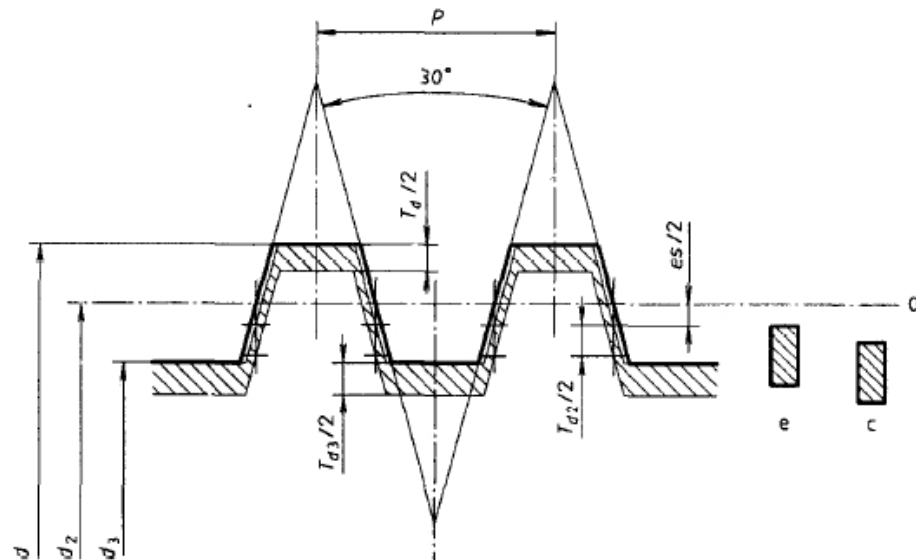
Figura 5. Roscas internas con posición de tolerancia H para el diámetro de paso



Fuente: [6]

- Para roscas externas e internas: desviación fundamental negativa c y e , la
- Figura 6 presenta las posiciones c y e para roscas externas

Figura 6. Posiciones c y e para diámetro de paso en roscas externas



Fuente : [6]

- La posición de tolerancia para el diámetro menor y el diámetro mayor de la rosca interna, es siempre *H*, *i.e.* con desviación fundamental cero.
- La posición de la tolerancia para el diámetro mayor y el diámetro menor de las roscas externas es siempre *h*, *i.e.* con una desviación fundamental cero, y es independiente de la posición de tolerancia del diámetro de paso. [6]

En la norma ISO 2903:1993[6], se establecen normas generales para la selección de la calidad de la tolerancia, ya sean grupos de roscado normal o extenso.

- Normal (*N*): para usos típicos
- Extenso (*L*): se usa cuando existen problemas en la fabricación.

En caso tal que no se tenga certeza de que calidad de tolerancia se necesita, es recomendable utilizar el grupo N. [6]

La Tabla 7 expone clases de tolerancias, se recomienda aplicar por norma a roscas internas, en este caso se selecciona tolerancia 7H para un grupo de roscado normal debido a que la rosca a fabricar no posee una aplicación especial.

Tabla 7. Clases de tolerancias recomendadas para roscas internas

Calidad de tolerancia	Tolerancias para el diámetro de paso	
	<i>N</i>	<i>L</i>
<i>Medio</i>	7H	8H
<i>Alto</i>	8H	9H

Fuente:[6]

Igualmente, la Tabla 8 señala las clases de tolerancias recomendadas por norma para roscas externas, la cual fue seleccionada con grado 7e, para un grupo de roscado normal.

Tabla 8. Clases de tolerancias recomendadas para roscas externas

Calidad de tolerancia	Tolerancias para el diámetro de paso	
	<i>N</i>	<i>L</i>
<i>Medio</i>	7e	8e
<i>Alto</i>	8c	9c

Fuente:[6]

Para poder calcular las desviaciones fundamentales de roscas de perfil trapezoidal se pueden utilizar las siguientes formulas:

Para $E_H = 0$

$$e_c = -(1 + 1 * p) \text{ para pasos superiores e incluyendo 2.} \quad (2 - 13)$$

$$e_c = -5 + 94.12 * \sqrt{p} \text{ para pasos iguales a 3 y hasta 44.} \quad (2 - 14)$$

$$e_e = -(50 + 11 * p) \text{ para pasos superiores e incluyendo 3.} \quad (2 - 15)$$

$$e_e = -47.49 * \sqrt{p} \text{ para pasos iguales a 4 y hasta 44. [6]} \quad (2 - 16)$$

En la Tabla 9 se exponen valores de desviaciones fundamentales para roscas internas y externas estandarizados por la norma ISO 2903:1993.[6] los valores de desviacion estan dados en micrometros.

Tabla 9. Desviaciones fundamentales para roscas internas y externas

Pitch P	Nut thread	Bolt thread	
	D_2	d_2	
	H EI	c es	e es
mm	μm	μm	μm
1,5	0	-140	-67
2	0	-150	-71
3	0	-170	-85
4	0	-190	-95
5	0	-212	-106
6	0	-236	-118

Fuente: [6]

Así mismo en la norma ISO 2903:1993[6] podemos encontrar tablas para cada tolerancia establecida según sea el diámetro, en la Tabla 10 señala la tolerancia para el diámetro mayor en las roscas externas dada en micrómetros.

Tabla 10. Tolerancia para el diámetro mayor de la rosca externa (T_d)

Pitch P	Tolerance grade 4
mm	μm
1,5	150
2	180
3	236
4	300
5	335
6	375

Fuente: [6]

La tolerancia establecida por la norma para el diámetro de paso en las roscas externas dada en micrómetros puede apreciarse en la Tabla 11.

Tabla 11. Tolerancia para diámetro de paso en roscas externas (T_d)

Diámetro mayor básico		Paso	Grados de tolerancia			
<i>d</i>		<i>P</i>	6	7	8	9
después de	hasta e incluyendo					
mm	mm	mm	μm	μm	μm	μm
22,4	45	3	200	250	315	400
		5	236	300	375	475
		6	265	335	452	530
		7	280	355	450	560
		8	300	375	475	600
		10	315	400	500	630

Fuente : [6]

Además, podemos encontrar las ecuaciones relacionadas con algunas tolerancias para los diámetros que involucran las roscas externas e internas y que hacen referencia al cálculo de los valores que se encuentran en las tablas de tolerancias.

$$T_{D1} = 0.63(230 * P^{0.7}) \quad (2 - 17)$$

$$T_d = 0.63(180 * \sqrt[3]{P^2} - \frac{3.15}{\sqrt{P}}) \quad (2 - 18)$$

$$T_{d2}(6) = 90 * P^{0.4} * d^{0.1} \quad (2 - 19)$$

$$T_{d2}(7) = 1.25 * T_{d2}(6) \quad (2 - 20)$$

$$T_{d2}(8) = 1.6 * T_{d2}(6) \quad (2 - 21)$$

$$T_{d2}(9) = 2 * T_{d2}(6) \quad (2 - 22)$$

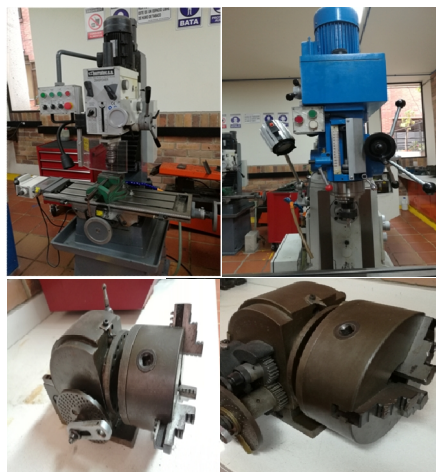
2.2 TALLADO DE ROSCAS POR FRESADO

Una Fresadora es una máquina herramienta utilizada para realizar mecanizado por arranque de viruta mediante el movimiento de una herramienta rotativa de varios filos de corte denominada fresa, en las fresadoras tradicionales, la herramienta o fresa gira en una posición fija y el desbastado se realiza acercando la pieza a la herramienta.

Dado la variedad de mecanizados que se pueden realizar con una fresadora, en sus diferentes modelos y potencias, es una máquina herramienta muy versátil y que requiere de un manejo muy especial por parte de los operadores, requiriéndose para ello una capacitación muy especial, la fresadora se emplea para realizar trabajos en superficies planas o perfiles irregulares, pudiendo también utilizarse para tallar engranajes y roscas, taladrar y mandrilar agujeros, ranuras chaveteros y graduar con precisión medidas regularmente espaciadas.[7]

El fresado de roscas permite mecanizar materiales de mayor dureza y desarrollar velocidades de corte y avance muy superiores al roscado con macho, también puede realizar varias operaciones en los orificios, como taladrar un orificio, hacerle un chaflán, mecanizar la rosca y ranurar el final de la misma, puede hacer que la rosca llegue más cerca del fondo de un orificio ciego, e incluso roscar agujeros de diferentes dimensiones en la misma pieza[8]. Este tipo de operaciones requiere de fresadoras especiales capaces de realizar interpolación helicoidal en 3 ejes; En el caso de que la máquina fresadora que se utiliza no posea este tipo de características se emplea un dispositivo que ayudan en el tallado de roscas en la máquina fresadora, este se conoce como plato divisor, pero el plato divisor por sí solo no posibilita el tallado de roscas por fresado, generalmente es necesario hacer el montaje de un tren de engranajes, que sincronice el movimiento de avance lineal de la mesa de la fresadora con el movimiento rotacional del plato divisor. Debe existir un movimiento coordinado de varios ejes simultáneamente, también denominado interpolación, en la Figura 7 se pueden apreciar dos máquinas fresadoras y platos divisores utilizados para el roscado.

Figura 7. Fresadoras y platos divisores



Fuente: Taller de máquinas de la Universidad Santo Tomás.

El plato divisor es un accesorio típico de las fresadoras convencionales y es empleada en los siguientes casos:

- Sustener la pieza durante todo el tipo de la operación de mecanizado
- Permitir realizar un determinado número de fresados equiangulares alrededor de una circunferencia.

El plato divisor consta esencialmente un cuerpo que se fija a la mesa de la máquina fresadora, este cuerpo sirve como cuna a un segundo cuerpo el cual puede orientarse de manera en que se pueda situar la pieza según un eje inclinado respecto al plano de la pieza, este dispositivo cuenta con un juego de engranajes que funciona para variar el giro del plato divisor.[9]

Este dispositivo es montado en la mesa de la máquina fresadora y se acopla a la máquina con el fin de producir un movimiento giratorio en consecuencia con el avance longitudinal de la mesa, el plato divisor posee un plato graduado con el cual se puede llegar a variar el Angulo, además en su interior posee una configuración de engranes con los cuales se puede graduar el movimiento.

Una de las ventajas del plato divisor es que facilita el mecanizado de ranuras en un gran rango de ángulos, debido a que se puede girar como se desee. Las desventajas de los platos divisores radican en que son dispositivos muy delicados, no se permite que reciban golpes, además que para su óptimo funcionamiento este dispositivo debe de encontrarse siempre limpio y lubricado.

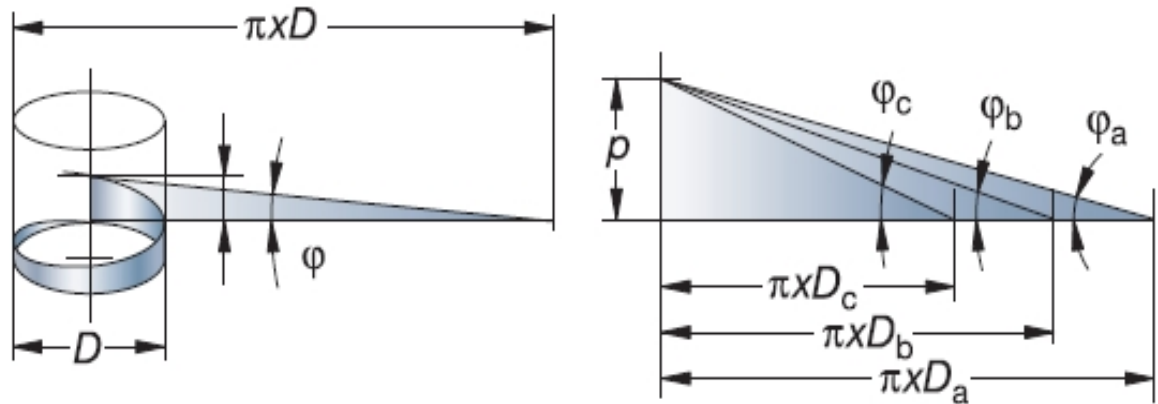
2.2.1 Cinemática del proceso de roscado

El ángulo helicoidal (ϕ) representa el perfil geométrico de la rosca, y está basado en el diámetro de paso de la rosca tanto interna como externa (D_2, d_2) y el paso (P) es la distancia desde cualquier punto del perfil de a rosca al siguiente punto equivalente.

Esta medida se puede representar ante un triángulo que resulta del desarrollo del hilo en una vuelta, un mismo paso da lugar a distintos ángulos helicoidales para diámetros distintos.[10]

En la Figura 8 se observa como un mismo paso puede ser utilizado para una serie de diámetros diferentes, así como también el ángulo helicoidal (ϕ) cambia dependiendo de la geometría que tenga el perfil de la rosca.

Figura 8. Triangulo de hélice



Fuente : [10]

La cinemática de una rosca helicoidal está basada en un movimiento en rotación descrito por un giro de hélice en dos planos, y a su vez un avance continuo a lo largo de un eje, la velocidad en cualquier punto del helicoides se define por la ecuación (2 - 23):

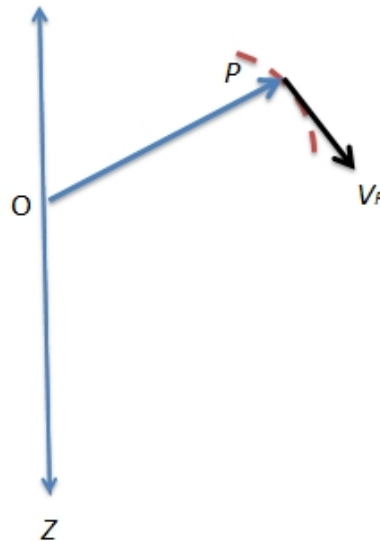
$$V_p = V_1 + V_2 \quad (2 - 23)$$

$$V_1 = V_o \quad (2 - 24)$$

$$V_2 = w * O \quad (2 - 25)$$

Donde V_1 es igual a un movimiento de traslación con velocidad igual a la de cualquier partícula O de la helicoides a la cual se le llamara *velocidad de deslizamiento* y el segundo corresponde a un *movimiento de rotación* alrededor de un eje instantáneo y cuya velocidad angular w en ese instante coincide con la dirección de dicho eje, en la Figura 9 se aprecia en vector V_p resultante del movimiento de rotación del vector O .[11]

Figura 9. Movimiento de rotación sobre un eje central



Fuente: [11]

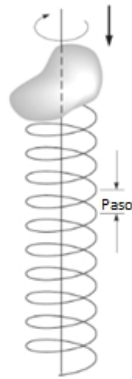
El vector w es independiente del punto O elegido y a su vez es una invariante del movimiento.

La existencia de un eje central, que para el sólido será el eje instantáneo de rotación y de deslizamiento. Por ser $w * v = c_1$, la velocidad mínima será paralela a w . Ahora si $w * v \neq 0$, la velocidad mínima no es nula y el eje central desliza en la dirección de w y en el mismo sentido o en el contrario según que $w * v$ sea positivo a negativo. En cada instante el movimiento del sólido es helicoidal, deslizando a lo largo del eje y girando a su alrededor.[11]

Se le llama paso a la distancia entre dos puntos homólogos de dos espiras consecutivas; y equivale al avance del punto a lo largo del eje al dar una vuelta completa.

Si el movimiento de rotación y el de deslizamiento a lo largo del eje son uniformes, el movimiento helicoidal es de paso constante como se aprecia en la Figura 10. [11]

Figura 10. Movimiento helicoidal de paso constante

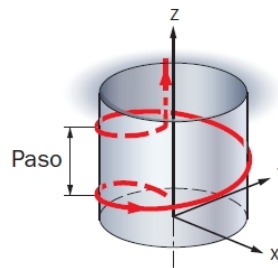


Fuente:[11]

Para el proceso de roscado en el centro de mecanizado vertical se realizarán movimientos en los ejes X-Y-Z.

El fresado de roscas requiere que la máquina herramienta tenga capacidad de movimiento simultaneo en los ejes X, Y y Z. Como se ve en la Figura 11, el movimiento giratorio que se genera en los ejes X y Y es combinado con un avance longitudinal en el eje Z, el diámetro de la rosca viene determinado por los ejes X e Y, mientras que el eje Z controla el paso. [10]

Figura 11. Cinemática del proceso



Fuente: [10]

El inicio de mecanizado de la herramienta en el eje Z y el sentido de giro en cuanto a la interpolación en los ejes X, Y, se encuentra limitado por el sentido de rosca que se desee ya sea mano derecha o mano izquierda, además se debe tener en cuenta el tipo de mecanizado concordante o discordante.

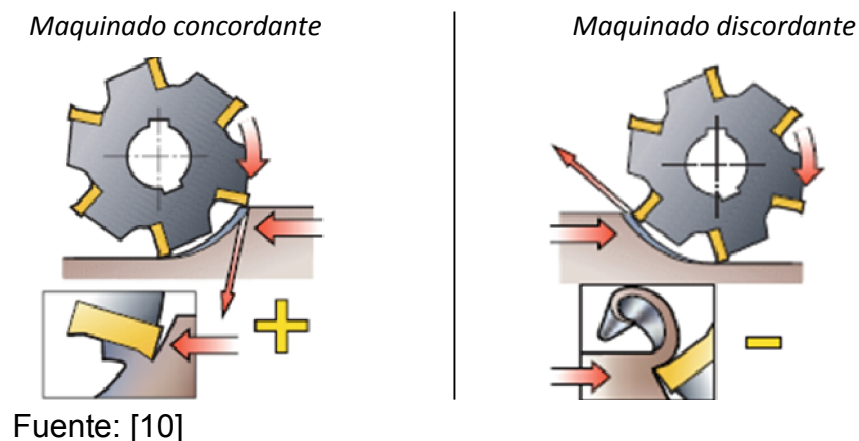
2.2.2 Maquinado concordante y discordante

Existen dos tipos de maquinado, concordante y discordante o en oposición, y dependiendo del tipo de maquinado tanto la herramienta como el material sufrirán desgaste, es por esta razón que se debe de tener en cuenta el tipo de maquinado para evitar problemas en el proceso y la correcta evacuación de la viruta.

- *Maquinado concordante:* En el fresado en concordancia la viruta es arrancada desde la parte alta con un espesor h_m [10], es decir, el maquinado de material se hace desde el mayor espesor hasta el menor espesor del material este movimiento concordante favorece la generación de viruta y a su vez ayuda a cuidar los filos de la herramienta de corte.
- *Maquinado discordante:* también conocido como maquinado en oposición, trabajando en discordancia la viruta se empieza a arrancar desde la base con espesor inicial mínimo; se tiene por ello una compresión inicial antes de que el diente pueda iniciar el corte: y ello puede endurecer (acritud) la superficie de la pieza.[10]

En la Figura 12 se observa con más detalle como los mecanizados concordante y discordante realizan incidencia en el material, a su vez como se realiza el desprendimiento de viruta siendo el mecanizado concordante más eficiente que el mecanizado a oposición o discordante.

Figura 12. Maquinado concordante frente a maquinado discordante



Fuente: [10]

2.2.3 Sentido de giro de roscado aplicando maquinado concordante y discordante

- *Roscas internas a mano derecha*

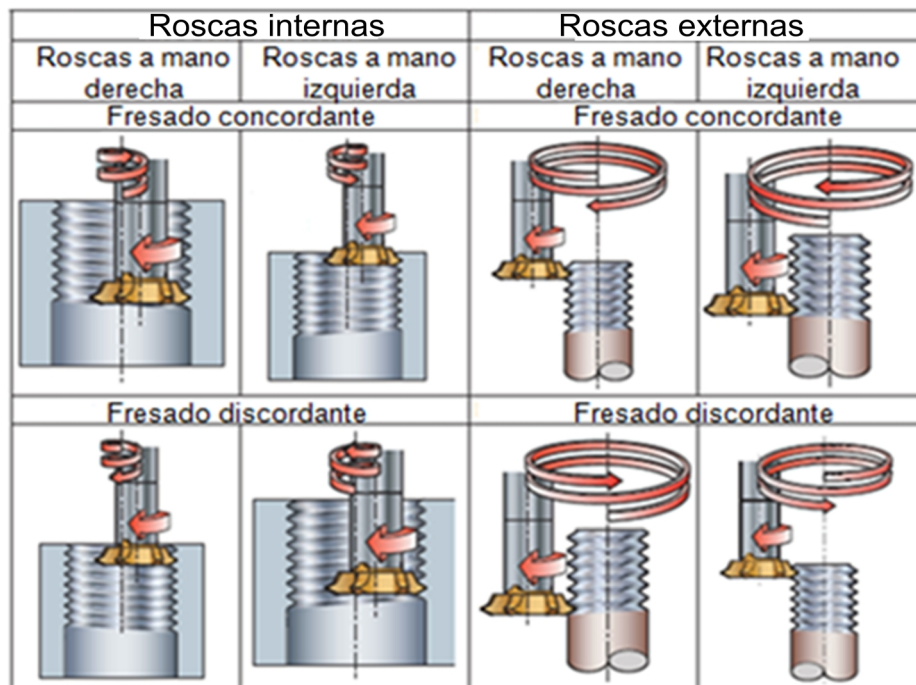
La fresa se coloca inicialmente tan cerca del fondo del agujero cómo es posible, y a continuación se desplazan en sentido anti horario en dirección ascendente para conseguir que el fresado sea concordante.[10]

➤ *Roscas internas a mano izquierda*

El fresado de una rosca a izquierda sigue la dirección opuesta, de arriba hacia abajo, también con una trayectoria antihoraria para conseguir que el fresado sea concordante.[10]

En la Figura 13 se aprecia con detalle la manera adecuada de realizar un roscado por fresado haciendo uso del mecanizado concordante, para que esto se cumpla se debe analizar la posición de la herramienta con respecto a la materia prima ya que siempre debe iniciar de mayor a menor.

Figura 13. Tipo de mecanizado para rosca izquierda y derecha



Fuente: [10]

2.3 HERRAMIENTAS MONOCORTE

La herramienta elemental simple monocorte deriva de la escarpa también conocido como formón, de la cual conserva la forma y así es utilizada en varias máquinas-herramienta: tornos, limadoras, cepilladoras, mortajadoras, por ejemplo. su estudio es muy importante ya que la mayor parte de los problemas del corte dependen principalmente de sus características; por otra parte, una vez visto su

funcionamiento es posible comprender también el de los demás tipos de herramientas derivados de la misma, ya sean bicortes (por ejemplo, brocas helicoidales) o multicortes (por ejemplo, fresas), en la Figura 14 se observa una escarpa moderna.

Figura 14. Escarpa Stanley serie 5000 para madera

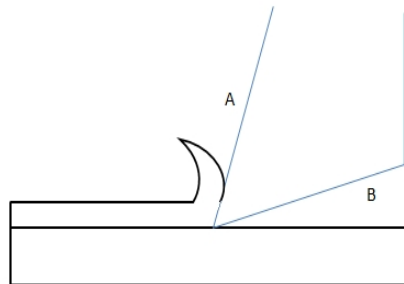


Fuente:[12]

La herramienta elemental o escarpa, está constituida por dos caras planas, que se cortan según una arista o filo de corte, y está limitada por otras dos caras laterales oportunamente dispuestas, que no tienen una relación directa con el corte pero que sirven para definir la herramienta. [13]

En la Figura 15 la línea azul representa la geometría de un filo de una herramienta monocorte, además los lados que forman el filo de la herramienta, el lado **A** hace referencia a la cara de desprendimiento y el lado **B** hace referencia a la cara de incidencia.

Figura 15. Perfil de filo de una herramienta monocorte



Fuente: [13]

2.3.1 Ángulos principales de corte

Una herramienta monocorte posee ángulos especiales formados por los planos tangentes a las superficies A y B, estos ángulos son aplicados en el diseño de los filos de corte de la herramienta a continuación veremos dichos ángulos:

➤ *Angulo γ de desprendimiento:*

Dicho Angulo, comprendido entre la cara de desprendimiento y la normal a la superficie de la pieza, influye notablemente en la formación de la viruta; en efecto, el arranque de viruta esta provocado por la acción combinada de la arista o filo

cortante y la cara de desprendimiento: principalmente es esta la que determina la deformación plástica del material provocando la separación de la viruta en correspondencia con el filo de corte.

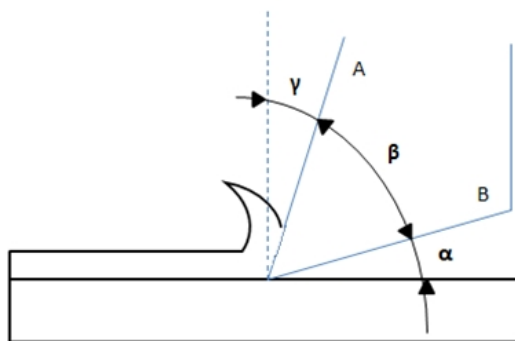
Hay que considerar también, al elegir el valor del Angulo de desprendimiento, el tipo de viruta que se forma se pueden, en efecto, producir virutas fluyentes o continuas que se separan formando una especie de cinta continua, replegándose en forma de hélice; o viruta troceada (discontinua) que se separa de la pieza en forma de pequeños segmentos que saltan al contacto con la cara de desprendimiento. Los materiales tenaces (acero dulce, aluminio, aleaciones ligeras, etc.) desprenden virutas continuas ya que el material es suficientemente dúctil como para no romperse durante la deformación. [13]

➤ *Angulo de incidencia α :*

Es el ángulo que se crea entre la parte posterior de la herramienta y la tangente que se forma con el material, este ángulo tiene la tarea de evitar que la herramienta se estrellé en el talón de la herramienta y la materia prima. [13]

Los valores del ángulo de incidencia deben ser muy bajos, con el objetivo de no disminuir el ángulo de desprendimiento γ , En la Figura 16 se puede apreciar los ángulos de desprendimiento e incidencia formados por los filos de corte, estos ángulos son tangentes a las superficies A y B, igualmente se puede apreciar la línea punteada que representa la normal a la superficie de la materia prima.

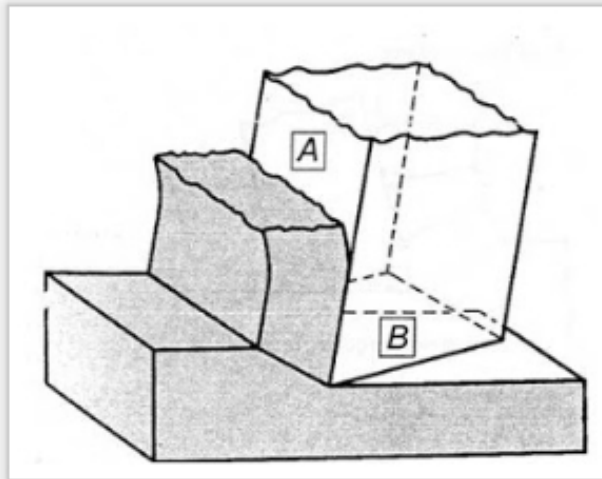
Figura 16. Ángulos de corte de una herramienta monocorte



Fuente: [13]

En la Figura 17 se aprecia mejor la incidencia que tiene la herramienta de corte en la materia prima.

Figura 17. Incidencia de la herramienta monocorte en la materia prima



Fuente: [14]

En la Tabla 12 se encuentran los valores establecidos para los ángulos de desprendimiento e incidencia según sea el material a mecanizar, y el material con el cual va a ser fabricada la herramienta de corte, en este caso se seleccionan los ángulos de corte para mecanizar aleaciones de aluminio con herramientas de acero rápido.

Tabla 12. Ángulos de corte para herramientas monocorte

MATERIALES	Herramientas de acero rápido		Herramientas de aleación extradura o de carburo de tungsteno	
	Angulo de desprendimiento	Angulo de incidencia	Angulo de desprendimiento	Angulo de incidencia
Aleaciones de aluminio	15 --- 20°	10 ---12°	10 --- 15°	10 --- 12°
Latón	0 --- 10°	6 --- 8°	5 --- 15°	5 --- 8°
Bronce de mediana dureza	0 --- 5°	10 --- 12°	0 --- 6°	5 --- 8°
Bronce fosforoso	5 --- 10°	10 --- 12°	---	---
Fundición	0 --- 10°	8°	0 --- 6°	6 --- 7°
Cobre	15 --- 18°	10 --- 12°	15 --- 20°	6 --- 8°
Magnesio	30 --- 40°	12 --- 14°	8 --- 10°	8°

Fuente: [13]

Continuación Tabla 12. Ángulos de corte para herramientas monocorte

<i>Metal monel</i>		8 --- 10°	8 --- 10°	5 --- 10°	6 --- 8°
<i>Níquel</i>		8°	10°	---	---
<i>Materias plásticas</i>		10 --- 15°	10 --- 12°	20 --- 25°	10 --- 12°
<i>Baquelita</i>		0°	8°	---	---
<i>Acero s</i>	<i>hasta 0,30% C</i>	15 --- 20°	8 --- 10°	10 --- 14°	5 --- 6°
	<i>de 0,30 A 0,45% C</i>	12 --- 15°	8 --- 10°	8 --- 12°	6 --- 8°
	<i>hasta 0,90% C</i>	2 --- 8°	8 --- 10°	4 --- 6°	6 --- 8°
	<i>tratados</i>	6°	8°	4°	6 --- 8°
	<i>inoxidable s</i>	5 --- 12°	8°	8 --- 12°	8°

Fuente: [13]

2.4 PROGRAMACIÓN PARAMÉTRICA

Este tipo de programación es utilizada para parametrizar procesos, es decir, cuando se tiene un proceso caracterizado es posible determinar la trayectoria de las herramientas mediante arreglos matemáticos e ingresando unas variables iniciales, el centro de mecanizado a través de la macro calcula las coordenadas, esto evitando que el operario de la máquina tenga que escribir el código línea a línea y se pierda tiempo.

La programación paramétrica involucra una serie de numerales que dependiendo del valor con el cual este acompañado determinara el tipo de orden que debe realizar, además se pueden generar ciclos, saltos y comparaciones.

- *Variables:* Dentro de la programación con macros se puede encontrar una serie de variables, tanto matemáticas como variables que pueden ser ingresadas directamente por el usuario, en las siguientes tablas se aprecian las diferentes variables que posee la programación con macros, la Tabla 13 muestra el rango de las variables FANUC.

Tabla 13. Rango de variables Fanuc

Rango de las variables Fanuc.		
#0	Nulo	no se puede asignar valores
#1 - #33	variables locales	variables temporales

Fuente : [15]

Continuación Tabla 13. Rango de variables Fanuc

#100 - #199	variables comunes	Este tipo de variables se vuelven nulas si la máquina llega a ser apagada.
#500 - #999		este tipo de variables son recordadas por la máquina aun después de apagada
#1000 +	variables de sistema	nunca deben ser modificadas sin orientación profesional ya que modifican los parámetros de fábrica de la máquina

Fuente : [15]

En la Tabla 14 se puede apreciar las variables utilizadas en programación FANUC para poder realizar operaciones matemáticas.

Tabla 14. Variables matemáticas en programación con macros

variable	descripción
#5xx= #5xx	VALOR FIJO
#5xx= #5xx+#5xx	SUMA
#5xx= #5xx-#5xx	RESTA
#5xx= #5xx*#5xx	MULTIPLICACIÓN
#5xx= #5xx/#5xx	DIVISIÓN
#5xx= ABS [#5xx]	VALOR ABSOLUTO
#5xx= MOD [#5xx]	MODULO: VALOR DEL RESIDUO DE UNA DIVISIÓN
#5xx= FIX [#5xx]	REDONDEA A LA PARTE SUPERIOR DE UN NUMERO
#5xx= FUP [#5xx]	REDONDEA A LA INFERIOR DE UN NUMERO
#5xx= ROUND [#5xx]	REDONDEA EL VALOR A VALOR ENTERO
#5xx= SQRT [#5xx]	RAÍZ
#5xx= LN [#5xx]	LOGARITMO NATURAL
#5xx= EXP [#xx]	EXPONENCIAL
#5xx= SIN [#5xx]	SENO
#5xx= COS [#5xx]	COSENO
#5xx= TAN [#5xx]	TANGENTE
#5xx= ASIN [#5xx]	ARCO SENO
#5xx= ACOS [#5xx]	ARCO COSENO
#5xx= ATAN [#5xx]	ARCO TANGENTE

Fuente: [15]

➤ *ciclos*

Un ciclo es un condicional que se crea para que se repita una cierta cantidad de veces una misma orden este ciclo se finaliza una vez que el condicional se cumpla, los ciclos sirven en gran medida ya que mediante el uso de ciclos se puede disminuir la cantidad de líneas que se deben de escribir en un código.

➤ *Salto y comparaciones*

1. **GOTO**. Salto incondicional. N060 (**GOTO** N150) ---> Saltar incondicionalmente al bloque número 150.
2. **EQ**: Comparación de igualdad. N060(IF (#200 **EQ** #111) GOTO N1000) ---> Si el valor cargado en el parámetro #200 **es igual** al valor cargado en el parámetro #111, salta a la línea N1000.
3. **IF**: Es una variable que se utiliza para realizar comparaciones. Dependiendo del resultado de la comparación, el programa puede saltar al número de bloque que se desee, o, por el contrario, puede continuar su ejecución normal.
4. N150 (**IF** (#102 EQ #135) GOTO N1410) --> Si el valor que hay cargado en el parámetro #102 es igual al valor cargado en el parámetro #135, salta a la línea N1410. Si no se cumple esa condición, el control continúa leyendo.
5. **RPT**: Repite una serie de bloques. N100 (**RPT** N20, N50) N5 ----> Repetir las líneas de la 20 a la línea 50 cinco veces seguidas, también se pueden indicar los números de líneas y las veces de repetición mediante parámetros. N100 (**RPT** N (#111), N (#102)) N (#110).
6. **ELSE**: Es un segundo salto incondicional cuando el primero no se ha cumplido. N020 (IF (#140 NE #150) GOTO N350 **ELSE** GOTO N120) ---> Si el valor que hay cargado en el parámetro #140 **no es igual al que** está cargado en el #150 salta a la línea N350, pero si no se cumple esta condición, es decir, si son iguales, entonces salta a la línea N120.
7. **LT**: Comparación de menor que "<". N100 (IF (#141 **LT** #121) GOTO N1100. ---> Si el valor cargado en el parámetro #141 **es menor que** el valor cargado en el parámetro #121, salta a la línea N1100.

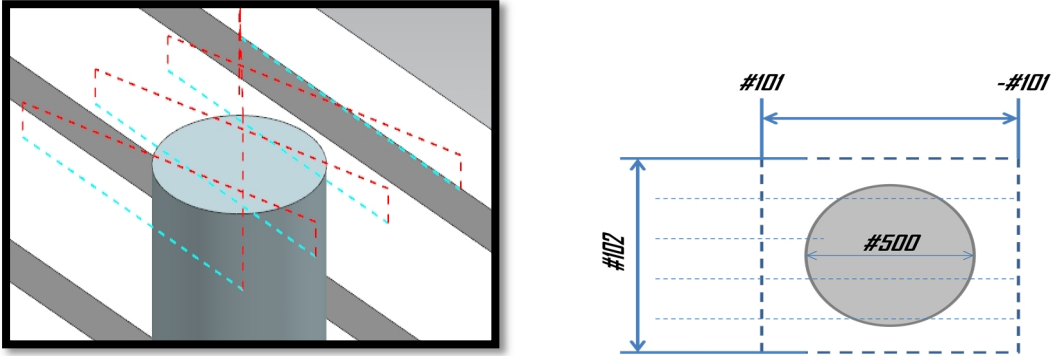
8. **GE**: Mayor o igual que ">=". N200 (IF (#120 **GE** #101) GOTO N1005). ----> Si el valor cargado en el parámetro #120 **es mayor o igual que** el valor cargado en el parámetro #101, salta a la línea N1005.
9. **GT**: mayor que ">". N200 (IF (#100 **GT** #120) GOTO N500). ----> Si el valor cargado en el parámetro #100 **es mayor que** el valor cargado en el parámetro #120 salta a la línea N500.
10. **NE**: ¡No es igual "! =". N200 (IF (#100 **NE** #120) GOTO N500) ----> Si el valor cargado en el parámetro #100 **no es igual que** el valor cargado en el parámetro #120 salta a la línea N500.
11. **LE**: Menor o igual que. "<=". N200 (IF (#100 **LE** #120) GOTO N500) ----> Si el valor cargado en el parámetro #100 **es menor o igual que** el valor cargado en el parámetro #120 salta a la línea N500. [16]

➤ *Ejemplo de macro:*

En el siguiente ejemplo se tiene una macro para realizar un planeado, esta macro funciona con las dimensiones tanto de la materia prima como de la herramienta y dependiendo de los valores ingresados puede calcular la trayectoria que debe de tener la herramienta para poder realizar la operación, esta macro funciona para cualquier tamaño de material dependiendo de la capacidad de la máquina y del tipo de sujeción se tenga.

En la Tabla 15 se proporciona un ejemplo de programación con macros haciendo uso de variables, saltos y condicionales.

Tabla 15. Ejemplo de programación con macros

	
(MACRO OPERACIÓN PLANEADO);	<i>Título de la macro</i>
(#500= DIÁMETRO DE LA MATERIA PRIMA);	<i>El diámetro de la materia prima se necesita ya que a partir de este dato se calculan las trayectorias</i>
#500= 70;	<i>Recomendación: es importante saber con certeza el diámetro de la materia prima para evitar que la herramienta realice pasadas innecesarias</i>
(#501= DIÁMETRO DE LA HTA);	<i>Nota: Esta información es suministrada por el proveedor de herramientas de corte</i>
#501= 50;	<i>Ingreso del valor del diámetro de la herramienta</i>
(OPERACIONES MATEMÁTICAS);	<i>Calculo de operaciones matemáticas</i>
#100=#500/2;	<i>Calculo del radio de la materia prima</i>
#101=#100+#501/2+10;	<i>Calculo de primera posición en X de la herramienta añadiendo una distancia de más para que sea suficiente el recorrido de la herramienta</i>
#102=#100-#500/4;	<i>Calculo de la primera posición en Y de la herramienta</i>
#103= [#501*3]/4;	<i>Calculo del valor de 3/4 del diámetro de la herramienta debido a que en este tipo de operación se realiza solo con 3/4 del diámetro de la herramienta</i>
(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);	<i>Ejecución del problema a solucionar</i>

Fuente: Autor.

Continuación

Tabla 15. Ejemplo de programación con macros

G80 G40 G94 G17 G54;	<i>Bloque inicial selección de plano X-Z</i>
G91 G28 Z0;	<i>Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales</i>
G28 X0 Y0;	<i>Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales</i>
M6 T03;	<i>Llamado de herramienta</i>
M3 S2000;	<i>Encender husillo</i>
M8;	<i>Encender refrigerante</i>
G90 G00 X0 Y0;	<i>Posicionamiento rápido ejes X-Y</i>
G00 G43 Z20 H03;	<i>Altura previa de la herramienta</i>
N5 G00 X-#101 Y#102;	<i>Inicio de ciclo, posicionamiento rápido en X primera posición negativa y Y primera posición</i>
G00 Z0;	<i>Posicionamiento rápido en Z</i>
G01 X#101 F640;	<i>Interpolación lineal hasta X primera posición, avance de la herramienta</i>
G00 Z10;	<i>Posicionamiento rápido en Z</i>
#102=#102-#103;	<i>Redefine la variable #102, nueva posición en Y</i>
IF [#100 GT-#102]GOTO5;	<i>Condicional de ciclo para finalizar operación, mientras que el #100 sea mayor que - #102, ir a inicio de ciclo, de lo contrario continuar</i>
G00 X0 Y0;	<i>Posicionamiento rápido en X - Y</i>
M9;	<i>Apagar husillo</i>
M5;	<i>Apagar refrigerante</i>
M30;	<i>Finalizar programa.</i>

Fuente: Autor.

2.5 MÁQUINAS HERRAMIENTAS VIRTUALES

Los procesos de simulación en máquinas virtuales permiten a los programadores y operarios, visualizar el proceso de mecanizado, verificar el código NC y detectar posibles colisiones entre los componentes del conjunto máquina-herramienta: elementos de sujeción, herramientas y el material en bruto, en la pantalla del computador, antes de ejecutar el proceso en la planta de producción.

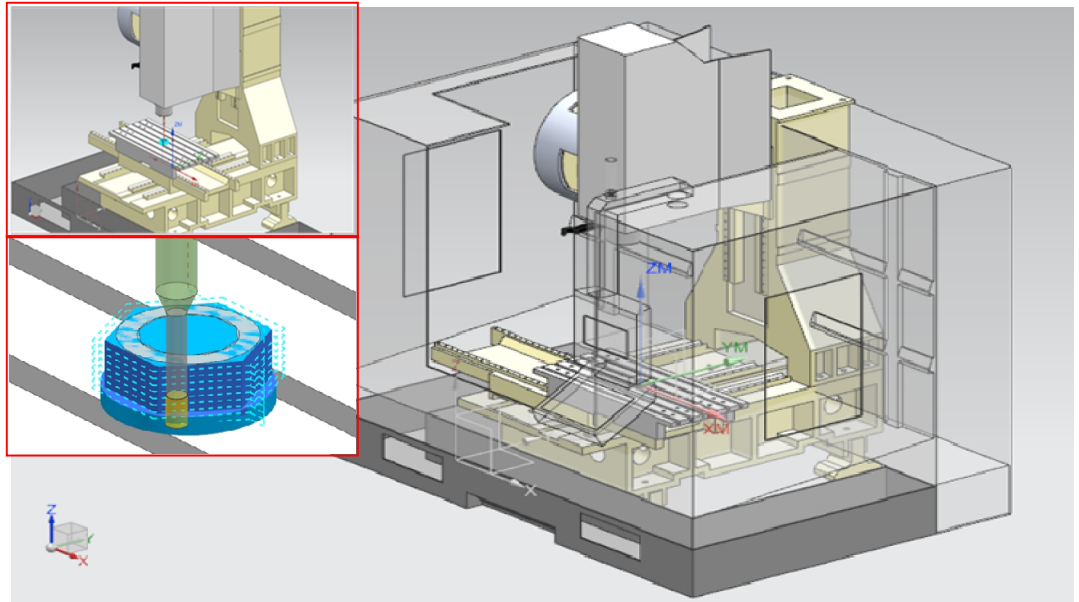
Las capacidades de las máquinas herramientas virtuales (VMT – Virtual Machine Tool) se ha expandido rápidamente en los últimos años, desde simples simulaciones de la trayectoria de la herramienta sobre la materia prima para verificación del código NC y la remoción del material, hasta complejas predicciones de vida de la herramienta, análisis de rugosidad de la superficie resultante, predicción de cargas en el proceso de maquinado, vibraciones y temperatura en la zona de corte[17].

Las máquinas herramientas virtuales son de vital importancia para trabajos que tengan que ver con fabricación, ya que con este tipo de herramientas, en este caso el centro de mecanizado virtual[18], se puede verificar las trayectorias que generan las herramientas de corte, además se pueden pulir los movimientos que va a realizar la máquina esto con el fin de disminuir tiempos y evitar que al momento de utilizar los códigos G en la máquina real se vaya a estrellar.

Gracias a que el centro de mecanizado vertical Finetech GTX-170 existente en la Universidad Santo Tomás, se encuentra como máquina herramienta virtual, es posible llegar a simular códigos y comprender mejor el funcionamiento que tiene el centro de mecanizado.

El centro de mecanizado vertical Finetech GTX-170 y la máquina virtual [18] son muy similares pero existen algunas diferencias en cuanto a utilización de códigos G, es por esto que se debe realizar igualmente una prueba en vacío y desfasada en alguno de los ejes del centro de mecanizado real preferiblemente el eje Z, para evitar cualquier tipo de error, el centro de mecanizado virtual se puede observar en la Figura 18, al igual que una pequeña simulación de un proceso que normalmente no se realiza en este tipo de máquinas.

Figura 18. Centro de mecanizado virtual



Fuente: Autor

3. DISEÑO Y FABRICACIÓN DE HERRAMIENTA DE CORTE

Se realiza el diseño de una herramienta capaz de realizar roscado helicoidal, e igualmente se desarrolló su proceso de fabricación como se verá a continuación:

3.1 MATERIAL DE LA HERRAMIENTA: ACERO O1

El acero O1 se conoce como acero para herramientas, al menos en el Reino Unido. Tiene forma de barras redondas similares a las varillas de perforación. La palabra plata se refiere al color del metal, no a su composición. Este metal en realidad está compuesto de carbón, manganeso, cromo, sílice, fósforo y sulfuro.[19]

El acero O1 también conocido como ARNE, DF2 o AISI 01, es un acero rectificado, debe su brillantez a un acabado de pulido que se le practica a este tipo de material, este acero se clasifica en un grupo especial de aceros que pueden ser utilizados para realizar trabajos sin aceites de corte o refrigerantes, este acero posee características ideales para herramientas de precisión, el acero plata se entrega al mercado con un tratamiento térmico bajo de recocido. [20]

3.1.1 Aplicaciones

El acero O1 es altamente utilizado en la concepción de herramientas de corte en frío, punzones, vástagos, fresas, herramientas de perforación, llaves, inclusive muchas veces es utilizado para la fabricación de herramental quirúrgico, clavijas, sierras para corte de metales, cinceles para el tallado de madera, entre otros.[21]

En la Tabla 16 se especifica el tipo de herramientas en las cuales el acero O1 puede ser utilizado, dependiendo del tratamiento térmico que se le practique a la herramienta fabricada en este tipo de material.

Tabla 16. Aplicaciones del acero O1

Aplicaciones del acero O1		
Herramientas para:	Espesor del material	HRC
Corte: cizallado, punzonado, troquelado, desbastado, tronzado.	hasta 3mm	60-62
	3-6mm	54-60
	6-10mm	54-56
Cizallas para trabajar en frío. Herramientas de tronzado y desbarbado para piezas de forja.		54-60
		58-60

Fuente: [21]

Continuación tabla 16. Aplicaciones del acero O1

Conformado: doblar, acuñado, embutición profunda, repujado y conformado por estriado. Troqueles pequeños de acuñar en frío, expulsos, brocas y machos de roscar de tamaño pequeño y mediano.	
	56-62
	56-60

Fuente : [21]

3.1.2 Composición química

Existen dos tipos de composición química para el acero plata O1, estas composiciones químicas varían según la denominación del acero plata.

En la Tabla 17 se aprecia la composición química del acero plata según su denominación, esta variación más que todo se hace significativa en el porcentaje de sílice que contenga el material.

Tabla 17. Composición química acero O1

Análisis típico %						
	<i>C</i>	<i>Si</i>	<i>Mn</i>	<i>Cr</i>	<i>W</i>	<i>V</i>
<i>ASSAB DF2</i>	0,9	-----	1,2	0,5	0,5	0,1
<i>AISI/SAE 01</i>	0,85-0,95	0,20-0,40	1,00-1,30	0,40-0,60	0,40-0,60	0,2

Fuente: [21]

3.1.3 Tratamiento térmico

El acero O1 recocido tiene una dureza de 27 en la escala de dureza Rockwell utilizando varios procesos de tratamiento del metal, esta aleación es capaz de endurecerse hasta 64 puntos de dicha escala. El proceso de endurecimiento utilizado para el acero O1 involucra el calentar el metal a temperaturas de 770 - 780 °C. El metal posteriormente se enfría o temple sumergiéndolo en agua. En algunos casos, se utiliza aceite en vez de agua, el método del aceite requiere altas temperaturas, y a partir de esta técnica, únicamente se pueden crear barras con diámetros pequeños.[19]

Para realizar tratamiento térmico al acero plata se debe de tener en cuenta los pasos para el proceso de tratamiento.

- *Recocido blando*: Se protege el acero y se calienta totalmente el material hasta unos 780 °C, luego se hace un enfriamiento en el horno con temperaturas de 15 °C/h hasta llegar a 650 °C y por último se deja enfriar libremente al aire libre.

- *Eliminación de tensiones:* Después del desbastado en máquina, calentar la herramienta a 650 °C, durante un tiempo de 2 horas, luego enfriar lentamente hasta 500 °C y después enfriar libremente al ambiente.
- *Temple:* se realiza un precalentamiento del material entre 600 - 700 °C, se practica austenización con una temperatura entre 790 - 850 °C.
- *Agentes de enfriamiento:*
 - a. aceite
 - b. Temple escalonado martensítico a 180 - 225 °C, después enfriar al aire

Luego de practicar tratamiento térmico al acero plata O1 se tienen cambios en las dimensiones del material, estos cambios se presentan durante el periodo de temple y revenido, en la Tabla 18 se encuentra el porcentaje en cuanto a cambios dimensionales durante el temple.

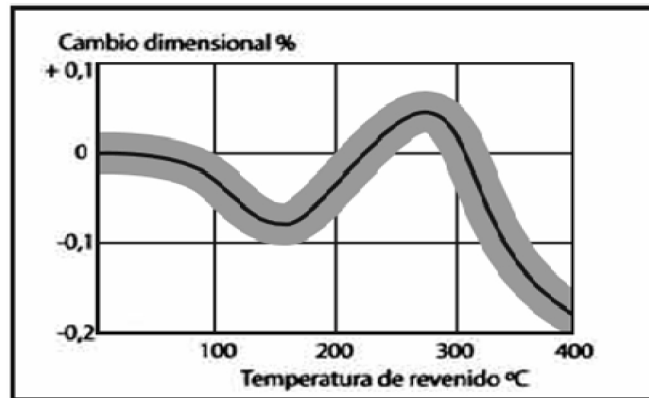
Tabla 18. Cambios dimensionales durante el temple

		Ancho %	Longitud %	Espesor %
<i>Temple en aceite desde 830 °C</i>	<i>Min</i>	0,03	0,04	-----
	<i>Max</i>	0,1	0,1	0,02
<i>Temple escalonado martensítico desde 830 °C</i>	<i>Min</i>	0,04	0,06	-----
	<i>Max</i>	0,12	0,12	0,02

Fuente: [21]

En la Figura 19 se puede apreciar una curva que hace referencia a los cambios dimensionales durante el proceso de revenido del material, a medida que se incrementa la temperatura sufre pequeños cambios en las dimensiones iniciales, estos cambios suelen ser poco significativos, pero si la pieza que se somete a tratamiento térmico es de alta precisión se recomienda realizar un rectificado de las piezas.

Figura 19. Cambios dimensionales durante el revenido

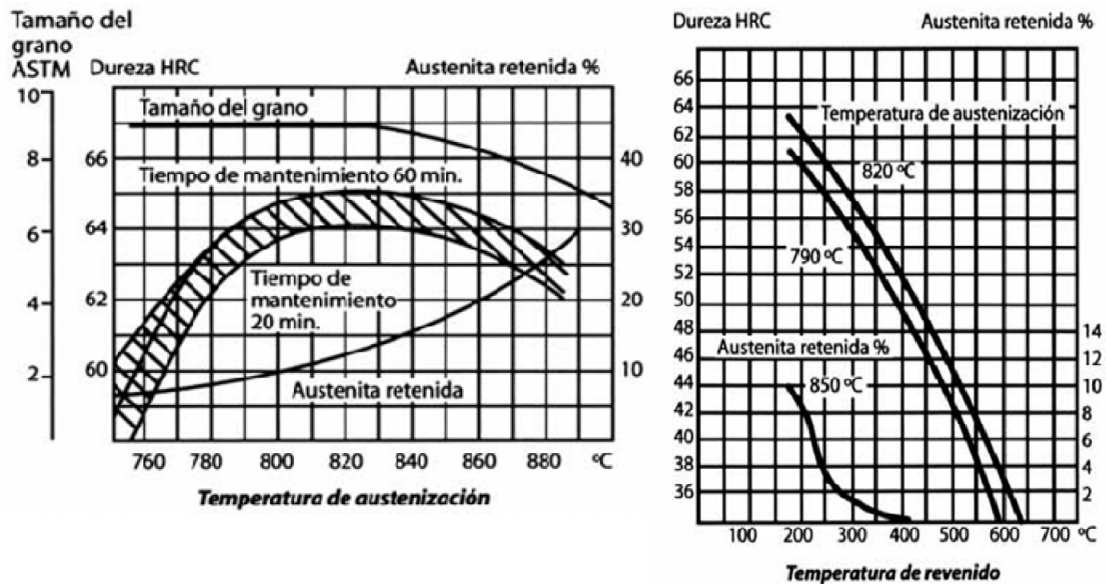


Fuente : [21]

A pesar que el acero plata sufre cambios dimensionales durante el tratamiento térmico, es muy complejo rectificar las piezas previamente mecanizadas debido a las dimensiones reducidas que posee la herramienta, puede que al momento de rectificar las piezas se dañe un filo de corte

Igualmente se pueden encontrar curvas que hacen referencia al proceso de austenización y revenidos ideales para el acero plata según sea la dureza que se desee, como se puede ver en la Figura 20.

Figura 20. Curvas de tratamiento térmico para acero plata O1



Fuente : [21]

Para generar el mecanizado de roscas de perfil trapezoidal es necesario poseer una herramienta para este tipo de trabajo, comúnmente estas herramientas no son de fácil adquisición, debido a que en Colombia no son muy utilizadas, además los costos para obtener este tipo de herramientas son muy elevados, es por esto que se decidió diseñar una herramienta que fuese capaz de generar una rosca con un perfil trapezoidal y que a su vez pudiera ser utilizada en un rango de diámetros amplio.

La herramienta o fresa es constituida bajo una serie de parámetros como lo son las dimensiones de una rosca con perfil trapezoidal, e igualmente se diseñó teniendo en cuenta las tolerancias establecidas para este tipo de roscas de perfil trapezoidal.

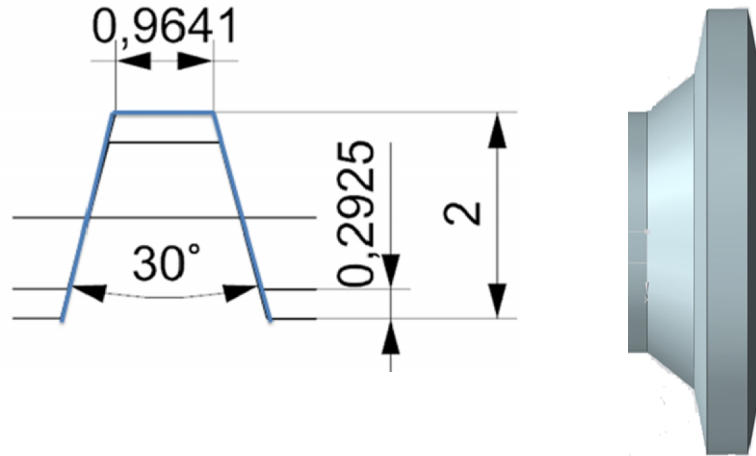
La herramienta para roscado trapezoidal fue enviada a tratamiento térmico el cual consistió en temple y revenido, este tratamiento fue practicado por la empresa Tecnotratamiento, la cual es una empresa colombiana especializada en el tratamiento térmico de los aceros, cuentan con hornos de sales y hornos eléctricos con capacidades de material de hasta 750 mm de diámetro[22] La cual certifica que la herramienta de corte para roscado trapezoidal luego de tratamiento térmico, alcanzo una dureza de 50 - 52 HRC en el cuerpo y una dureza de entre 56 - 58 HRC en la fresa (*ver: ANEXO K*), dureza comparada con los datos establecidos en la Tabla 16 Obteniendo como resultado una dureza ideal para herramientas de corte.

3.2 PERFIL DE LA HERRAMIENTA

El perfil de la herramienta se determina mediante la utilización de la ecuación (2 - 1) a (2 - 11) para un perfil de rosca trapezoidal, además se incluye la desviación e para una posición de tolerancia e que se selecciona de la Tabla 9 igualmente se le agrega una distancia de 0.8 mm de más a la altura del perfil trapezoidal, con el fin de tener una tolerancia en la herramienta para evitar cualquier contacto del fondo de la herramienta con la superficie del material.

En la Figura 21 se ilustra una línea azul que representa el perfil obtenido para la herramienta de roscado trapezoidal mediante el cálculo con ecuaciones y junto el perfil trapezoidal diseñado para la herramienta.

Figura 21. Perfil de herramienta para rosca trapezoidal



Fuente: Autor

3.3 FILOS DE CORTE

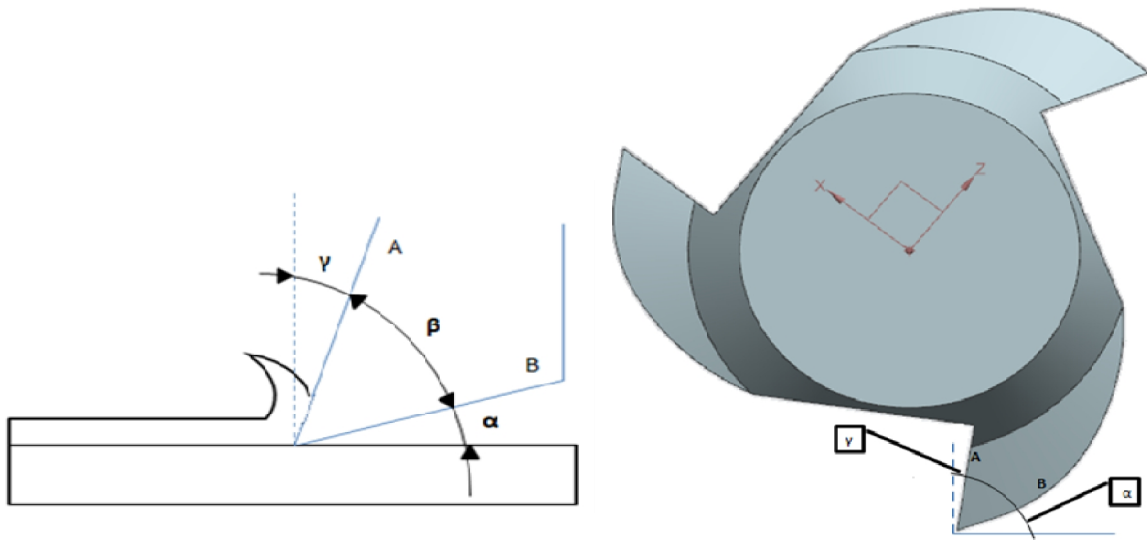
Para el diseño de los filos de corte se utiliza la Tabla 12 para realizar la selección de los ángulos de desprendimiento y de incidencia los cuales son seleccionados dependiendo del tipo de material en el cual se encuentre fabricada la herramienta que en este caso es acero plata O1 y el material que se desea mecanizar para este tipo de piezas se seleccionó duraluminio ya que es un material de baja dureza que no afecta los filos de corte de la herramienta diseñada, Los ángulos de corte seleccionados fueron:

Angulo γ de desprendimiento: 17°

Angulo α de incidencia: 11°

En la figura 22 se puede apreciar como la herramienta de corte para roscado trapezoidal cumple con los ángulos necesarios para un correcto mecanizado, además se generan unos destalonados en la parte posterior del filo de corte, con el fin de evitar que al momento que la herramienta gire no roce, ni se estrelle con la materia prima.

Figura 22. Filos de corte con ángulos de desprendimiento e incidencia

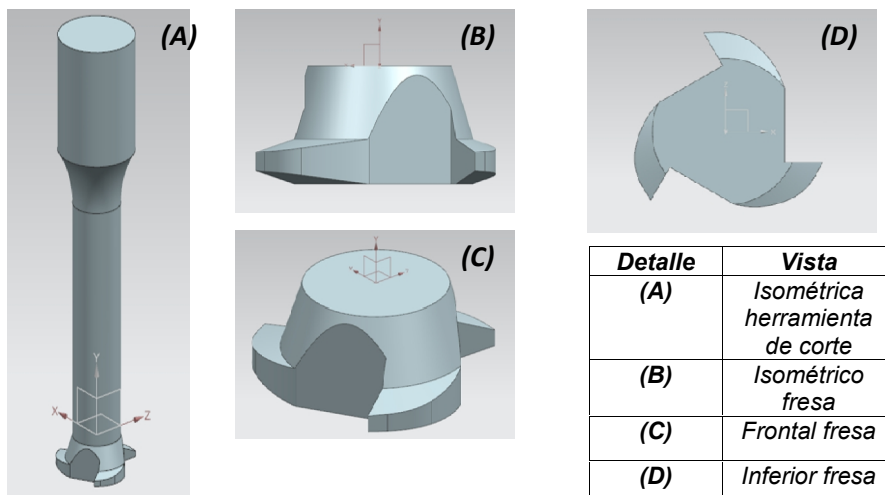


Fuente: Autor.

3.4 GEOMETRÍA FINAL DE LA HERRAMIENTA

La herramienta para roscado de perfil trapezoidal termina su diseño teniendo en cuenta la profundidad hasta la cual va a realizar el mecanizado se deja un cuello de herramienta con una longitud de 50 mm y una sección final con diámetro 16 mm y longitud de 30 mm para que la herramienta pueda ser sujeta por la máquina, algunas vistas de la herramienta pueden ser apreciadas en la figura 23.

Figura 23. Vistas de la herramienta para roscado trapezoidal



Fuente: Autor

3.5 PROCESO DE FABRICACIÓN DE LA HERRAMIENTA

Luego de tener el diseño final de la herramienta se procede a mecanizar la materia prima en el torno tipo suizo POLY GIM DIAMOND, que se encuentra en la Universidad Santo Tomás, la materia prima que se utiliza es acero plata O1 con un diámetro de 3/4 in. Calibrado, para la fabricación de la herramienta fue necesario escribir el código G (*ver: ANEXO L*), así como también determinar la forma más adecuada de tallar la herramienta, el torno tipo suizo puede ser visto en la Figura 24.

Figura 24. Torno tipo suizo POLY GIM DIAMOND.



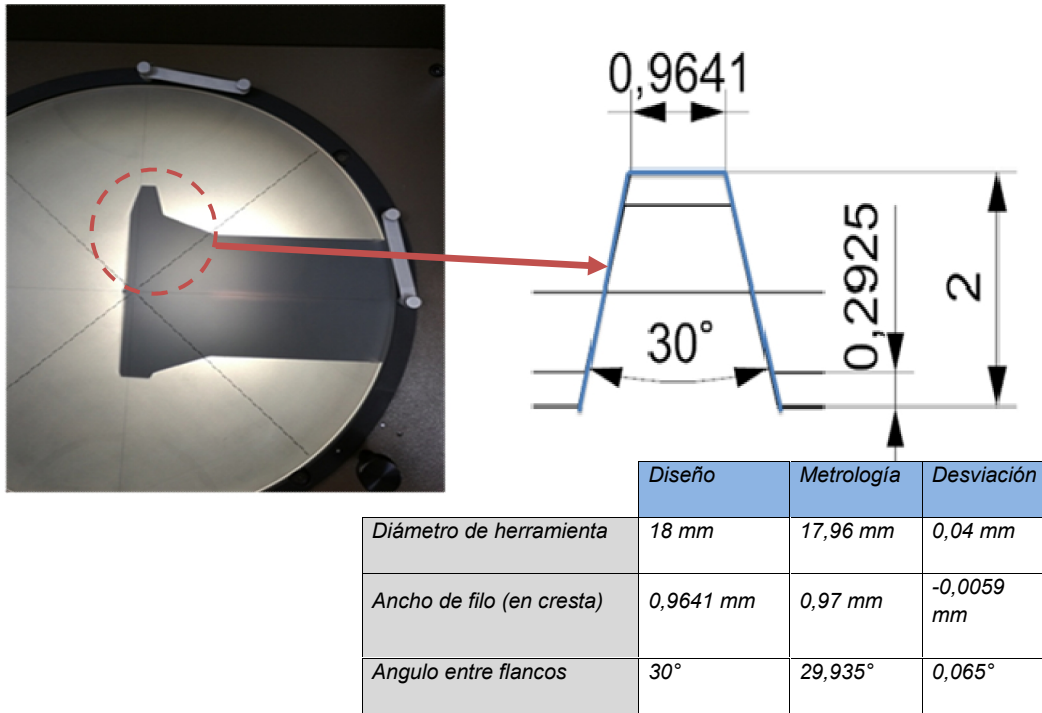
Fuente: Autor

3.6 METROLOGÍA DE LA HERRAMIENTA

El control metrológico es de vital importancia debido a que si se garantiza que las dimensiones del perfil de la herramienta son fieles a las previamente establecidas se obtendrá el correcto mecanizado del perfil de la rosca, este control metrológico se realiza con el proyector de perfiles que se encuentra en la Universidad Santo Tomás.

Como los valores obtenidos luego de realizar metrología se asemejan altamente a los diseñados se concluye que la herramienta de corte tiene las dimensiones ideales para el mecanizado, la figura 25 muestra la proyección del perfil para poder practicar metrología.

Figura 25. Proyección de perfil de herramienta para roscado trapezoidal



Fuente: Autor

4. FRESADO DE ROSCAS CON DIÁMETROS SUPERIORES A 31 mm.

Convencionalmente se puede llegar a encontrar en la industria herramientas y máquinas herramientas capaces de realizar roscados que pueden superar diámetros de $1\text{ in} = 25,4\text{ mm}$ o hasta $1\frac{1}{4}\text{ in} = 31,75\text{ mm}$, a partir de estos diámetros es necesario utilizar componentes que se anexan a las máquinas comúnmente utilizadas para el roscado, en el caso de la máquina fresadora se necesita acoplar un dispositivo llamado plato divisor junto a un tren de engranajes ensamblado al plato divisor que coordina los movimientos necesarios para realizar un roscado, este movimiento es llamado interpolación helicoidal, pero igualmente los platos divisores poseen una capacidad limitada.

Existen diversos procesos que pueden lograr el tallado de roscas, pero cuando se desea roscar un eje o un cilindro con diámetros considerables, y no se cuenta con un torno de gran volteo para este tipo de operaciones, es necesario montar la materia prima en una mesa X-Y, como la que posee una máquina fresadora o en este caso el centro de mecanizado vertical.

El mecanizado del conjunto de piezas roscadas con perfil trapezoidal tuerca-tornillo se realiza para ejemplificar la capacidad tecnológica que posee el centro de mecanizado vertical, el roscado helicoidal es una aplicación poco usada en este tipo de máquinas, pero puede ser extrapolada a otro tipo de piezas que necesariamente contengan roscas de grandes diámetros.

4.1 COMPONENTES A FABRICAR

El conjunto de piezas a mecanizar se compone de una tuerca y un tornillo, ambos con una rosca de perfil trapezoidal de designación TR 42 X 3 7H/7e, las dimensiones tanto de la tuerca como del tornillo fueron establecidas con el fin de adquirir una materia prima con las dimensiones necesarias para poder mecanizar las piezas, así mismo el diseño de la rosca se realiza mediante la utilización de las ecuaciones (2 - 1) a (2 - 11) y mediante el uso de tolerancias establecidas para cada diámetro, y así determinar tanto las dimensiones de la herramienta como la profundidad a la cual debería realizarse el tallado de la rosca, para finalmente poder garantizar el par cinemático, en la tabla 19 se observan las medidas estándares seleccionadas y las medidas aplicando tolerancias.

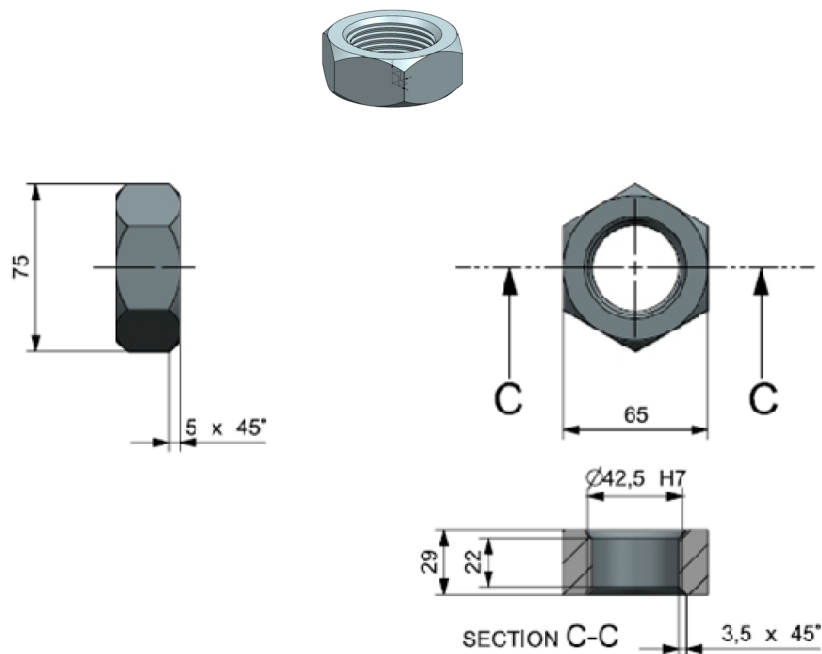
Tabla 19. Calculo de dimensiones para rosca de perfil trapezoidal

TR 42X3 - 7H/7e perfil TRAPEZOIDAL					
ÍTE M	Valor estándar	UNIDADES	DEFINICIÓN	Ajuste con tolerancias	
D4	42,5	mm	Diámetro mayor básico tuerca	43	µm
D1	39	mm	Diámetro menor básico tuerca	39,315	µm
D2	40,5	mm	Diámetro de paso básico tuerca	40,835	µm
d	42	mm	Diámetro mayor básico tornillo (diámetro nominal)	41,764	µm
d3	38,5	mm	Diámetro menor básico tornillo	38,103	µm
d2	40,5	mm	Diámetro de paso básico tornillo	40,25	µm
p	3	mm	Paso	3	µm

Fuente: Autor.

Las piezas diseñadas hacen juego debido a que están pensadas considerando tolerancias para tanto en roscas internas como en externas, en la Figura 26. se observa el diseño de tuerca que contendrá una rosca trapezoidal (Ver: ANEXO O).

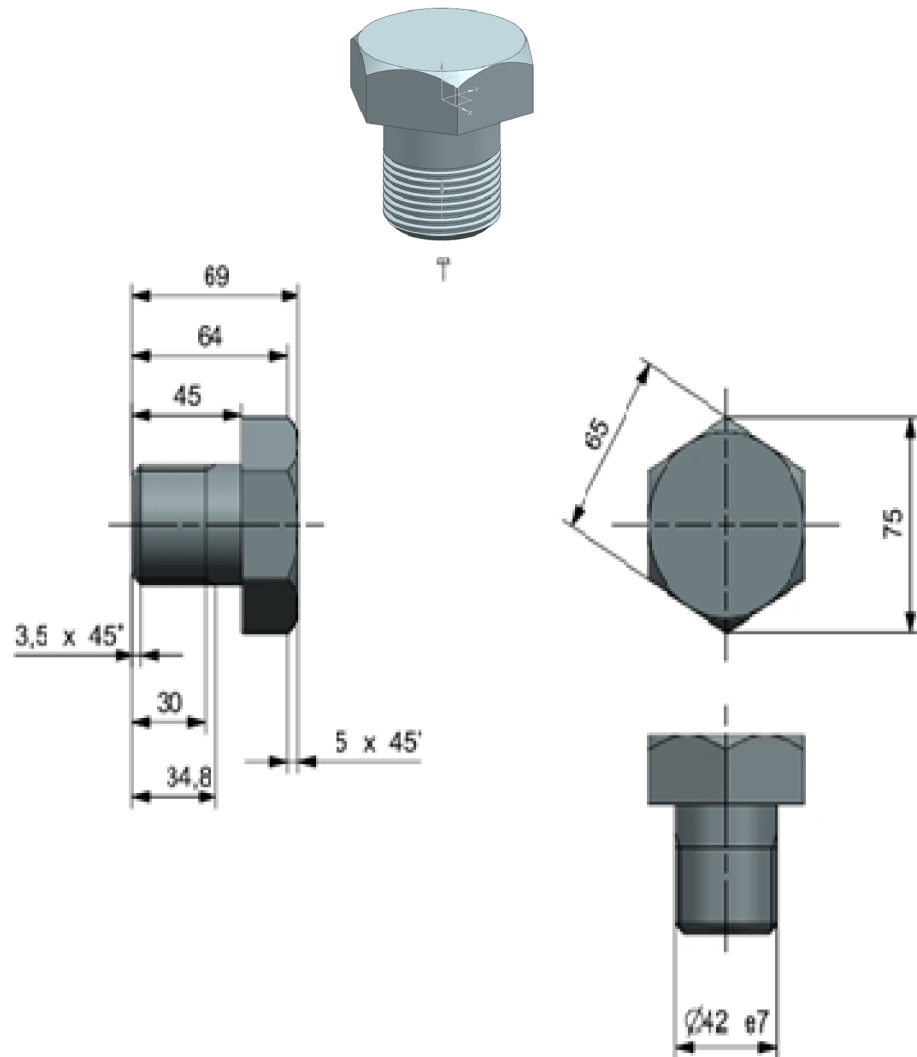
Figura 26. CAD tuerca.



Fuente: Autor.

Igualmente se genera el diseño del tornillo que contendrá una rosca de perfil trapezoidal como se observa en la Figura 27 (Ver: ANEXO P).

Figura 27. CAD tornillo



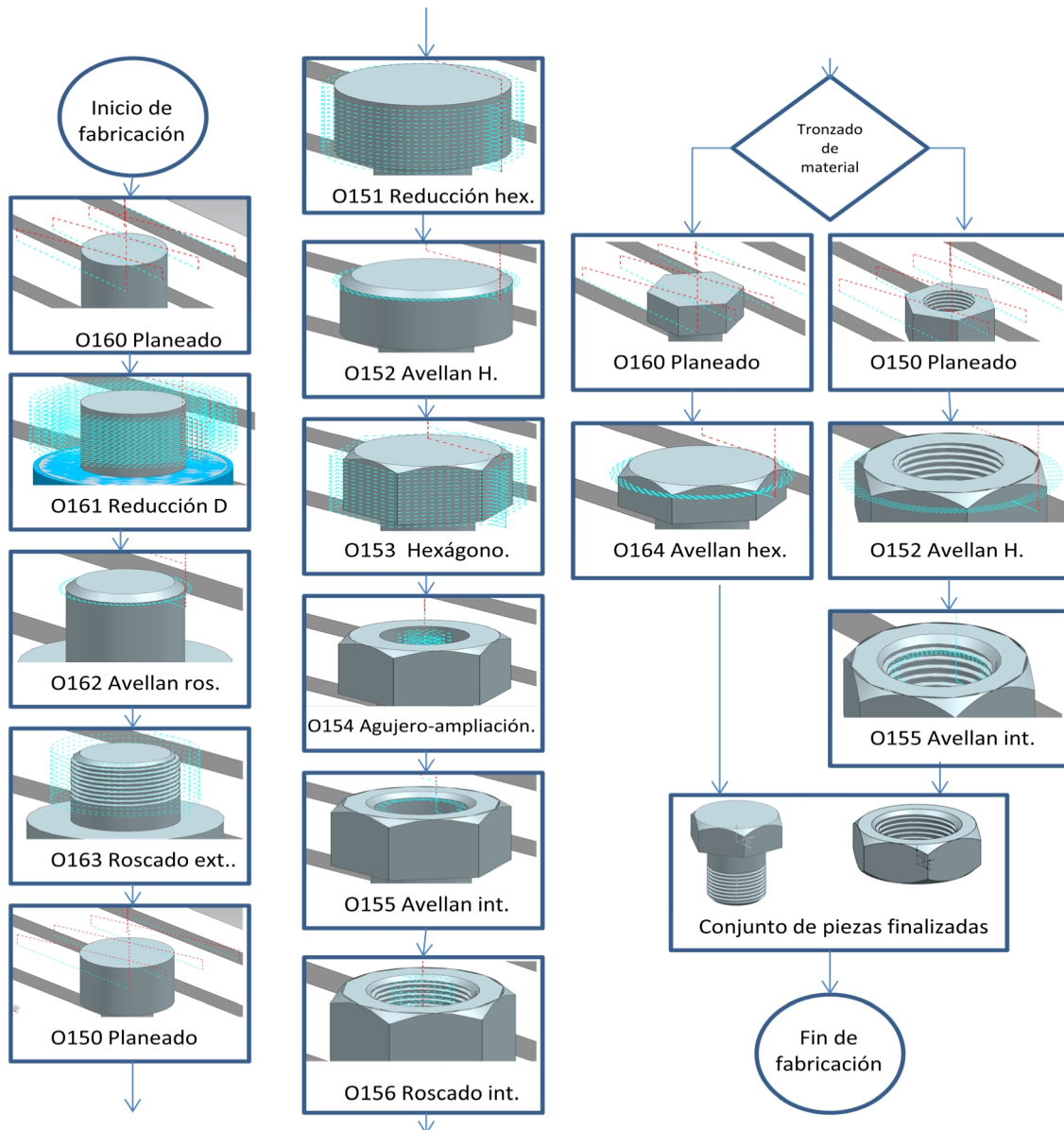
Fuente: Autor.

4.2 PLANIFICACIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA

Para realizar el conformado de las piezas se debe planificar un proceso de manufactura pensando en la serie de operaciones que se deben lograr para obtener cada componente, se debe establecer cuál es la manera adecuada con la que se debe iniciar a mecanizar las piezas, con el objetivo de utilizar un posicionamiento para realizar la mayor cantidad de operaciones y un segundo posicionamiento a 180° en el eje X para realizar una segunda serie de

operaciones, finalmente se tronza el material y se hacen los acabados necesarios para cada componente, además se debe tener en cuenta las dimensiones de la materia prima, esta planificación se describe mediante un diagrama de flujo en el cual se describe el numeral de cada macro junto al tipo de operación que se logra en cada paso, como se ve en la Figura 28; (Ver: ANEXO M), (Ver: ANEXO N).

Figura 28. Diagrama de flujo para la fabricación de los componentes tuerca - tornillo

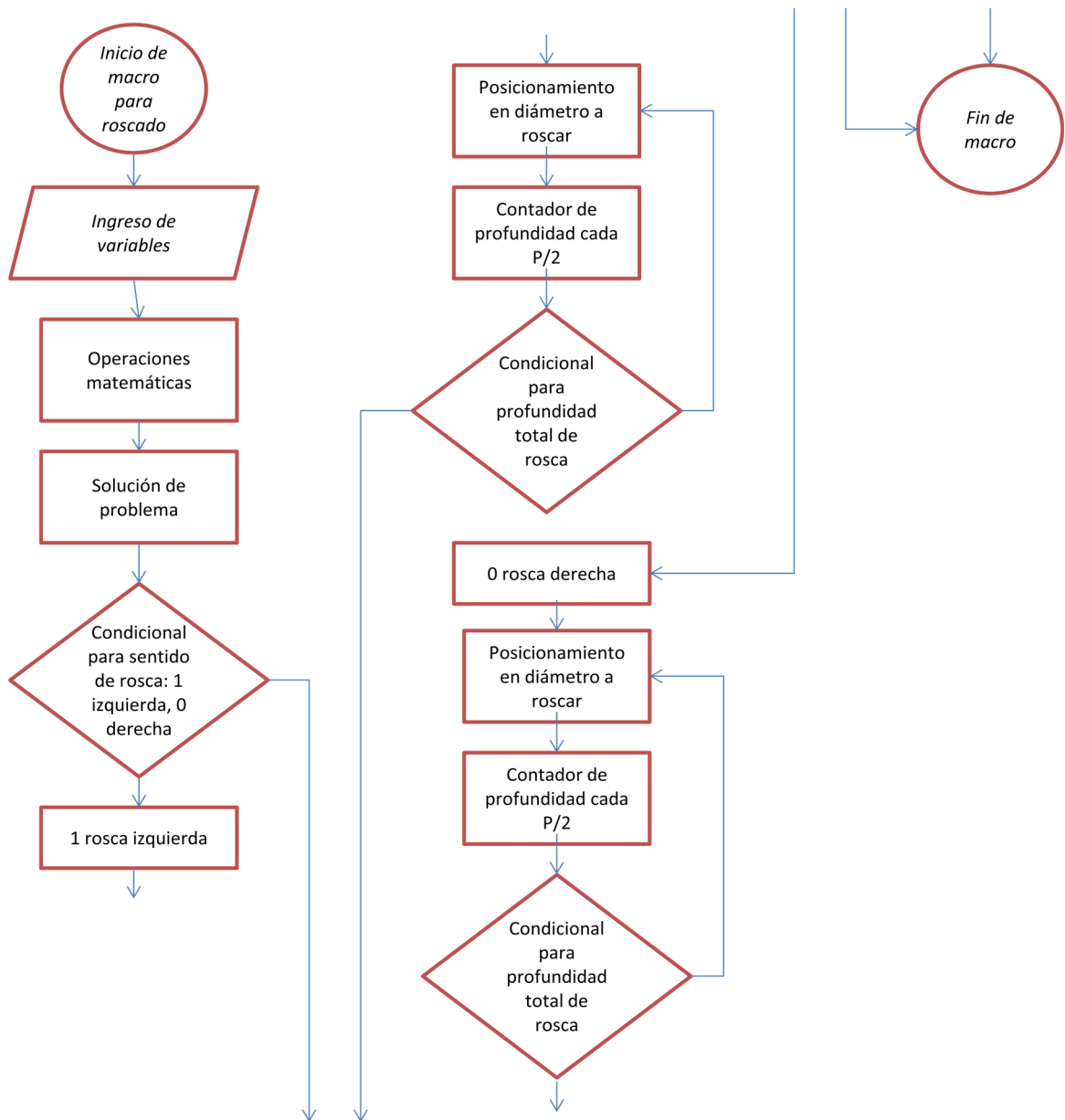


Fuente: Autor.

4.3 PROGRAMACIÓN CNC PARA ROSCADO TRAPEZOIDAL

Se genera el diagrama de flujo necesario para comprender el funcionamiento de las macros para roscado helicoidal, el diagrama de flujo contempla los condicionales y ciclos existentes en el proceso de roscado, este diagrama de flujo se utiliza tanto para roscado externo como para roscado interno como se observa en la Figura 29.

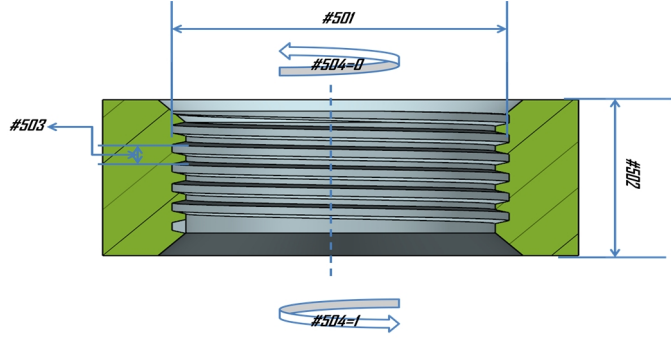
Figura 29. Diagrama de flujo para roscado helicoidal



Fuente: Autor.

Para poder generar tanto roscado interno como roscado externo fue necesario escribir macros independientes a continuación en la Tabla 20 y en la Tabla 21, se expondrá cada macro con su respectiva explicación.

Tabla 20. Macro O156 tuerca TR 42x3 7H/7e operación roscado interno

	
(MACRO O156 TUERCA TR 42X3 7H/7e OPERACIÓN ROSCADO INTERNO)	Título de la macro
(#500=DIÁMETRO DE HTA PARA ROSCADO);	En este caso el diámetro para la herramienta diseñada es 18,2 mm
#500=18.2;	Según la herramienta que se posea se determina el diámetro de la herramienta
(#501=DTO MAYOR);	Diámetro mayor de rosca interna al cual debe llegar la herramienta
#501=43.04;	Recomendación: para calcular el valor del #501 se debe tener en cuenta la tolerancia establecida para el diámetro mayor en roscas internas
(#502=PROFUNDIDAD TOTAL);	Profundidad hasta la cual se va a realizar el roscado
#502=24;	Recomendación: para evitar que la herramienta o el husillo se estrellen contra el material es aconsejable no bajar la herramienta hasta más de 40 mm
(#503=PASO);	Determina la distancia que se encuentra desde el inicio de una cresta hasta el mismo punto de la cresta siguiente.
#503=3;	Nota: la herramienta diseñada únicamente sirve para pasos de 3 mm, debido a que las dimensiones para otro paso hacen que la herramienta sufra cambio dimensionales

Fuente: Autor

Continuación Tabla 20. Macro O156 tuerca TR 42x3 7H/7e operación roscado interno

(#504= 1 ROSCA IZQUIERDA - 0 ROSCA DERECHA);	El usuario define si es rosca mano izquierda o rosca mano derecha
#504=0;	Dependiendo de la selección del usuario la macro tomara la decisión 1 para rosca mano izquierda, 0 para macro rosca derecha
(OPERACIONES MATEMÁTICAS);	Calculo de operaciones matemáticas
#100=#501/2-#500/2;	Calculo de la primera posición en X
#102=#503/2;	Primer posicionamiento en Z para rosca izquierda, contador para posición en Z rosca izquierda
#103=#503/2;	Divide el paso a la mitad, para realizar aumentos de medio paso cada media circunferencia
#104=#502+#503;	Valor de comparación para ciclo rosca izquierda
#105=#102+#502;	Primer posicionamiento en Z para rosca derecha, contador para posición en Z rosca derecha
#106=#503;	Valor de comparación para ciclo rosca derecha
(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);	Ejecución del problema a solucionar
G80 G40 G94 G17 G54;	Bloque inicial selección de plano X-Z
G91 G28 Z0;	Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales
G28 X0 Y0;	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales
M6 T11;	Llamado de herramienta
M3 S1400;	Encender husillo
M8;	Encender refrigerante
G90 G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido ejes X-Y
G00 G43 Z20 H11;	Altura previa de la herramienta
IF[#504EQ0]GOTO30;	Inicio de selección de ciclo, si #504 es igual a cero se inicia rosca a mano derecha, ir a N30
G00 Z#102;	Posicionamiento rápido en Z#102
G01 X#100 F150;	Interpolación lineal en X primera posición
G03 X-#100 Y0 Z0 R#100;	Interpolación circular antihoraria en X primera posición negativa

Fuente: Autor

Continuación Tabla 20. Macro O156 tuerca TR 42x3 7H/7e operación roscado interno

<i>N25 G03 X#100 Y0 Z-#102 R#100;</i>	Inicio de ciclo para roscas a mano izquierda, interpolación circular antihoraria en X primera posición, reposicionamiento en Z
<i>#102=#102+#103;</i>	Contador para posición en Z rosca a mano izquierda
<i>G03 X-#100 Y0 Z-#102 R#100;</i>	Interpolación circular antihoraria en X primera posición negativa, reposicionamiento en Z
<i>#102=#102+#103;</i>	Contador para posición en Z rosca a mano izquierda
<i>IF[#104GT#102]GOTO25;</i>	Condición de ciclo para finalizar operación, si #104 es igual o mayor a #102 ir a inicio de ciclo de lo contrario ir a N25
<i>GOTO 40;</i>	Ir a N40, salto que se utiliza para ir a bloque final
<i>N30 G00 Z-#105;</i>	Posicionamiento rápido en Z, primera posición para roscas a mano derecha
<i>G01 X#100 F150;</i>	Acercamiento rápido en X primera posición
<i>G03 X-#100 Y0 Z-#105 R#100;</i>	Interpolación circular antihoraria en X primera posición negativa, reposicionamiento de Z
<i>#105=-#105+#103;</i>	Contador para posición en Z roscas a mano derecha
<i>N35 G03 X#100 Y0 Z#105 R#100;</i>	Inicio de ciclo para roscas a mano derecha, interpolación circular antihoraria en X primera posición, reposicionamiento de Z
<i>#105=#105+#103;</i>	Contador para posición en Z roscas a mano derecha
<i>G03 X-#100 Y0 Z#105 R#100;</i>	Interpolación circular antihoraria en X primera posición negativa, reposicionamiento de Z
<i>#105=#105+#103;</i>	Contador para posición en Z roscas a mano derecha
<i>IF[#106GE#105]GOTO35;</i>	Condición de ciclo para finalizar operación, si #106 es mayor o igual a #105 ir a inicio de ciclo, de lo contrario ir a N35

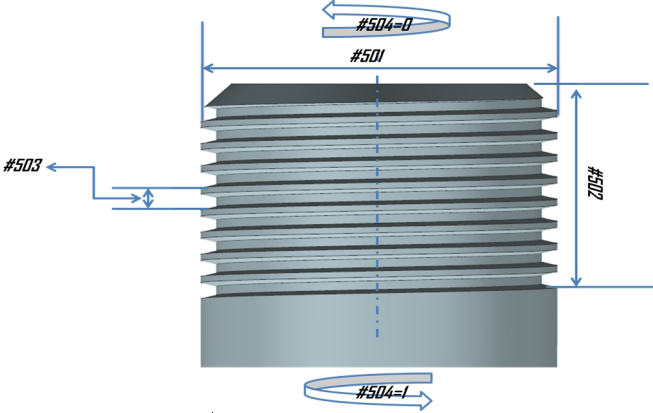
Fuente: Autor

Continuación Tabla 20. Macro O156 tuerca TR 42x3 7H/7e operación roscado interno

N40 G01 X0 Y0;	Interpolación lineal en X - Y
G01 Z10;	Interpolación lineal en Z
G00 Z100;	Posicionamiento rápido en Z
M9;	Apagar refrigerante
M5;	Apagar husillo
M30;	Finalizar programa

Fuente: Autor

Tabla 21. Macro O163 tornillo TR 42x3 7H/7e operación roscado externo

	
(MACRO O163 TORNILLO TR 42X3 7H/7e OPERACIÓN ROSCADO EXTERNO);	Título de la macro
(#500=DIÁMETRO DE HTA PARA ROSCADO);	En este caso el diámetro para la herramienta diseñada es 18,2 mm
#500=18.2;	Según la herramienta que se posea se determina el diámetro herramienta
(#501=DTO MENOR);	Diámetro menor de roscado al cual debe llegar la herramienta
#501=38.5;	Recomendación: para calcular el valor del #501 se debe tener en cuenta la tolerancia establecida para el diámetro menor en roscas externas
(#502=PROFUNDIDAD TOTAL);	Profundidad hasta la cual se va a realizar el roscado
#502=30;	Recomendación: para evitar que la herramienta o el husillo se estrellen contra el material es aconsejable no bajar la herramienta hasta más de 40 mm

Fuente: Autor

Continuación Tabla 21. Macro O163 tornillo TR 42x3 7H/7e operación roscado externo

(#503=PASO);	Determina la distancia que se encuentra desde el inicio de una cresta hasta el mismo punto de la cresta siguiente.
#503=3;	Nota: la herramienta diseñada únicamente sirve para pasos de 3 mm, debido a que las dimensiones para otro paso hacen que la herramienta sufra dimensionales
(#504 0 ROSCA IZQUIERDA - 1 ROSCA DERECHA);	El usuario define si es rosca mano izquierda o rosca mano derecha
#504=0;	Dependiendo de la selección del usuario la macro tomara la decisión
(OPERACIONES MATEMÁTICAS);	Calculo de operaciones matemáticas
#100=#501/2+#500/2;	Calculo de la primera posición en X
#102=#503/2;	Primer posicionamiento en Z para rosca izquierda, contador para posición en Z rosca izquierda
#103=#503/2;	Divide el paso a la mitad
#104=#502+#503;	Valor de comparación para ciclo rosca izquierda
#105=#102+#502;	Primer posicionamiento en Z para rosca derecha, contador para posición en Z rosca derecha
#106=#503;	Valor de comparación para ciclo rosca derecha
#107=#100+10;	Posición segura para inicio de mecanizado
(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);	Ejecución del problema a solucionar
G80 G40 G94 G17 G54;	Bloque inicial selección de plano X-Z
G91 G28 Z0;	Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales
G28 X0 Y0;	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales
M6 T11;	Llamado de herramienta
M3 S1400;	Encender husillo
M8;	Encender refrigerante
G90 G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido ejes X-Y
G00 G43 Z20 H11;	Altura previa de la herramienta
IF[#504EQ0]GOTO30;	Inicio de selección de ciclo, si #504 es igual a cero se inicia rosca a mano derecha, ir a N30
G01 X#100 F150;	Interpolación lineal a x primera posición

Fuente: Autor

Continuación Tabla 21. Macro O163 tornillo TR 42x3 7H/7e operación roscado externo

G01 Z#102;	Interpolación lineal a Z para rosca izquierda
G02 X-#100 Y0 Z0 R#100;	Interpolación circular horaria en X primera posición negativa, posicionamiento en Z=0
N25 G02 X#100 Y0 Z-#102 R#100;	Interpolación circular horaria en x primera posición, reposicionamiento en Z
#102=#102+#103;	Contador para posición en Z rosca a mano izquierda
G02 X-#100 Y0 Z-#102 R#100;	Interpolación circular horaria en X primera posición negativa, reposicionamiento en Z
#102=#102+#103;	Contador para posición en Z rosca a mano izquierda
IF[#104GT#102]GOTO25;	Condicional de ciclo para finalizar operación, si #104 es igual o mayor a #102 ir a inicio de ciclo de lo contrario ir a N25
GOTO 40;	Ir a N40, salto se utiliza para ir a bloque final
N30 G01 X#107 F150;	Interpolación lineal en X posición segura #107
G01 Z-#105;	Posicionamiento rápido en Z primera posición para roscas a mano derecha
G01 X#100;	Acercamiento rápido en X primera posición
G02 X-#100 Y0 Z-#105 R#100;	Interpolación circular horaria en X primera posición negativa, reposicionamiento en Z
#105=-#105+#103;	Contador para posición en Z rosca a mano derecha
N35 G02 X#100 Y0 Z#105 R#100;	Interpolación circular horaria en X primera posición, reposicionamiento en Z
#105=#105+#103;	Contador para posición en Z rosca a mano derecha
G02 X-#100 Y0 Z#105 R#100;	Interpolación circular horaria en X primera posición, reposicionamiento en Z
#105=#105+#103;	Contador para posición Z rosca mano derecha
IF[#106GE#105]GOTO35;	Condicional de ciclo para finalizar operación, si #106 es mayor o igual a#105 ir a inicio de ciclo de lo contrario ir a N35
N40 G01 X-#107;	Interpolación lineal a X posición segura
G01 Z10;	Interpolación lineal en Z
G00 Z100;	Posicionamiento rápido en Z

Fuente: Autor

Continuación Tabla 21. Macro O163 tornillo TR 42x3 7H/7e operación roscado externo

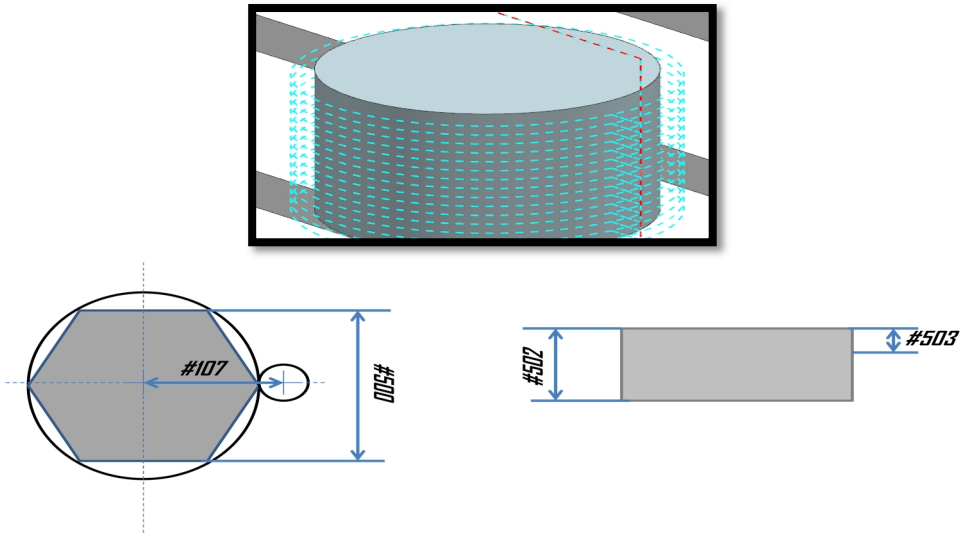
M9;	Apagar refrigerante
M5;	Apagar husillo
M30;	Finalizar programa

Fuente: Autor.

4.4 MACROS PARA TALLADO DE TUERCA TR 40 X 3 7H/7e

Para generar el primer componente a fabricar que fue la tuerca con roscado trapezoidal, fue necesario generar una serie de macros que ayudaran en el proceso de alistamiento de materia prima y fabricación de las piezas, en la Tabla 22 se explica línea por línea el funcionamiento de una macro usada para el mecanizado de la tuerca con sección roscada de perfil trapezoidal.

Tabla 22. Macro O151 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación diámetro de hexágono

	
(MACRO O151 TUERCA ROSCA TR 42 X 3 7H/7e OPERACIÓN DIÁMETRO DE HEXÁGONO); (#500= LONGITUD ENTRE CARAS);	Título de la macro
	Esta medida es tomada de una cara a la cara inmediatamente paralela del hexágono, esta medida se da en milímetros

Fuente: Autor.

Continuación Tabla 22. Macro O151 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación diámetro de hexágono

#500= 60;	Nota: en este caso se toma una longitud de 60 mm. Debido a que la materia prima únicamente podida contener máximo esta medida
(#501= DIÁMETRO DE LA HERRAMIENTA);	Este dato se encuentra en los catálogos de los fabricantes de herramientas de corte
#501= 16;	Herramienta utilizada MEC 16
(#502= PROFUNDIDAD TOTAL);	Profundidad máxima que debe tener el hexágono de la tuerca
#502= 25;	Se recomienda tener en cuenta la longitud del cuello de la herramienta para no llegar a estrellar la materia prima con el husillo
(#503= PROFUNDIDAD POR PASADA);	Profundidad máxima que la herramienta de corte ingresa en el material para generar desprendimiento de viruta
#503= 3;	Este dato se encuentra en los catálogos de los fabricantes de las herramientas, como también puede ser determinado por el tipo de material a mecanizar
(OPERACIONES MATEMÁTICAS)	Calculo de operaciones matemáticas
#100=#501/2;	Calculo del radio de la herramienta
#101=#500/2;	Divide la longitud entre caras
#102=#502/#503;	División de la profundidad total del hexágono por profundidad total por pasada
#103=FIX [#102];	Toma el valor entero del #102
#104=#503*#103;	Multiplica #103 por profundidad por pasada
#105=#502-#104;	Calculo de la primera pasada en Z
#106=#101/1.73205+#100;	Calculo del apotema del hexágono más la compensación de herramienta
#107= [2*#101]/1.73205+#100;	Distancia entre puntas, se duplica apotema más compensación de herramienta
#108=0;	Valor cero
#109=#107+10;	Le suma al #107 una distancia segura
(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);	Ejecución del problema a solucionar
G80 G40 G94 G17 G54;	Bloque inicial selección de plano X-Z
G91 G28 Z0;	Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales
G28 X0 Y0;	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales
M6 T13;	Llamado de herramienta

Fuente: Autor

Continuación Tabla 22. Macro O151 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación diámetro de hexágono

<i>M3 S4000;</i>	Encender husillo
<i>M8</i>	Encender refrigerante
<i>G90 G00 X0 Y0;</i>	Posicionamiento rápido ejes X-Y
<i>G00 G43 Z20 H13;</i>	Altura previa de la herramienta
<i>N10 G01 X#109 F400;</i>	Inicio de ciclo, interpolación lineal en X a posición distancia segura
<i>G01 Z-#105;</i>	Interpolación lineal en Z primera pasada negativa
<i>G01 X#107;</i>	Interpolación lineal en X distancia entre puntas
<i>G02 X-#107 Y#108 R#107;</i>	Interpolación circular sentido horario en X distancia entre puntas negativa
<i>G02 X#107 Y#108 R#107;</i>	Interpolación circular sentido horario en X distancia entre puntas
<i>#105=#105+#503;</i>	Contador de altura en Z le suma profundidad por pasada
<i>IF[#502GE#105]GOTO10;</i>	Condición de ciclo para finalizar operación, mientras que el #502 sea mayor o igual que #105, ir a inicio de ciclo, de lo contrario continuar
<i>G01 X#109;</i>	Interpolación lineal en X a posición distancia segura
<i>G00 Z20;</i>	Posicionamiento rápido en Z
<i>G00 X0 Y0;</i>	Posicionamiento rápido en X-Y
<i>M9;</i>	Apagar husillo
<i>M5;</i>	Apagar refrigerante
<i>M30;</i>	Finalizar programa

Fuente: Autor

4.5 MACROS PARA TALLADO DE TORNILLO TR 40 X 3 7H/7e

Igualmente, para poder logra el mecanizado del tornillo con roscado trapezoidal fue necesario el uso de una serie de macros, a continuación, en la Tabla 23 se observa una macro involucrada en el proceso de fabricación del tornillo.

Tabla 23. Macro O165 tornillo rosca TR 42 x 3 7H/7e operación chaflán sección hexagonal

(MACRO O165 TORNILLO ROSCA TR 42 X 3 7H/7e OPERACIÓN CHAFLÁN SECCIÓN HEXAGONAL);	Título de la macro
(#500= LONGITUD ENTRE CARAS);	Esta medida es tomada de una cara a la cara inmediatamente paralela del hexágono, esta medida se da en milímetros
#500= 60;	Nota: en este caso se toma una longitud de 60 mm. Debido a que la materia prima únicamente podida contener máximo esta medida
(#501= PROFUNDIDAD DE CHAFLÁN);	Profundidad hasta la cual va a ir el chaflán
#501=5;	Se recomienda verificar las dimensiones de la herramienta de corte con el fin de no estrellar la herramienta con la materia prima
(#502= PROFUNDIDAD DE CORTE);	Profundidad a la cual se va a realizar cada pasada
#502=1;	Valor de profundidad de corte
(OPERACIONES MATEMÁTICAS);	Calculo de operaciones matemáticas

Fuente: Autor

Continuación Tabla 23. Macro O165 tornillo rosca TR 42 x 3 7H/7e operación chaflán sección hexagonal

#100=0;	Valor cero
#101=#500/2;	Divide la longitud entre caras
#102= [2*#101]/1.73205;	Calculo del apotema del hexágono multiplicado por dos
#103= [2*#101]/1.73205+1+#501;	Calculo de primera posición en X haciendo uso de #102
#104=#103+5;	Primera posición en X más distancia segura
#106=#102+1;	Dato de comparación para ciclo
#107=#501+0.4;	Profundidad de chaflán más distancia extra para asegurar mecanizado de chaflán
#108=#103-#106;	Resta primera posición en X menos #106
#109=#108/#502;	División #108 por profundidad de corte
#110=FIX [#109];	Toma el valor entero del #109
#111=#110*#502;	Multiplicación #110 por profundidad de corte
#112=#501-#111;	Resta de profundidad de corte menos #111
#103=#103+#112;	Redefine #103
(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);	Ejecución del problema a solucionar
G80 G40 G94 G17 G54;	Bloque inicial selección de plano X-Z
G91 G28 Z0;	Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales
G28 X0 Y0;	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales
M6 T01;	Llamado de herramienta
M3 S5000;	Encender husillo
M8;	Encender refrigerante
G90 G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido ejes X-Y
G00 G43 Z20 H01;	Altura previa de la herramienta
N10 G00 X#104 Y#100;	Inicio de ciclo, posicionamiento rápido de X En primera posición a distancia segura
G00 Z-#107;	Posicionamiento rápido en Z profundidad de chaflán más distancia
G01 X#103 F500;	Interpolación lineal en X primera posición redefinida
G02 X-#103 Y#100 R#103;	Interpolación circular sentido horario en X primera posición negativa redefinida
G02 X#103 Y#100 R#103;	Interpolación circular sentido horario en X primera posición redefinida
G01 X#104 Y#100;	Interpolación lineal en X distancia segura
#103=#103-#502;	Redefine #103

Fuente: Autor.

Continuación Tabla 23. Macro O165 tornillo rosca TR 42 x 3 7H/7e operación chaflán sección hexagonal

<i>IF[#103GE#106]GOTO10;</i>	Condicional de ciclo para finalizar operación, mientras que el #103 sea mayor o igual que #106, ir a inicio de ciclo, de lo contrario continuar
<i>G00 Z50;</i>	Posicionamiento rápido en Z
<i>G00 X0 Y0;</i>	Posicionamiento rápido en X-Y
<i>M9;</i>	Apagar husillo
<i>M5;</i>	Apagar refrigerante
<i>M30;</i>	Finalizar programa

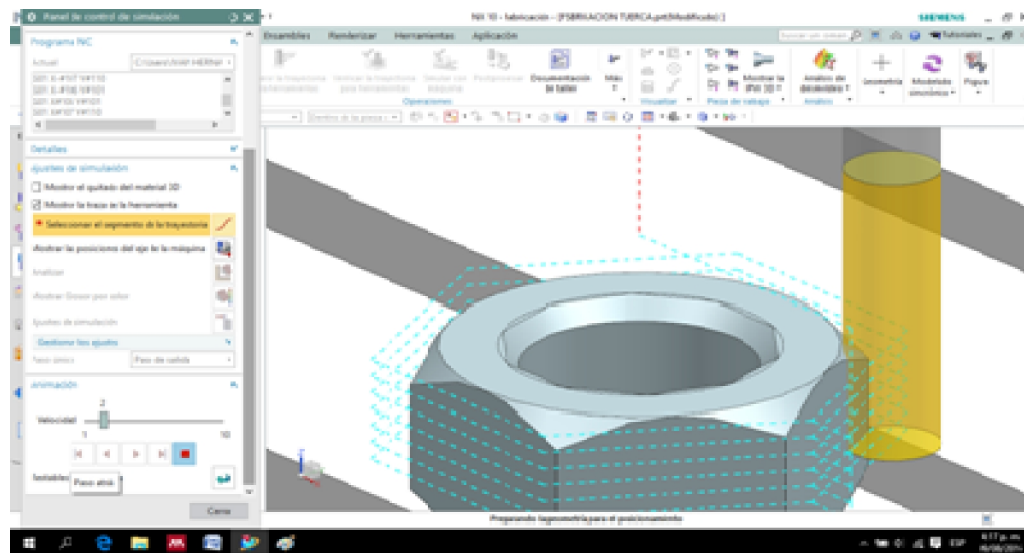
Fuente: Autor

4.6 SIMULACIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA

La simulación del proceso de mecanizado de las piezas que contienen roscado trapezoidal es generada mediante el uso de la máquina virtual, esta reproducción se efectúa con el fin de poder hacer uso previo de la programación CNC escrita para el conformado de las piezas.

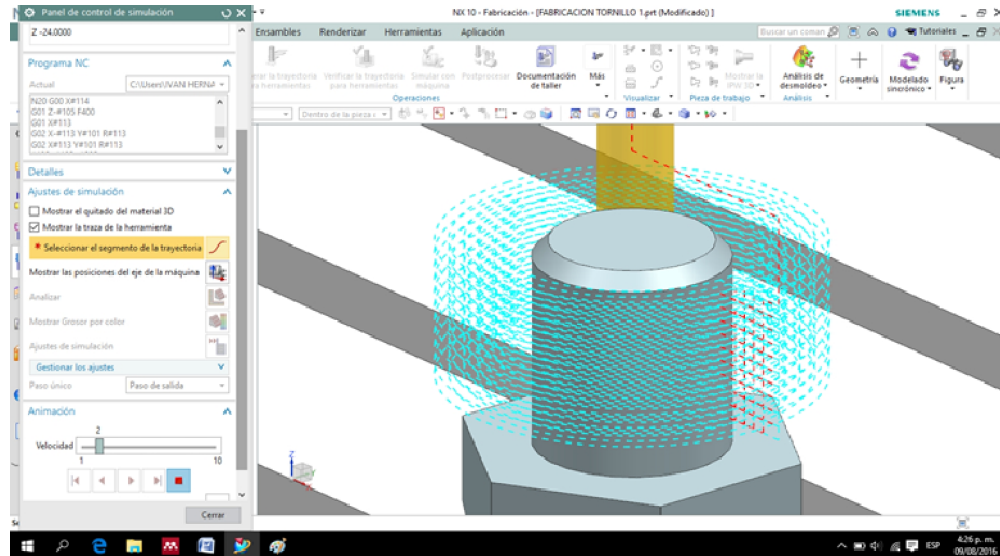
Su importancia radica en la capacidad de corregir errores y mejorar movimientos y tiempos, antes de iniciar con el mecanizado en el centro vertical, se simula cada operación tecnológica necesaria para lograr conformar cada pieza, estas simulaciones contemplan los parámetros reales establecidos en el centro de mecanizado vertical e igualmente cuenta con las medidas exactas del herramienta utilizado en el mecanizado de las piezas; En la Figura 30 y en la Figura 31 se observa cómo se efectúa la simulación del proceso de manufactura de los componentes a mecanizar.

Figura 30. Simulación de proceso de fabricación tuerca roscada TR 42X3 7H/7e



Fuente: Autor.

Figura 31. Simulación de proceso de fabricación tornillo roscado TR 42X3 7H/7e



Fuente: Autor.

5. EJECUCIÓN DEL PROCESO DE MANUFACTURA

El proceso de mecanizado se planea con el objetivo de disminuir en gran medida el tiempo de trabajo de la máquina, así como también hacer buen uso de la materia prima, inicialmente se ingresan las macros para la fabricación de la tuerca; *O150 Planeado (Ver: ANEXO A)* , *O151 Diámetro para hexágono (Ver: Tabla 22)* , *O152 Chafilán hexágono (Ver: ANEXO B)* , *O153 Hexágono (Ver: ANEXO C)* , *O154 Agujero ampliación (Ver: ANEXO D)* , *O155 Chafilán para agujero roscado (Ver: ANEXO E)* , *O156 Roscado interior (Ver: Tabla 20)*.

Igualmente las macros para la fabricación del tornillo; *O160 Planeado (Ver: ANEXO F)* , *O161 Diámetro mayor rosca (Ver: ANEXO G)* , *O162 Chafilán sección roscada (Ver: ANEXO H)* , *O163 Roscado exterior (Ver: Tabla 21)* , *O164 Diámetro para hexágono (Ver: ANEXO I)* , *O165 Chafilán hexágono (Ver: Tabla 23)* , *O166 Hexágono (Ver: ANEXO J)* , cada macro se prueba antes de realizar un mecanizado real.

5.1 MONTAJE DE MATERIA PRIMA.

Como materia prima se utiliza un tramo de Duraluminio de longitud 200 mm y con un diámetro aproximado a de 70.05 mm, se hace uso de este material debido a que es más blando que el material con el cual se fabrica la herramienta de corte, el Duraluminio es una aleación de aluminio de alta resistencia con dureza 150 - 180 HB, alta conductividad térmica, buena resistencia a la corrosión, excelente maquinabilidad y fácil obtención de superficies finas y brillantes, es altamente utilizado en moldes de soplado, formado al vacío, moldeado de espuma, moldeado de goma, moldes de inyección de termoplásticos, placas contenedoras y de apoyo, guías y sujetadores.[23]. El material se divide en dos secciones cada una con 100 mm de longitud, como se tiene un material cilíndrico la forma de sujeción establecida es en la copa de mordazas autocentrantes como se ve en la Figura 32.

Figura 32. Copa de mordazas autocentrantes.



Fuente: Autor

5.2 MECANIZADO DE PIEZAS

Se inicia el proceso de mecanizado de las piezas hallando el centro de la materia prima esto se logra mediante un calibrador un brazo extensible y una base imantada con el comparador se realiza un acercamiento al material tanto el eje X y Y positivos y negativos y se sitúa el centro de pieza en el centro de la materia prima cilíndrica, en la Figura 33 se ilustra el correcto montaje de los dispositivos necesarios para hallar el centro de pieza.

Figura 33. Base imantada, brazo extensible, comparador.



Fuente: Autor

Una vez que se tienen las coordenadas X, Y y Z se procede a realizar el montaje de las herramientas necesarias para el conformado de las piezas, además se procede a hacer compensación a cada una de las herramientas que se van a utilizar en el proceso de fabricación, este procedimiento debe ser realizado para cada herramienta sin excepción.

Luego de tener totalmente preparada la máquina se procede a iniciar con el mecanizado de las piezas, se inicia con un planeado para garantizar que el material sea totalmente plano, luego se efectúa un cilindrado hasta el diámetro mayor para roscas externas, una vez alcanzado el diámetro requerido (Diámetro: 41.9 mm) este diámetro considera la tolerancia establecida para el diámetro mayor básico en roscas externas, luego se procede a realizar un avellan de 3.5 mm. de profundidad, se para el proceso de fabricación y se realiza control metrológico en la figura 34 se muestra la sección que contendrá la rosca del tornillo así garantiremos que cumpla con el diámetro mayor para roscas externas.

Figura 34. Control metrológico diámetro básico mayor para roscas externas



Fuente: Autor.

Previamente se realiza un control metrológico al diámetro mayor para roscas externas, con el fin de garantizar las medidas de los elementos roscados, esta medición se realiza mediante un calibrador análogo. La sección que contendrá la rosca del tornillo se encuentra preparada y lista para recibir a la herramienta diseñada para generar una rosca de perfil trapezoidal, esta herramienta inicia su trabajo una vez que el usuario de la macro defina qué sentido de giro desea que posea la rosca.

Luego de hacer el proceso de roscado en roscas externas se procede a realizar un giro del material a 180° en el eje X.

Se da inicio nuevamente al proceso de mecanizado esta vez realizando un planeado y luego un cilindrado para obtener el diámetro requerido para mecanizar la sección hexagonal, posteriormente se mecaniza un avellan de 5 mm de profundidad y se ejecuta el mecanizado de la sección hexagonal en conjunto es decir se talla una sección hexagonal prolongada que cubra tanto el cuerpo de la tuerca como la cabeza hexagonal del tornillo.

Una vez que se ha mecanizado la parte hexagonal se procede a realizar un agujero con una broca de 22 mm de diámetro, con una profundidad previamente establecida y posteriormente se amplía dicho agujero hasta el diámetro menor básico de la rosca interna (Diámetro: 39.1 mm) esta medida considera la tolerancia establecida para el diámetro menor básico en roscas internas, luego se hace un avellan de 3.5 mm y posteriormente se hace uso de la herramienta de roscado trapezoidal para realizar el mecanizado de la rosca interna.

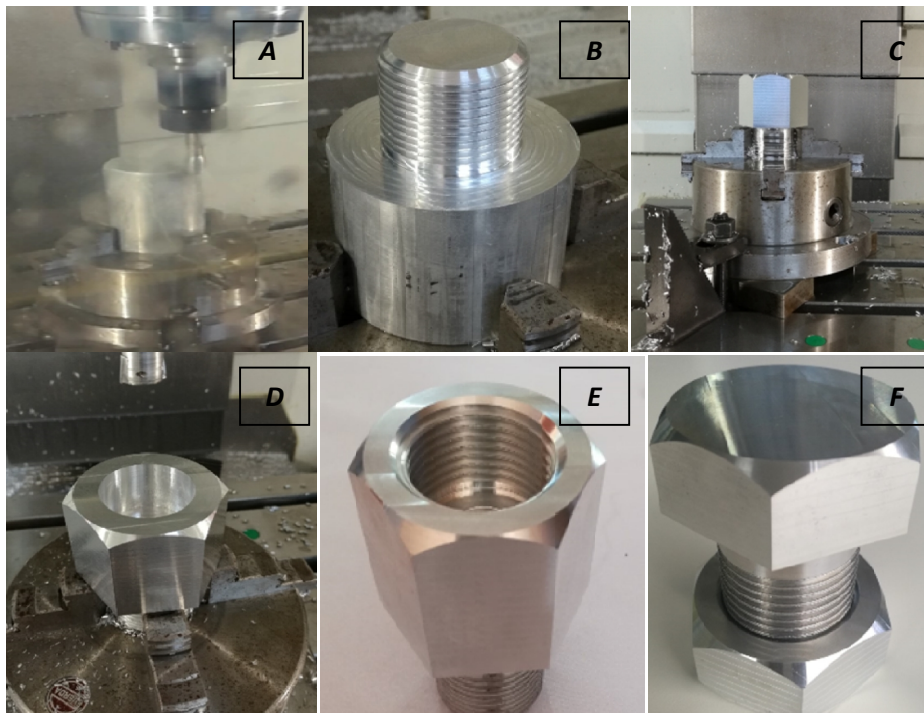
El paso siguiente consiste en tronzar la tuerca de la cabeza hexagonal del tornillo, esto haciendo que se separen las piezas para poder darles su respectivo acabado.

Primero se toma el tornillo y se le realiza un planeado en la parte superior de la sección hexagonal para garantizar la planitud del material y se procede a generar

un avellan en la sección hexagonal con una profundidad de 5 mm así se da por finalizada la fabricación del tornillo, seguidamente se toma la tuerca y se realiza un planeado en la parte inferior, posteriormente se realiza el mecanizado del avellan de 3.5 mm para la sección roscada y de 5 mm para la sección hexagonal así se da por finalizada la fabricación de la tuerca.

En la Figura 35 se aprecian algunos instantes en los cuales se efectúa el mecanizado de los componentes tuerca - tornillo.

Figura 35. Mecanizado de piezas, A. Avellanado, B. Roscado externo, C. Sección hexagonal, D. Agujero, E. Roscado interno, F. conjunto de piezas



Fuente: Autor.

El instante A muestra el inicio de la reducción del material hasta el diámetro mayor para roscas externas, en la sección B se aprecia la rosca externa tallada con la herramienta diseñada para roscado helicoidal con perfil trapezoidal, seguido en C se aprecia el hexágono de ambos componentes una vez finalizado, el instante D hace referencia al agujero previo hasta el diámetro menor para roscas internas, sucesivamente en E se evidencia la rosca interna tallada por la herramienta para roscado helicoidal con perfil trapezoidal, finalmente en F se muestra el conjunto de piezas tuerca- tornillo una vez se ha finalizado su conformado, en la Figura 36 se

puede observar el juego de piezas tuerca tornillo con rosca de perfil trapecoidal totalmente terminados

Figura 36. Piezas finalizadas (Tuerca-tornillo)



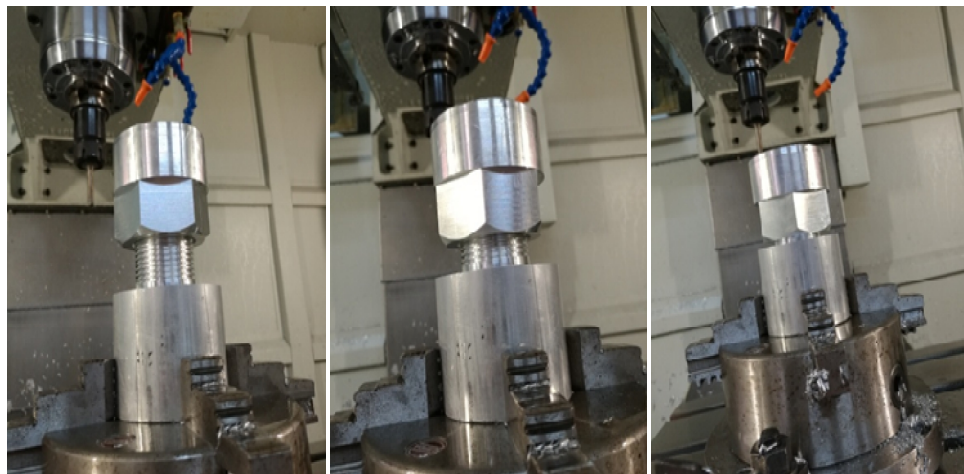
Fuente: Autor

5.3 VERIFICACIÓN DE PAR CINEMÁTICO

Una vez mecanizado el juego de piezas, se procede a realizar la verificación del par cinemático, es decir el juego de piezas mecanizadas deben encajar a la perfección o por lo menos debe poderse roscar la tuerca en el tornillo, se realiza varias veces el proceso de roscado y desenroscado, para constatar que las piezas si encajan y que no existe ningún tipo de esfuerzo al momento de realizar el ensamble de dichas piezas.

La tuerca a medida que va girando se va enroscando en el tornillo, finalmente encajan las piezas mecanizadas como se ve en la Figura 37.

Figura 37. Verificación de par cinemático.



Fuente: Autor.

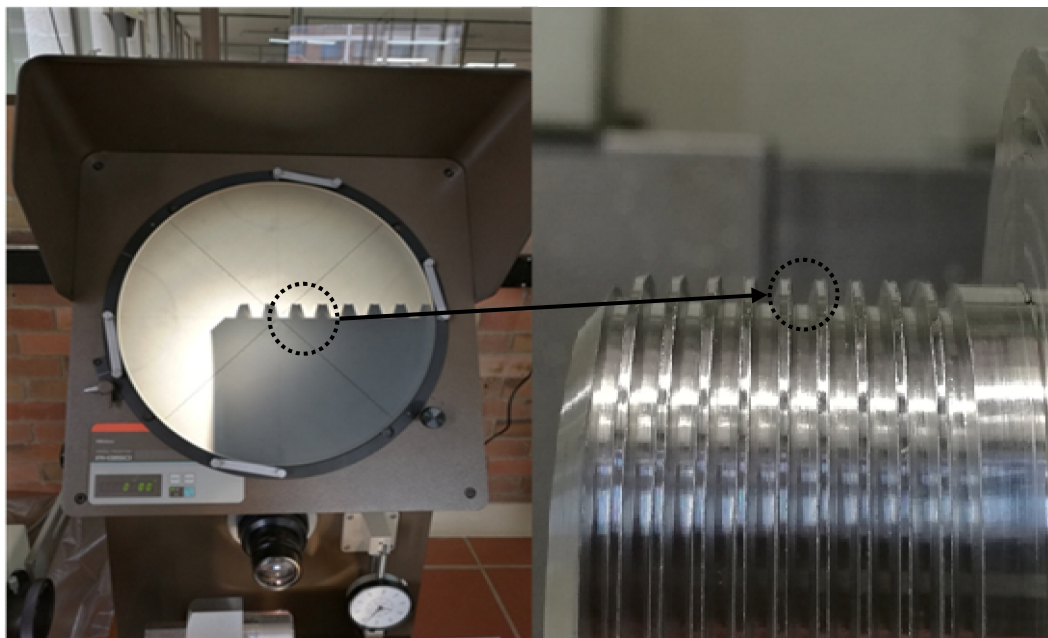
5.4 INSPECCIÓN Y METROLOGÍA DE PIEZAS

Para garantizar que el proceso de fabricación de las piezas que poseen roscado helicoidal se concluyó con éxito, fue necesario realizar una inspección minuciosa a la sección roscada de cada componente.

En el caso de la tuerca se practicó únicamente inspección visual debido a que no se cuenta con las galgas para verificar el paso de este tipo de roscas, en el caso de la rosca del tornillo fue posible realizar una inspección visual detallada y a su vez verificar el perfil en el proyector de perfiles que posee la Universidad Santo Tomás.

Es de vital importancia realizar control metrológico a las piezas mecanizadas debido a que así podemos garantizar la calidad con la cual han sido talladas las roscas trapezoidales este proceso se realizó igual a proceso de metrología de la herramienta de corte, haciendo proyección del perfil como se ve en la figura 38.

Figura 38. Metrología de la rosca externa en el proyector de perfiles.



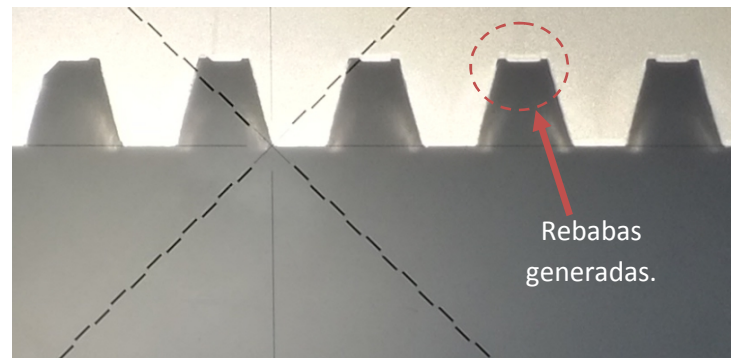
Fuente: Autor.

5.5 CORRECCIÓN DE LA APARICIÓN DE REBABAS EN LA CRESTA DE LAS ROSCAS

A partir del control metrológico practicado a los elementos roscados con perfil trapezoidal, se pone en evidencia la aparición de rebabas o sobre material en la

cresta de las roscas, en la Figura 39 se observa la proyección del perfil de la rosca exterior ya mecanizada y se aprecia la rebaba que se generó en las crestas

Figura 39. Proyección de rebabas generadas

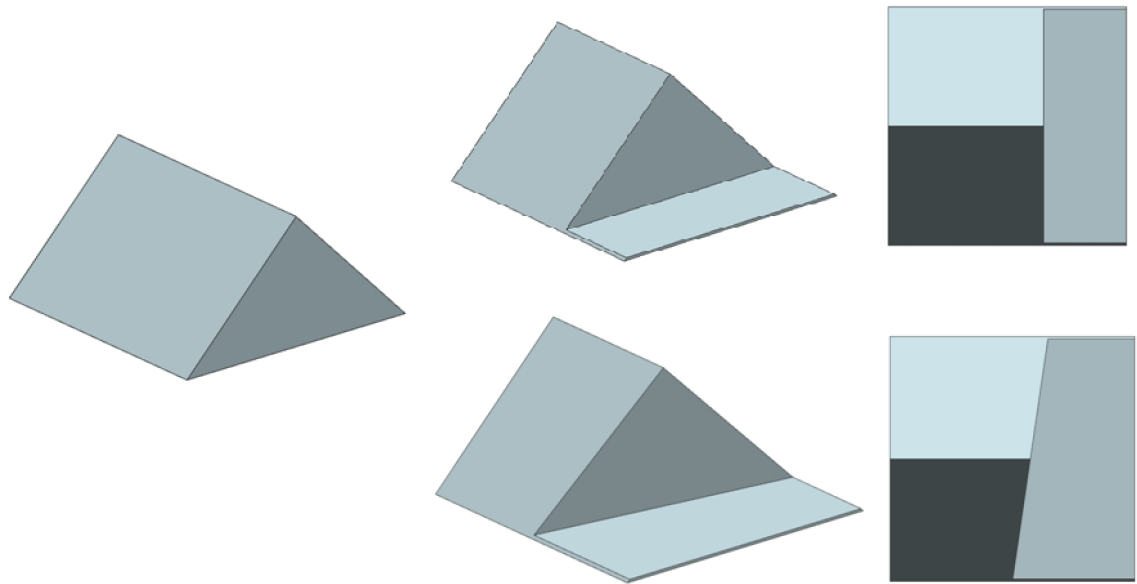


Fuente: Autor.

La aparición de este tipo de imperfecciones puede estar ligada a dos posibles factores que influyen en el mecanizado de los elementos roscados, la primera razón por la cual se evidencia la aparición de las rebabas en las crestas de la rosca, es la modificación involuntaria de las medidas iniciales del perfil trapezoidal de la herramienta, puesto que la manera en la cual se obtengan dichos filos de corte garantiza las medidas del perfil inicialmente diseñado.

La figura 40 muestra una línea punteada que representa un corte realizado en una sección de material, si se realiza el corte totalmente paralelo a la línea inferior de la pieza las medidas del perfil no se modificarán, pero si por el contrario el corte se realiza de manera diagonal esta distancia será mayor a la distancia que posee el perfil diseñado

Figura 40. Corte de material según su dirección

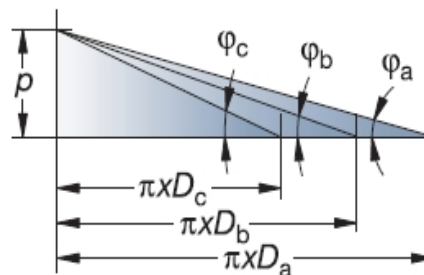


Fuente: Autor

Para este caso sería necesario realizar de nuevo un diseño de la herramienta de roscado que contemple las distancias que se modifican en el momento de fabricar los filos de corte, y así poder garantizar las medidas exactas para la rosca de perfil trapezoidal.

La segunda razón para que aparezcan rebabas es el ángulo con el cual la fresa ataca el material, para evitar que aparezcan este tipo de imperfecciones en las piezas, es necesario inclinar la herramienta de roscado un ángulo φ sujeto al diámetro mayor básico para roscas externas, en la figura 41 se aprecia el ángulo φ al cual debe ser inclinada la herramienta.

Figura 41. Triángulo para determinación de ángulo φ



Fuente: [10]

Este ángulo puede ser calculado mediante la ecuación (2 - 26):

$$\varphi = \arctan\left(\frac{P}{D * \pi}\right) \quad (2 - 26)$$

Donde φ es el ángulo de inclinación de la herramienta, P es el paso de la rosca, D hace referencia al diametro basico para roscas externas.[10]

En este caso el ángulo de inclinación del eje de la herramienta haciendo uso de la ecuación (2 - 26) debió haber sido:

$$\varphi = \arctan\left(\frac{3}{4 * \pi}\right) = 0,02273251\text{Rad.} = \mathbf{4,0918^\circ}$$

6. CONCLUSIONES

- El proyecto de grado demuestra que un centro de mecanizado CNC empleado de la manera adecuada puede llegar a suplir algunas necesidades en cuanto a mecanizado que se puedan presentar hoy en día; En este caso la operación de roscado que comúnmente se logra por torneado o laminado, fue lograda por fresado en centro de control numérico.
- La importancia del proyecto de grado en la industria radica en la facilidad de realizar roscas en elementos de geometría prismática que sean de difícil montaje en máquinas convencionales .y que por esto mismo el centro de mecanizado presenta una ventaja para realizar este tipo de trabajos.
- La utilización de programación paramétrica o programación con macros junto al buen uso de centros de mecanizado CNC flexibiliza procesos, es decir, en el momento que se desee realizar una operación común como el caso del planeado o algo más especial como en el caso del roscado, ya no se necesitaría calcular las coordenadas a las cuales debe ir la herramienta de corte, si no tan solo con saber las dimensiones de la materia prima y algunos parámetros se puede lograr cualquier tipo de operación.
- Para el roscado que fue nuestro caso de estudio, se necesitó desarrollar una herramienta de perfil especial y que cumpliera con los ángulos de corte necesarios para una herramienta monocorte estos ángulos son el Angulo de desprendimiento y el Angulo de incidencia que mediante una serie de parámetros encontrados en el texto de herramientas de corte se pudo establecer los valores adecuados.
- La herramienta que se logró diseñar y fabricar es muy especial debido a que posee un perfil trapezoidal altamente utilizado en la industria, además abarca una serie de diámetros que podrían tener el paso con el cual se diseñó la herramienta, el perfil de la herramienta se obtuvo mediante el estudio de las dimensiones de una rosca trapezoidal y las tolerancias que poseen establecidas por las normas ISO.
- Incluir los ángulos de corte para una herramienta de monocorte, en el diseño además de realizar un tratamiento térmico a la herramienta, me da respaldo para decir que el acabado de las piezas talladas es de muy buena calidad y que a pesar que no se pudieron lograr ciertos ángulos de descarga en los filos de corte, el par cinemático que se obtuvo es bastante aceptable.

- Para poder realizar el mecanizado de roscado helicoidal haciendo uso de la programación paramétrica, se selecciona un conjunto de piezas que comúnmente contengan secciones roscadas, es por esta razón que se decide mecanizar una tuerca y un tornillo con una rosca de perfil trapezoidal TR 42 X 3 7H/7e, estos elementos poseen detalles idénticos a los elementos comúnmente encontrados en el mercado, pero con la particularidad que su conformado fue 100% en el centro de mecanizado vertical y utilizando programación con macros
- La máquina virtual fue de gran ayuda en todo el proceso de diseño y verificación de macros puesto que con este tipo de herramientas virtuales es posible verificar las trayectorias y movimientos que realiza la máquina y así evitar chocar la materia prima con el husillo o con la herramienta.

7. RECOMENDACIONES

- En un futuro seria de vital importancia realizar trabajos de tesis enfocadas en el diseño y fabricación de fresas para roscado helicoidal puesto que este tipo de herramientas posee una serie de características especiales para su correcto funcionamiento.
- Se recomienda hacer uso adecuado de las tolerancias para los diámetros que intervienen tanto en roscas externas como en internas con el fin de garantizar un excelente par cinemático, de lo contrario las piezas quedaran con demasiada holgura.
- Antes de utilizar las macros para fabricar tuercas y tornillos se debe considerar las dimensiones de la materia prima, para así verificar que las piezas a mecanizar si pueden ser contenidas por la materia prima.
- se recomienda generar posicionamientos de pieza G54, G55 debido a que las dimensiones del tornillo y de la tuerca son diferentes por lo tanto la ubicación del cero de pieza varia.
- En caso de realizar roscado helicoidal mediante la utilización de programación paramétrica para otro tipo de perfil de rosca, se recomienda analizar los requerimientos en cuanto a los ángulos de corte en una herramienta monocorte, para dicho perfil de rosca y para el material el cual se va a mecanizar.
- Es de vital importancia conocer con certeza la designación material para fabricar las herramientas debido a que dependiendo de su designación se encuentran diferentes curvas de temple.
- Se recomienda calcular el ángulo ϕ de inclinación del eje de la fresa previo al mecanizado, aplicando esta desviación en la herramienta de corte se evitará la generación de sobre material en la superficie externa de las crestas de la rosca trapezoidal.

8. BIBLIOGRAFÍA

- [1] “Entre Vueltas y Roscas : A la industria no le sobra un tornillo,” *Metal Actual*, 2015. .
- [2] “ROTON quality screws and nuts for power transmissions. trapezoidal leads screws,” *Roton Products Inc.* [Online]. Available: <http://www.roton.com/trapezoidal-lead-screws.aspx?line=Trapezoidal#1>.
- [3] M. Kisan, S. Sangathan, J. Nehru, and S. G. Pitroda, “Norma ISO 2901:1993 ISO METRIC TRAPEZOIDAL SCREW THREADS part 1 basic profile and maximum material profile,” 1999.
- [4] M. Kisan, S. Sangathan, J. Nehru, and S. G. Pitroda, “Norma ISO 2902:1977 ISO METRIC TRAPEZOIDAL SCREW THREADS part 2 pitch and diameter combinations,” 1988.
- [5] Ing. Guillermo C., “Tornillos de Fijación,” Buenos aires, Argentina, 2007. [Online]. Available: http://www3.fi.mdp.edu.ar/emaquinas/files/tornillo_fijacion.pdf.
- [6] M. Kisan, S. Sangathan, J. Nehru, and S. G. Pitroda, “Norma ISO 2903:1993 ISO METRIC TRAPEZOIDAL SCREW THREADS part 4 Tolerances,” 1999.
- [7] G. Bavaresco, “Partes de una fresadora.” [Online]. Available: <http://gabpingenieria.weebly.com/>.
- [8] “Elementos de maquinas: Roscado tuercas y tornillos,” *Carlos Anez*, 2013. [Online]. Available: <http://elementodemaquinacarlosanez.blogspot.com.co/2013/12/roscado-tuercas-y-tornillos.html>.
- [9] M. Rossi, *Máquinas, herramientas modernas*, VOL 2. editorial Dossat SA, 1981
- [10] “Guia de aplicacion Roscado torneado y fresado de roscas,” *Coromant, Sandvick*, 2010.
- [11] C. G. munoz Santiago Burbano de Ercilla, Enrique Burbano Garcia, *FISICA GENERAL*, 32a ed. Madrid, 2003.
- [12] “Herramientas manuales: Formon serie 5000,” *Stanley Black and Decker*. [Online]. Available: <http://www.stanleytools.com.co/es-cl/herramientas-manuales/formones/item/formon-serie-5000.html>.
- [13] G. F. Micheletti, *Tecnología mecánica MECANIZADO POR ARRANQUE DE VIRUTA*, Primera ed. Barcelona: editorial Blume, 1980.
- [14] “Mecanizado,” *La Reina, Construcciones metalicas*, 2011. [Online].

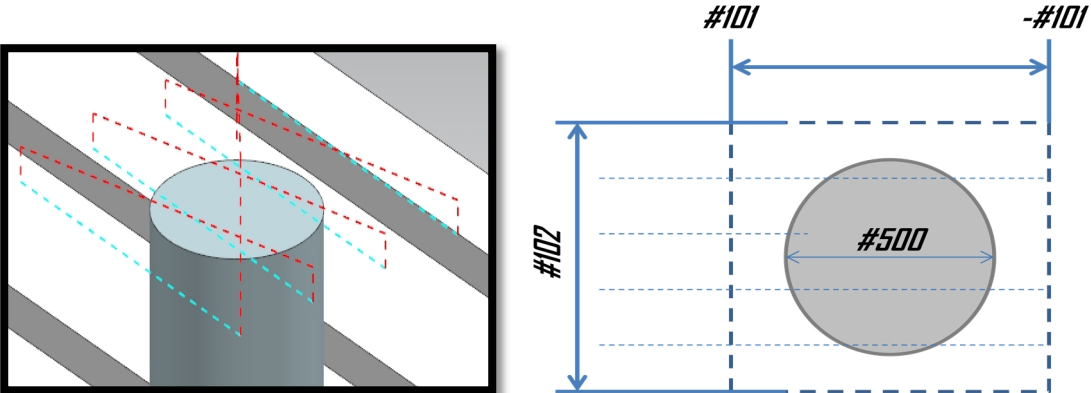
Available:

<http://construccionesmetalicascelr.blogspot.com.co/2011/11/mecanizado.html>.

- [15] P. Smid, *Fanuc CNC Custom Macros: Programming Resources for Fanuc Custom Macro B Users*. New York: Industrial Press, 2005.
- [16] “Programacion cnc Iso ‘Saltos y comparaciones,’” 2010. [Online]. Available: <http://programacioncnciso.blogspot.com.co/2010/02/saltos-y-comparaciones.html>.
- [17] J. Andrés, G. Barbosa, J. Manuel, and A. Osorio, “Simulación de Arranque de Viruta en Máquinas Multieje CNC,” *Metal Actual*, pp. 48–53.
- [18] F. R. Yamid, “DESARROLLO DE PROCEDIMIENTO PARA LA GENERACIÓN, SIMULACIÓN Y VERIFICACIÓN DE MAQUINADO EN CENTRO DE MECANIZADO CNC MULTIEJES,” Universidad Santo Tomas, 2013.
- [19] J. Gonzales, “Grupopedia: Qué es el acero de plata.” [Online]. Available: <http://www.grupopedia.com/ciencia/materiales/que-es-el-acero-de-plata/>.
- [20] “ACERO PLATA DIN 1.2210 115CrV3 – ASTM L2 – JIS SKS43,” *Ferrocortes G.M y CIA S.A.S.*, 2016. .
- [21] G. M. y H. Mendoza, “Aceros para trabajo en frío,” pp. 2 – 4.[Online] Available: <http://www.elacero.com.ec/pdf/aceros.pdf>
- [22] Tecnotratamiento, “Temple,” 2004. [Online]. Available: <http://www.tecnotratamiento.co/empresa/>.
- [23] “Aceros de alto desempeno,” *Axxecol S.A.*, 2015. [Online]. Available: <http://www.axxecol.com/DwPortal/331/Productos>.

ANEXO A

Macro O150 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación planeado

	
(MACRO O150 TUERCA ROSCA TR 42 X 3 7H/7e OPERACIÓN PLANEADO);	Título de la macro
(#500= DIÁMETRO DE LA MATERIA PRIMA);	El diámetro de la materia prima se necesita ya que a partir de este dato se calculan las trayectorias
#500= 70;	Recomendación: es importante saber con certeza el diámetro de la materia prima para evitar que la herramienta realice pasadas innecesarias
(#501= DIÁMETRO DE LA HTA);	Nota: Esta información es suministrada por el proveedor de herramientas de corte
#501= 50;	Ingreso del valor del diámetro de la herramienta
(OPERACIONES MATEMÁTICAS);	Calculo de operaciones matemáticas
#100=#500/2;	Calculo del radio de la materia prima
#101=#100+#501/2+10;	Calculo de primera posición en X de la herramienta añadiendo una distancia de más para que sea suficiente el recorrido de la herramienta
#102=#100-#500/4;	Calculo de la primera posición en Y de la herramienta
#103= [#501*3]/4;	Calculo del valor de 3/4 del diámetro de la herramienta debido a que en este tipo de operación se realiza solo con 3/4 del diámetro de la herramienta
(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);	Ejecución del problema a solucionar
G80 G40 G94 G17 G54;	Bloque inicial selección de plano X-Z
G91 G28 Z0;	Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales
G28 X0 Y0;	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales

Fuente: Autor.

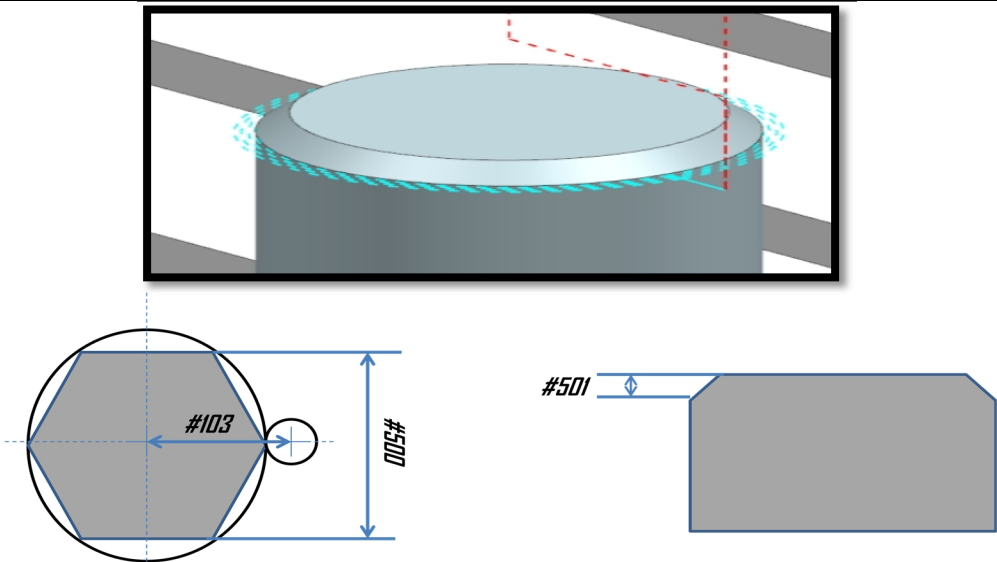
Continuación Macro O150 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación planeado

<i>M6 T03;</i>	Llamado de herramienta
<i>M3 S2000;</i>	Encender husillo
<i>M8;</i>	Encender refrigerante
<i>G90 G00 X0 Y0;</i>	Posicionamiento rápido ejes X-Y
<i>G00 G43 Z20 H03;</i>	Altura previa de la herramienta
<i>N5 G00 X-#101 Y#102;</i>	Inicio de ciclo, posicionamiento rápido en X primera posición negativa y Y primera posición
<i>G00 Z0;</i>	Posicionamiento rápido en Z
<i>G01 X#101 F640;</i>	Interpolación lineal hasta X primera posición, avance de la herramienta
<i>G00 Z10;</i>	Posicionamiento rápido en Z
<i>#102=#102-#103;</i>	Redefine la variable #102, nueva posición en Y
<i>IF [#100 GT-#102]GOTO5;</i>	Condición de ciclo para finalizar operación, mientras que el #100 sea mayor que - #102, ir a inicio de ciclo, de lo contrario continuar
<i>G00 X0 Y0;</i>	Posicionamiento rápido en X - Y
<i>M9;</i>	Apagar husillo
<i>M5;</i>	Apagar refrigerante
<i>M30;</i>	Finalizar programa.

Fuente: Autor

ANEXO B

Macro O152 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación chaflán sección hexagonal

	
(MACRO O152 TUERCA ROSCA TR 42 X 3 7H/7e OPERACIÓN CHAFLÁN SECCIÓN HEXAGONAL);	Título de la macro
(#500= LONGITUD ENTRE CARAS);	Esta medida es tomada de una cara a la cara inmediatamente paralela del hexágono, esta medida se da en milímetros
#500= 60;	Nota: en este caso se toma una longitud de 60 mm. Debido a que la materia prima únicamente podida contener máximo esta medida
(#501= PROFUNDIDAD DE CHAFLÁN);	Profundidad hasta la cual va a ir el chaflán
#501=5;	Se recomienda verificar las dimensiones de la herramienta de corte con el fin de no estrellar la herramienta con la materia prima
(#502= PROFUNDIDAD DE CORTE);	Profundidad a la cual se va a realizar cada pasada
#502=1;	Valor de profundidad de corte
(OPERACIONES MATEMÁTICAS);	Calculo de operaciones matemáticas
#100=0;	Valor cero
#101=#500/2;	Divide la longitud entre caras

Fuente: Autor

Continuación Macro O152 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación chaflán sección hexagonal

#102= [2*#101]/1.73205;	Calculo del apotema del hexágono multiplicado por dos
#103= [2*#101]/1.73205+1+#501;	Calculo de primera posición en X haciendo uso de #102
#104=#103+5;	Primera posición en X más distancia segura
#106=#102+1;	Dato de comparación para ciclo
#107=#501+0.4;	Profundidad de chaflán más distancia extra para asegurar mecanizado de chaflán
#108=#103-#106;	Resta primera posición en X menos #106
#109=#108/#502;	División #108 por profundidad de corte
#110=FIX [#109];	Toma el valor entero del #109
#111=#110*#502;	Multiplicación #110 por profundidad de corte
#112=#501-#111;	Resta de profundidad de corte menos #111
#103=#103+#112;	Redefine #103
(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);	Ejecución del problema a solucionar
G80 G40 G94 G17 G54;	Bloque inicial selección de plano X-Z
G91 G28 Z0;	Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales
G28 X0 Y0;	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales
M6 T01;	Llamado de herramienta
M3 S5000;	Encender husillo
M8;	Encender refrigerante
G90 G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido ejes X-Y
G00 G43 Z20 H01;	Altura previa de la herramienta
N10 G00 X#104 Y#100;	Inicio de ciclo, posicionamiento rápido de X En primera posición a distancia segura
G00 Z-#107;	Posicionamiento rápido en Z profundidad de chaflán más distancia
G01 X#103 F500;	Interpolación lineal en X primera posición redefinida
G02 X-#103 Y#100 R#103;	Interpolación circular sentido horario en X primera posición negativa redefinida
G02 X#103 Y#100 R#103;	Interpolación circular sentido horario en X primera posición redefinida
G01 X#104 Y#100;	Interpolación lineal en X distancia segura
#103=#103-#502;	Redefine #103
IF[#103GE#106]GOTO10;	Condición de ciclo para finalizar operación, mientras que el #103 sea mayor o igual que #106, ir a inicio de ciclo, de lo contrario continuar

Fuente: Autor

Continuación Macro O152 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación chaflán sección hexagonal

<i>G00 Z50;</i>	Posicionamiento rápido en Z
<i>G00 X0 Y0;</i>	Posicionamiento rápido en X-Y
<i>M9;</i>	Apagar husillo
<i>M5;</i>	Apagar refrigerante
<i>M30</i>	Finalizar programa

Fuente: Autor

ANEXO C

Macro O153 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación sección hexagonal

(MACRO O153 TUERCA ROSCA TR 42 X 3 7H/7e OPERACIÓN SECCIÓN HEXAGONAL);	Título de la macro
(#500= LONGITUD ENTRE CARAS);	Esta medida es tomada de una cara a la cara inmediatamente paralela del hexágono, esta medida se da en milímetros
#500= 60;	Nota: en este caso se toma una longitud de 60 mm. Debido a que la materia prima únicamente podida contener máximo esta medida
(#501= DIÁMETRO DE LA HERRAMIENTA PARA HEXÁGONO);	Este dato se encuentra en los catálogos de los fabricantes de herramientas de corte
#501= 16;	Herramienta utilizada MEC 16
(#502= PROFUNDIDAD TOTAL DEL HEXÁGONO);	Profundidad total a la cual va a ir el hexágono
#502= 25;	Nota: se recomienda verificar el cuello que se tiene en la herramienta con el fin de no llegar a estrellar el husillo con la materia prima
(#503= PROFUNDIDAD POR PASADA);	Profundidad máxima que la herramienta de corte ingresa en el material para generar desprendimiento de viruta

Fuente: Autor

Continuación Macro O153 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación sección hexagonal

#503= 3;	Este dato se encuentra en los catálogos de los fabricantes de las herramientas, como también puede ser determinado por el tipo de material a mecanizar
(OPERACIONES MATEMÁTICAS);	Calculo de operaciones matemáticas
#100=#501/2;	Calculo del radio de la herramienta para hacer compensación de herramienta
#101=#500/2+#100;	Divide la longitud entre caras y le suma la Compensación de herramientas
#102=#502/#503;	División de la profundidad total del hexágono por la profundidad por pasada
#103=FIX [#102];	Toma el valor entero de #102
#104=#503*#103;	Multiplica profundidad por pasada por #103
#105=#502-#104;	Calculo de la primera posición en Z
#106=#101/1.73205;	Calculo de la apotema del hexágono
#107= [2*#101]/1.73205;	Multiplica la apotema por dos
#108=#107+10;	#107 más una distancia segura
#109=#503;	Incremento en altura igual a #503
#110=0;	Valor cero
(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);	Ejecución del problema a solucionar
G80 G40 G94 G17 G54;	Bloque inicial selección de plano X-Z
G91 G28 Z0;	Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales
G28 X0 Y0;	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales
M6 T13;	Llamado de herramienta
M3 S4000;	Encender husillo
M8;	Encender refrigerante
G90 G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido ejes X-Y
G00 G43 Z20 H13;	Altura previa de la herramienta
N10 G01 X#108 F400;	Inicio de ciclo, interpolación lineal en X #108
G01 Z-#105;	Interpolación lineal acercamiento de la herramienta en el eje Z, posición inicial
G01 X#107;	Acercamiento en X a posición #107
G01 X#106 Y-#101;	Movimiento lineal a X posición apotema de hexágono, Y posición #101 negativa
G01 Y-#101 X-#106;	Movimiento lineal a X posición apotema de hexágono negativa
G01 X-#107 Y#110;	Movimiento lineal a X posición #107 negativa, Y Posición valor cero

Fuente: Autor

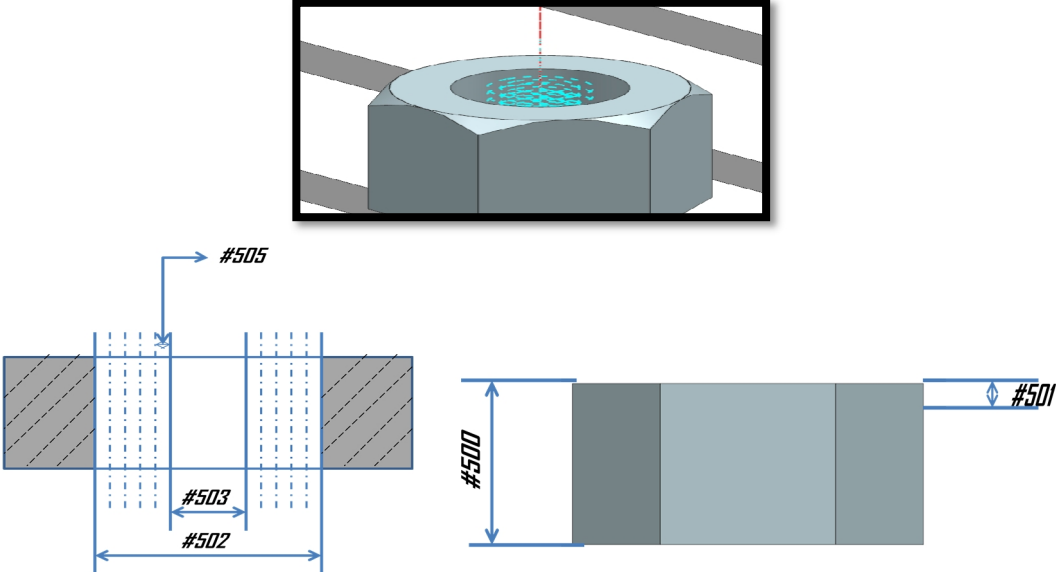
Continuación Macro O153 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación sección hexagonal

<i>G01 X-#106 Y#101;</i>	Movimiento lineal a X posición apotema de hexágono negativa, Y posición #101
<i>G01 X#106 Y#101;</i>	Movimiento lineal a X posición apotema de hexágono, Y posición #101
<i>G01 X#107 Y#110;</i>	Movimiento lineal a X posición #107, Y Posición valor cero
<i>#105=#105+#109;</i>	Redefine #105 para nueva altura en Z
<i>IF[#502GE#105]GOTO10;</i>	Condicional de ciclo para finalizar operación, mientras que el #502 sea mayor o igual que #105, ir a inicio de ciclo, de lo contrario continuar
<i>G01 X#108;</i>	Movimiento para posición segura en X
<i>G00 Z10;</i>	Movimiento rápido en Z posición segura
<i>G00 X0 Y0;</i>	Posicionamiento rápido ejes X-Y
<i>G00 Z100;</i>	Posicionamiento rápido ejes Z
<i>M9;</i>	Apagar husillo
<i>M5;</i>	Apagar refrigerante
<i>M30;</i>	Finalizar programa

Fuente: Autor

ANEXO D

Macro O154 para tuerca TR 42x3 7H/7e operación agujero-ampliación

	
(MACRO O154 PARA TUERCA TR 42X3 7H/7e OPERACIÓN AGUJERO-AMPLIACIÓN);	Título de la macro
(#500= PROFUNDIDAD TOTAL);	Profundidad total de agujero previo
#500= 27;	Nota: se debe considerar una profundidad con unos milímetros de más con el fin de que la herramienta de roscado no se estrelle ni rose con el fondo del material
(#501= PROFUNDIDAD POR PASADA);	Profundidad máxima que la herramienta de corte ingresa en el material para generar desprendimiento de viruta
#501= 3;	Este dato se encuentra en los catálogos de los fabricantes de las herramientas, como también puede ser determinado por el tipo de material a mecanizar
(#502= DIÁMETRO MENOR);	Esta medida se determina mediante el uso de las ecuaciones para determinar el diámetro menor en roscas internas.
#502= 39.1;	Nota: se debe considerar la tolerancia que existe establecida para el diámetro menor en roscas internas
(#503= DIÁMETRO DE AGUJERO PREVIO);	Diámetro que se mecaniza previo a la ampliación hasta diámetro menor para roscas internas
#503= 22;	Herramienta que se utiliza broca de 22 mm.
(#504= DTO. DE HTA PARA AMPLIACIÓN);	Este dato se encuentra en los catálogos de los fabricantes de herramientas de corte
#504= 16;	Herramienta utilizada MEC 16

Fuente: Autor

Continuación Macro O154 para tuerca TR 42x3 7H/7e operación agujero-ampliación

(#505=PROFUNDIDAD DE CORTE RADIAL);	Profundidad de corte radial en la cual la herramienta va a iniciar desprendimiento de viruta
#505= 3;	Nota: se recomienda que los valores no sean muy grandes para evitar que se genere desgaste en la herramienta
(OPERACIONES MATEMÁTICAS);	Calculo de operaciones matemáticas
#102=#500/#501;	División de la profundidad total del agujero entre la profundidad por pasada
#103=FIX [#102];	Toma el valor entero de #102
#104=#501*#103;	Multiplica la profundidad por pasada por #103
#105=#500-#104;	Contador, primera posición en Z para ampliación
#108=#502-#504;	Resta entre diámetro menor en roscas internas y diámetro de herramienta para ampliación
#109=#503-#504;	Resta entre diámetro del agujero previo y diámetro de la herramienta para ampliación
#110= [#108-#109]/2;	Calculo del radio inicial para ampliación
#111=#110/#505;	Divide #110 en la profundidad de corte radial
#112=FIX [#111];	Toma el valor entero de #111
#113=#112*#505;	Multiplica #112 por profundidad de corte radial
#114=#110-#113;	Calculo de primer valor a incrementar en X para ampliación
#115= [#109/2]+#114;	Calculo de primera posición en X para ampliación
#116=#502/2-#504/2;	Dato de comparación para ciclo de ampliación de diámetro
#117=#500+1;	Profundidad en Z para agujero previo
(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);	Ejecución del problema a solucionar
G80 G40 G94 G17 G54;	Bloque inicial selección de plano X-Z
G91 G28 Z0;	Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales
G28 X0 Y0;	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales
M6 T04;	Llamado de herramienta
M3 S4300;	Encender husillo
M8;	Encender refrigerante
G90 G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido ejes X-Y
G00 G43 Z20 H04;	Altura previa de la herramienta
G01 Z-#117 F330;	Interpolación lineal en Z profundidad para agujero previo
G01 Z0;	Devuelve la herramienta, interpolación lineal a Z0
G00 Z10;	Movimiento rápido en Z
G80 G40 G94 G17 G54;	Bloque inicial selección de plano X-Z

Fuente: Autor

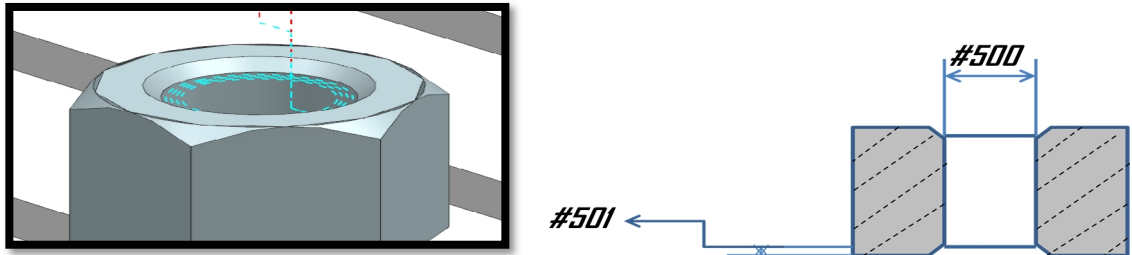
Continuación Macro O154 para tuerca TR 42x3 7H/7 operación agujero-ampliación

G91 G28 Z0;	Posición inicial eje Z de máquina en incrementales
G28 X0 Y0;	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales
M6 T13;	Llamado de herramienta
M3 S4000;	Encender husillo
M8;	Encender refrigerante
G90 G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido ejes X-Y
G00 G43 Z20 H13;	Altura previa de la herramienta
N15 G00 X0;	Inicio de ciclo para aumento de diámetro hasta el diámetro menor en roscas internas
G00 Y0;	Posicionamiento rápido en y
G00 Z0;	Posicionamiento rápido en Z
#105=0;	Convierte #105=0
#102=#500/#501;	Redefine #102
#103=FIX [#102];	Redefine #103
#104=#501*#103;	Redefine #104
#105=#500-#104;	Redefine #105 para nueva altura en Z
N20 G01 X0 Y0;	Inicio de ciclo para altura en Z
G01 Z-#105 F400;	Interpolación lineal en Z primera posición para ampliación negativa
G01 X#115;	Acercamiento para iniciar ampliación, Interpolación lineal en X primera posición para ampliación
G03 X-#115 Y0 R#115;	Interpolación circular sentido anti horario, en X primera posición para ampliación negativa
G03 X#115 Y0 R#115;	Interpolación circular sentido anti horario, en X primera posición para ampliación
#105=#105+#505;	Contador para altura en Z, redefine el valor de #105
IF[#500GE#105]GOTO20;	Condicional de ciclo para finalizar operación altura en Z, mientras que el #500 sea mayor o igual que #105, ir a inicio de ciclo, de lo contrario continuar
#105=0;	Convierte #105=0
#115=#115+#505;	Contador para altura en Z, redefine el valor de #105
IF[#116GE#115]GOTO15;	Condicional de ciclo para finalizar operación ampliación hasta diámetro menor para roscas internas, mientras que el #116 sea mayor o igual que #115, ir a inicio ciclo, de lo contrario continuar
G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido en X-Y
G00 Z50;	Posicionamiento rápido en Z
M9;	Apagar husillo
M5;	Apagar refrigerante
M30;	Finalizar programa

Fuente: Autor.

ANEXO E

Macro O155 tuerca rosca 42 x 3 7H/7e operación chaflán sección roscada

	
(MACRO O155 TUERCA ROSCA TR 42 X 3 7H/7e OPERACIÓN CHAFLÁN SECCIÓN ROSCADA);	Título de la macro
(#500= DIÁMETRO MENOR);	Esta medida se determina mediante el uso de las ecuaciones para determinar el diámetro menor en roscas internas.
#500= 39.1;	Nota: se debe considerar la tolerancia que existe establecida para el diámetro menor en roscas internas
(#501= PROFUNDIDAD DE CHAFLÁN);	Profundidad hasta la cual va a ir el chaflán
#501=3.5;	Se recomienda verificar las dimensiones de la herramienta de corte con el fin de no estrellar la herramienta con la materia prima
(#502= PROFUNDIDAD DE CORTE);	Profundidad a la cual se va a realizar cada pasada
#502= 1;	Valor de profundidad de corte
(OPERACIONES MATEMÁTICAS);	Calculo de operaciones matemáticas
#100=0;	Valor cero
#101=#500/2;	calculo del radio menor para roscas internas
#103=#101-1-#501;	Calculo de primera posición en X
#104=#103-5;	Primera posición en X menos distancia segura
#106=#101-1;	Dato de comparación para ciclo
#107=#501+0.4;	Profundidad de chaflán más distancia extra para asegurar mecanizado de chaflán
#108=#106-#103;	Resta primera posición en X menos #106
#109=#108/#502;	División #108 por profundidad de corte
#110=FIX [#109];	Toma el valor entero del #109
#111=#110*#502;	Multiplicación #110 por profundidad de corte
#112=#501-#111;	Resta de profundidad de corte menos #111
#103=#103+#112;	Redefine #103

Fuente: Autor

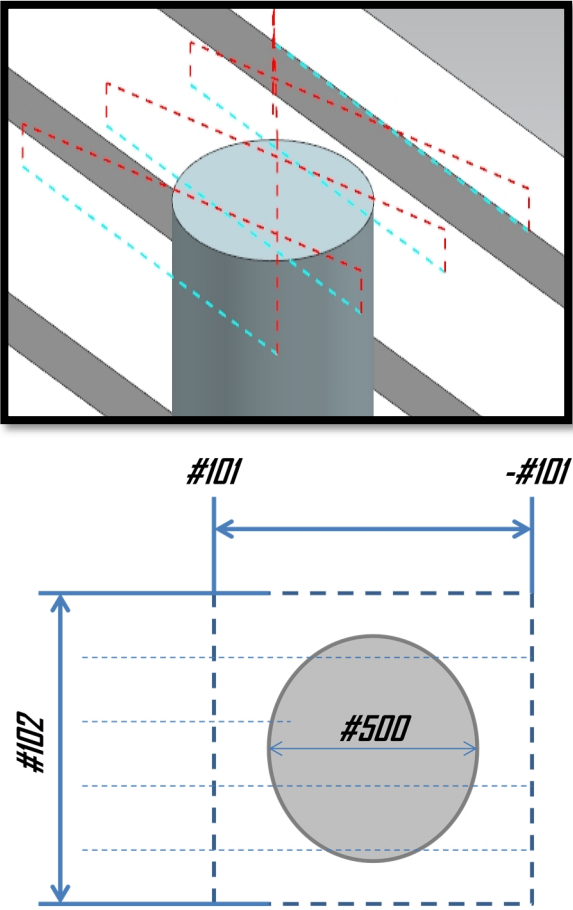
Continuación Macro O155 tuerca rosca 42 x 3 7H/7e operación chaflán sección roscada

<i>(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);</i>	Ejecución del problema a solucionar
<i>G80 G40 G94 G17 G54;</i>	Bloque inicial selección de plano X-Z
<i>G91 G28 Z0;</i>	Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales
<i>G28 X0 Y0;</i>	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales
<i>M6 T01;</i>	Llamado de herramienta
<i>M3 S5000;</i>	Encender husillo
<i>M8;</i>	Encender refrigerante
<i>G90 G00 X0 Y0;</i>	Posicionamiento rápido ejes X-Y
<i>G00 G43 Z20 H01;</i>	Altura previa de la herramienta
<i>N10 G01 X#104 Y#100 F500;</i>	Inicio de ciclo, posicionamiento rápido de X En primera posición a distancia segura
<i>G01 Z-#107;</i>	Posicionamiento rápido en Z profundidad de chaflán más distancia
<i>G01 X#103;</i>	Interpolación lineal en X primera posición redefinida
<i>G03 X-#103 Y#100 R#103;</i>	Interpolación circular sentido horario en X primera posición negativa redefinida
<i>G03 X#103 Y#100 R#103;</i>	Interpolación circular sentido horario en X primera posición redefinida
<i>G01 X#104 Y#100;</i>	Interpolación lineal en X distancia segura
<i>#103=#103+#502;</i>	Redefine #103 para nueva posición a la cual llega la herramienta
<i>IF[#106GE#103]GOTO10;</i>	Condional de ciclo para finalizar operación, mientras que el #106 sea mayor o igual que #103, ir a inicio de ciclo, de lo contrario continuar
<i>G01 Z10;</i>	Posicionamiento rápido en Z
<i>G00 X0 Y0;</i>	Posicionamiento rápido en X-Y
<i>M9;</i>	Apagar husillo
<i>M5;</i>	Apagar refrigerante
<i>M30;</i>	Finalizar programa

Fuente: Autor

ANEXO F

Macro O160 tornillo rosca TR 42 x 3 7H/7e operación planeado

	
(MACRO O160 TORNILLO ROSCA TR 42 X 3 7H/7e OPERACIÓN PLANEADO);	Título de la macro
(#500= DIÁMETRO DE LA MATERIA PRIMA);	El diámetro de la materia prima se necesita ya que a partir de este dato se calculan las trayectorias
#500= 70;	Recomendación: es importante saber con certeza el diámetro de la materia prima para evitar que la herramienta realice pasadas innecesarias
(#501= DIÁMETRO DE LA HTA);	Nota: Esta información es suministrada por el proveedor de herramientas de corte
#501= 50;	Ingreso del valor del diámetro de la herramienta
(OPERACIONES MATEMÁTICAS);	Calculo de operaciones matemáticas
#100=#500/2;	Calculo del radio de la materia prima

Fuente: Autor

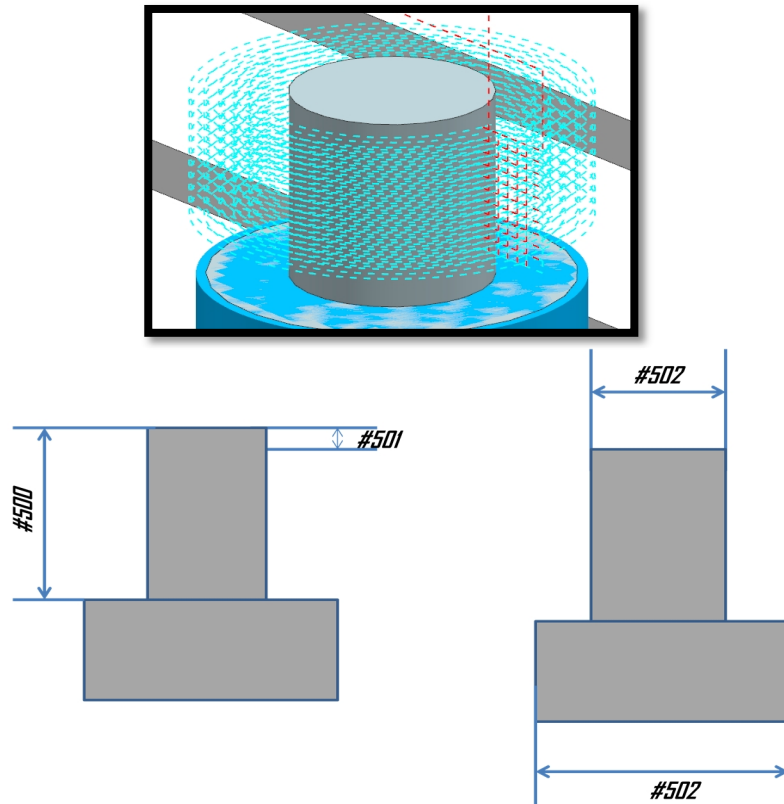
Continuación Macro O160 tornillo rosca TR 42 x 3 7H/7e operación planeado

#101=#100+#501/2+10;	Calculo de primera posición en X de la herramienta añadiendo una distancia de más para que sea suficiente el recorrido de la herramienta
#102=#100-#500/4;	Calculo de la primera posición en Y de la herramienta
#103= [#501*3]/4;	Calculo del valor de 3/4 del diámetro de la herramienta debido a que en este tipo de operación se realiza solo con 3/4 del diámetro de la herramienta
(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);	
G80 G40 G94 G17 G54;	Bloque inicial selección de plano X-Z
G91 G28 Z0;	Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales
G28 X0 Y0;	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales
M6 T03;	Llamado de herramienta
M3 S2000;	Encender husillo
M8;	Encender refrigerante
G90 G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido ejes X-Y
G00 G43 Z20 H03;	Altura previa de la herramienta
N5 G00 X-#101 Y#102;	Inicio de ciclo, posicionamiento rápido en X primera posición negativa y Y primera posición
G00 Z0;	Posicionamiento rápido en Z
G01 X#101 F640;	Interpolación lineal hasta X primera posición, avance de la herramienta
G00 Z10;	Posicionamiento rápido en Z
#102=#102-#103;	Redefine la variable #102, nueva posición en Y
IF [#100 GT-#102]GOTO5;	Condición de ciclo para finalizar operación, mientras que el #100 sea mayor que - #102, ir a inicio de ciclo, de lo contrario continuar
G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido en X - Y
M9;	Apagar husillo
M5;	Apagar refrigerante
M30;	Finalizar programa.

Fuente: Autor

ANEXO G

Macro O161 para tornillo TR 42x3 7H/7e operación reducción de diámetro

	
(MACRO O161 PARA TORNILLO TR 42X3 7H/7e OPERACIÓN REDUCCIÓN DE DIÁMETRO);	Título de la macro
(#500= PROFUNDIDAD TOTAL);	Profundidad total hasta la cual se va a realizar la reducción al diámetro mayor para roscas externas
#500= 37;	Nota: se recomienda medir el cuello de la herramienta para la reducción con el fin de no estrellar la materia prima con el husillo
(#501= PROFUNDIDAD POR PASADA);	Profundidad máxima que la herramienta de corte ingresa en el material para generar desprendimiento de viruta
#501= 3;	Este dato se encuentra en los catálogos de los fabricantes de las herramientas, como también puede ser determinado por el tipo de material a mecanizar
(#502= DIÁMETRO MAYOR);	Esta medida se determina mediante el uso de las ecuaciones para determinar el diámetro mayor en roscas externas.

Fuente: Autor

Continuación Macro O161 para tornillo TR 42x3 7H/7e operación reducción de diámetro

#502= 41.9;	Nota: se debe considerar la tolerancia que existe establecida para el diámetro mayor en roscas externas
(#503= DIÁMETRO DE MATERIA PRIMA);	Diámetro inicial de trabajo, diámetro de materia prima
#503= 70;	Este dato es suministrado por los proveedores del material, o realizando metrología a la materia prima
(#504= DTO DE HTA PARA REDUCCIÓN);	Este dato se encuentra en los catálogos de los fabricantes de herramientas de corte
#504= 16;	Herramienta utilizada MEC 16
(#505=PROFUNDIDAD DE CORTE RADIAL);	Profundidad de corte radial en la cual la herramienta va a iniciar desprendimiento de viruta
#505= 3;	Nota: se recomienda que los valores no sean muy grandes para evitar que se genere desgaste en la herramienta
(OPERACIONES MATEMÁTICAS);	Calculo de operaciones matemáticas
#101=0;	Valor cero
#102=#500/#501;	División de la profundidad total del agujero entre la profundidad por pasada
#103=FIX [#102];	Toma el valor entero de #102
#104=#501*#103;	Multiplica la profundidad por pasada por #103
#105=#500-#104;	Contador, primera posición en Z para reducción a diámetro mayor para roscas externas
#106= [#503+#504]/2;	Calculo del radio inicial con respecto a la materia prima
#107= [#502+#504]/2;	Calculo del radio final con respecto al diámetro mayor para roscas externas
#108=#106-#107;	Diferencia entre radios calculados
#109=#108/#505;	Divide #108 en la profundidad de corte radial
#110=FIX [#109];	Toma el valor entero de #109
#111=#110*#505;	Multiplica #110 por profundidad radial de corte
#112=#108-#111;	Diferencia entre #108 y #111
#113=#106-#112;	Calculo de primera posición en X para inicio de reducción
#114=#106+5;	Calculo de posición segura

Fuente: Autor

Continuación Macro O161 para tornillo TR 42x3 7H/7e operación reducción de diámetro

(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);	Ejecución del problema a solucionar
G80 G40 G94 G17 G54;	Bloque inicial selección de plano X-Z
G91 G28 Z0;	Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales
G28 X0 Y0;	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales
M6 T13;	Llamado de herramienta
M3 S4000;	Encender husillo
M8;	Encender refrigerante
G90 G00 X#101 Y#101;	Posicionamiento rápido ejes X-Y
G00 G43 Z20 H13;	Altura previa de la herramienta
N15 G00 X#115;	Inicio de ciclo para nuevo diámetro para reducción
G00 Y#101;	Movimiento rápido en Y
G00 X#101;	Movimiento rápido en Z
#105=0;	Convierte #105=0
#102=#500/#501;	Redefine #102
#103=FIX [#102];	Redefine #103
#104=#501*#103;	Redefine #104
#105=#500-#104;	Redefine #105 para nueva altura en Z
N20 G00 X#114;	Inicio de ciclo altura en Z, posicionamiento rápido en X distancia segura
G01 Z-#105 F400;	Interpolación lineal en Z Altura redefinida negativa
G01 X#113;	Interpolación lineal en X a posición inicial para reducción
G02 X-#113 Y#101 R#113;	Interpolación circular en sentido horario en X a posición inicial negativa
G02 X#113 Y#101 R#113;	Interpolación circular en sentido horario en X a posición inicial
#105=#105+#505;	Redefine #105 para nueva altura en Z
IF[#500GE#105]GOTO20;	Condición de ciclo para finalizar altura en Z, mientras que el #500 sea mayor o igual que #105, ir a inicio de ciclo, de lo contrario continuar
#105=0;	Redefine #105 valor cero
#113=#113-#505;	Redefine la posición inicial en X para educación hasta diámetro mayor para roscas externas
#114=#113+5;	Redefine #114 nueva posición segura

Fuente: Autor

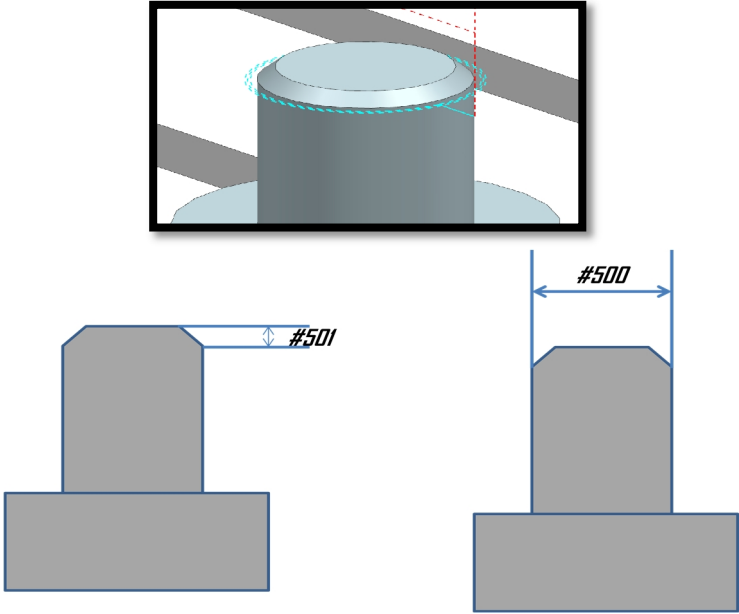
Continuación Macro O161 para tornillo TR 42x3 7H/7e operación reducción de diámetro

<i>IF[#113GE#107]GOTO15;</i>	Condicional de ciclo para finalizar reducción hasta diámetro mayor en roscas externas, mientras que el #113 sea mayor o igual que #107, ir a inicio de ciclo, de lo contrario continuar
<i>G01 X#114;</i>	Interpolación lineal en X a posición segura
<i>G00 Z100;</i>	Posicionamiento rápido en Z
<i>G00 X#101 Y#101;</i>	Posicionamiento rápido en X-Y
<i>M9;</i>	Apagar husillo
<i>M5;</i>	Apagar refrigerante
<i>M30;</i>	Finalizar programa

Fuente: Autor

ANEXO H

Macro O162 tornillo rosca TR 42 x 3 7H/7e operación chaflán sección roscada

	
(MACRO O162 TORNILLO ROSCA TR 42 X 3 7H/7e OPERACIÓN CHAFLÁN SECCIÓN ROSCADA);	Título de la macro
(#500= DIÁMETRO MAYOR PARA ROSCAS EXTERNAS);	Esta medida se determina mediante el uso de las ecuaciones para un perfil trapezoidal hallando el diámetro mayor en roscas externas.
#500= 60;	Nota: se debe considerar la tolerancia que existe establecida para el diámetro mayor en roscas externas
(#501= PROFUNDIDAD DE CHAFLÁN);	Profundidad hasta la cual va a ir el chaflán
#501=3.5;	Se recomienda verificar las dimensiones de la herramienta de corte con el fin de no estrellar la herramienta con la materia prima
(#502= PROFUNDIDAD DE CORTE);	Profundidad a la cual se va a realizar cada pasada
#502=0.5;	Valor de profundidad de corte
(OPERACIONES MATEMÁTICAS);	Calculo de operaciones matemáticas
#100=0;	Valor cero
#101=#500/2;	Calculo del radio mayor para roscas externas, posición inicial en X

Fuente: Autor

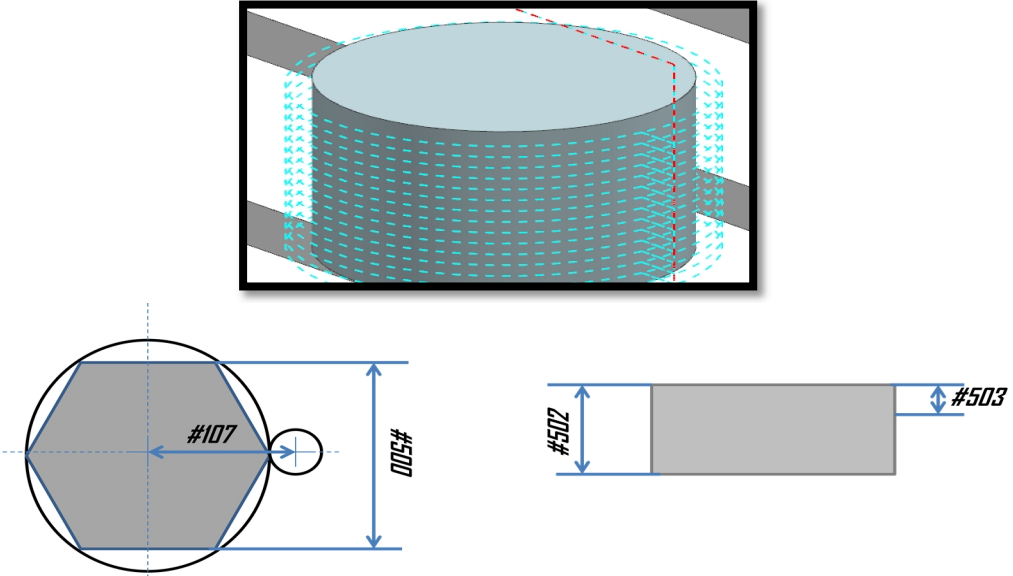
Continuación Macro O162 tornillo rosca TR 42 x 3 7H/7e operación chaflán sección roscada

#102=#101+5;	Distancia segura
#103=#500/2+1;	Dato de comparación para condicional
#104=#501+0.4;	Primera posición en Z
(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);	Ejecución del problema a solucionar
G80 G40 G94 G17 G54;	Bloque inicial selección de plano X-Z
G91 G28 Z0;	Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales
G28 X0 Y0;	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales
M6 T01;	Llamado de herramienta
M3 S5000;	Encender husillo
M8;	Encender refrigerante
G90 G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido ejes X-Y
G00 G43 Z20 H01;	Altura previa de la herramienta
N10 G00 X#102 Y#100;	Inicio de ciclo, posicionamiento rápido de X En primera posición a distancia segura
G00 Z-#104;	Posicionamiento rápido en Z profundidad de chaflán
G01 X#101 F500;	Interpolación lineal en X primera posición
G02 X-#101 Y#100 R#101;	Interpolación circular sentido horario en X primera posición negativa
G02 X#101 Y#100 R#101;	Interpolación circular sentido horario en X primera posición
G01 X#102 Y#100;	Interpolación lineal en X distancia segura
#101=#101-#502;	Redefine #101, diámetro a donde debe llegar la herramienta
IF[#101GE#103]GOTO10;	Condicional de ciclo para finalizar operación, mientras que el #101 sea mayor o igual que #103, ir a inicio de ciclo, de lo contrario continuar
G00 Z50;	Posicionamiento rápido en Z
G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido en X-Y
M9;	Apagar husillo
M5;	Apagar refrigerante
M30;	Finalizar programa

Fuente: Autor

ANEXO I

Macro O164 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación diámetro de hexágono

	
(MACRO O164 TUERCA ROSCA TR 42 X 3 7H/7e OPERACIÓN DIÁMETRO DE HEXÁGONO);	título de la macro
(#500= LONGITUD ENTRE CARAS);	Esta medida es tomada de una cara a la cara inmediatamente paralela se da en milímetros
#500= 60;	Nota: en este caso se toma una longitud de 60 mm. Debido a que la materia prima únicamente podida contener máximo esta medida
(#501= DIÁMETRO DE LA HERRAMIENTA);	Este dato se encuentra en los catálogos de los fabricantes de herramientas de corte
#501= 16;	Herramienta utilizada MEC 16
(#502= PROFUNDIDAD TOTAL);	Profundidad máxima que debe tener el hexágono de la tuerca
#502= 24;	Se recomienda tener en cuenta la longitud del cuello de la herramienta para no llegar a estrellar la materia prima con el husillo
(#503= PROFUNDIDAD POR PASADA);	Profundidad máxima que la herramienta de corte ingresa en el material para generar desprendimiento de viruta
#503= 3;	Este dato se encuentra en los catálogos de los fabricantes de las herramientas, como también puede ser determinado por el tipo de material a mecanizar

Fuente: Autor

Continuación Macro O164 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación diámetro de hexágono

(OPERACIONES MATEMÁTICAS);	Calculo de operaciones matemáticas
#100=#501/2;	Calculo del radio de la herramienta
#101=#500/2;	Divide la longitud entre caras
#102=#502/#503;	División de la profundidad total del hexágono por la profundidad total por pasada
#103=FIX [#102];	Toma el valor entero del #102
#104=#503*#103;	Multiplica #103 por la profundidad por pasada
#105=#502-#104;	Calculo de la primera pasada en Z
#106=#101/1.73205+#100;	Calculo del apotema del hexágono más la compensación de herramienta
#107= [2*#101]/1.73205+#100;	Distancia entre puntas, se duplica la apotema más la compensación de herramienta
#108=0;	Valor cero
#109=#107+10;	Le suma al #107 una distancia segura
(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);	Ejecución del problema a solucionar
G80 G40 G94 G17 G54;	Bloque inicial selección de plano X-Z
G91 G28 Z0;	Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales
G28 X0 Y0;	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales
M6 T13;	Llamado de herramienta
M3 S4000;	Encender husillo
M8;	Encender refrigerante
G90 G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido ejes X-Y
G00 G43 Z20 H13;	Altura previa de la herramienta
N10 G01 X#109 F400;	Inicio de ciclo, interpolación lineal en X a posición distancia segura
G01 Z-#105;	Interpolación lineal en Z primera pasada negativa
G01 X#107;	Interpolación lineal en X distancia entre puntas
G02 X-#107 Y#108 R#107;	Interpolación circular sentido horario en X distancia entre puntas negativa
G02 X#107 Y#108 R#107;	Interpolación circular sentido horario en X distancia entre puntas
#105=#105+#503;	Contador de altura en Z le suma profundidad por pasada
IF[#502GE#105]GOTO10;	Condición de ciclo para finalizar operación, mientras que el #502 sea mayor o igual que #105, ir a inicio de ciclo, de lo contrario continuar
G01 X#109;	Interpolación lineal en X posición distancia segura
G00 Z20;	Posicionamiento rápido en Z
G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido en X-Y

Fuente: Autor

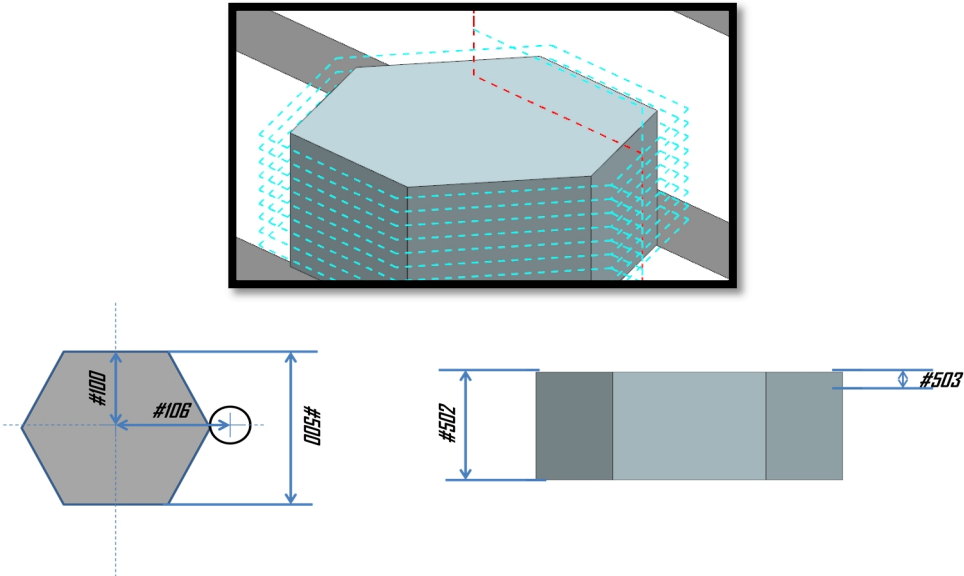
Continuación Macro O164 tuerca rosca TR 42 x 3 7H/7e operación diámetro de hexágono

M9;	Apagar husillo
M5;	Apagar refrigerante
M30;	Finalizar programa

Fuente: Autor

ANEXO J

Macro O166 tornillo rosca TR 42 x 3 7H/7e operación sección hexagonal

	
(MACRO O166 TORNILLO ROSCA TR 42 X 3 7H/7e OPERACIÓN SECCIÓN HEXAGONAL);	Título de la macro
(#500= LONGITUD ENTRE CARAS);	Esta medida es tomada de una cara a la cara inmediatamente paralela del hexágono, esta medida se da en milímetros
#500= 60;	Nota: en este caso se toma una longitud de 60 mm. Debido a que la materia prima únicamente podida contener máximo esta medida
(#501= DIÁMETRO DE LA HERRAMIENTA PARA HEXÁGONO);	Este dato se encuentra en los catálogos de los fabricantes de herramientas de corte
#501= 16;	Herramienta utilizada MEC 16
(#502= PROFUNDIDAD TOTAL DEL HEXÁGONO);	Profundidad total a la cual va a ir el hexágono
#502= 24;	Nota: se recomienda verificar el cuello que se tiene en la herramienta con el fin de no llegar a estrellar el husillo con la materia prima
(#503= PROFUNDIDAD POR PASADA);	Profundidad máxima que la herramienta de corte ingresa en el material para generar desprendimiento de viruta
#503= 3;	Este dato se encuentra en los catálogos de los fabricantes de las herramientas, como también puede ser determinado por el tipo de material a mecanizar

Fuente: Autor

Continuación Macro O166 tornillo rosca TR 42 x 3 7H/7e operación sección hexagonal

(OPERACIONES MATEMÁTICAS);	Calculo de operaciones matemáticas
#100=#501/2;	Calculo del radio de la herramienta para hacer compensación de herramienta
#101=#500/2+#100;	Divide la longitud entre caras y le suma la Compensación de herramientas
#102=#502/#503;	División de la profundidad total del hexágono por la profundidad por pasada
#103=FIX [#102];	Toma el valor entero de #102
#104=#503*#103;	Multiplica profundidad por pasada por #103
#105=#502-#104;	Calculo de la primera posición en Z
#106=#101/1.73205;	Calculo del apotema del hexágono
#107= [2*#101]/1.73205;	Multiplica la apotema por dos
#108=#107+10;	#107 más una distancia segura
#109=#503;	Incremento en altura igual a #503
#110=0;	Valor cero
(SOLUCIÓN DEL PROBLEMA);	Ejecución del problema a solucionar
G80 G40 G94 G17 G54;	Bloque inicial selección de plano X-Z
G91 G28 Z0;	Posición inicial en el eje Z de la máquina en incrementales
G28 X0 Y0;	Posición inicial en los ejes X-Y de la máquina en incrementales
M6 T13;	Llamado de herramienta
M3 S4000;	Encender husillo
M8;	Encender refrigerante
G90 G00 X0 Y0;	Posicionamiento rápido ejes X-Y
G00 G43 Z20 H13;	Altura previa de la herramienta
N10 G01 X#108 F400;	Inicio de ciclo, interpolación lineal en X #108
G01 Z-#105;	Interpolación lineal acercamiento de la herramienta en el eje Z, posición inicial
G01 X#107;	Acercamiento en X a posición #107
G01 X#106 Y-#101;	Movimiento lineal a X posición apotema de hexágono, Y posición #101 negativa
G01 Y-#101 X-#106;	Movimiento lineal a X posición apotema de hexágono negativa
G01 X-#107 Y#110;	Movimiento lineal a X posición #107 negativa, Y Posición valor cero
G01 X-#106 Y#101;	Movimiento lineal a X posición apotema de hexágono negativa, Y posición #101
G01 X#106 Y#101;	Movimiento lineal a X posición apotema de hexágono, Y posición #101

Fuente: Autor

Continuación Macro O166 tornillo rosca TR 42 x 3 7H/7e operación sección hexagonal

<i>G01 X#107 Y#110;</i>	Movimiento lineal a X posición #107, Y Posición valor cero
<i>#105=#105+#109;</i>	Redefine #105 para nueva altura en Z
<i>IF[#502GE#105]GOTO10;</i>	Condicional de ciclo para finalizar operación, mientras que el #502 sea mayor o igual que #105, ir a inicio de ciclo, de lo contrario continuar
<i>G01 X#108;</i>	Movimiento para posición segura en X
<i>G00 Z10;</i>	Movimiento rápido en Z posición segura
<i>G00 X0 Y0;</i>	Posicionamiento rápido ejes X-Y
<i>G00 Z100;</i>	Posicionamiento rápido ejes Z
<i>M9;</i>	Apagar husillo
<i>M5;</i>	Apagar refrigerante
<i>M30;</i>	Finalizar programa

Fuente: Autor

ANEXO K

Certificado tratamiento térmico acero plata



Tecnotratamiento

Tratamiento Térmico de los Aceros

Bogotá, 29 de junio de 2016



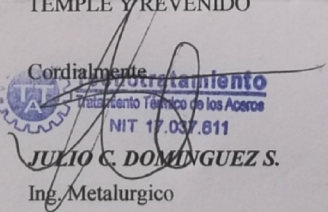
CERTIFICADO DE CALIDAD

NOMBRE: JHECSER IVAN HERNANDEZ PARADA

ORDEN DE TRABAJO	#	42536
TIPO DE PIEZAS	:	FRESAS
CANTIDAD	:	3
REF. DE MATERIAL	:	AC PLATA
PRUEBA A REALIZAR	:	Analisis de Dureza
ESCALA	:	Rockwell-C
RESULTADOS		
DUREZA SOLICITADA	:	SUG HRC
DUREZA DE PRUEBA	:	56-58 HRC

OBSERVACIONES
TEMPLE Y REVENIDO

Cordialmente,


JULIO C. DOMÍNGUEZ S.
Ing. Metalurgico

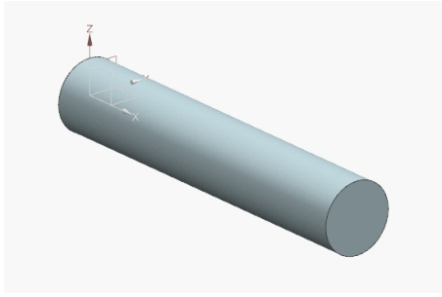
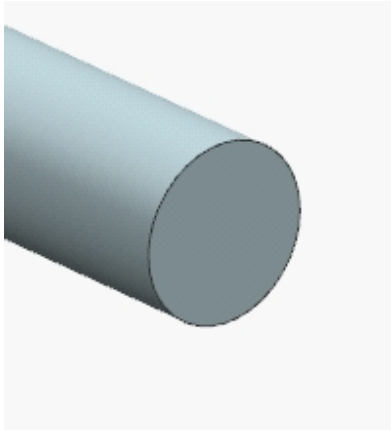
**Tecnotratamiento**
Tratamiento Térmico de los Aceros
NIT 17.037.611

⊗ Tratamiento Térmico de los Aceros ⊗ Venta y Afilado de Cuchillas ⊗ Normalizado ⊗ Cementación ⊗ Revenido ⊗ Temple

Cl 9 No. 30-50 • Tel: 247 0812 Fax 371 0786 Ext 106 • www.tecnotratamiento.com • tecnolhd@yahoo.com.co

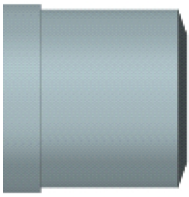
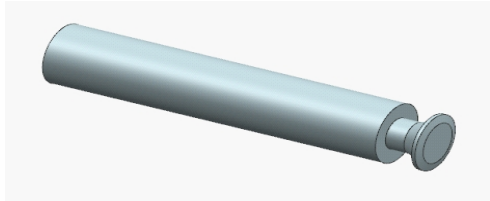
ANEXO L

Código G para fabricación de herramienta para roscado helicoidal paso 3 mm

		UNIVERSIDAD SANTO TOMAS DIVISIÓN DE INGENIERÍAS FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA	
Torno tipo suizo POLYGIM DIAMOND	Fresa para roscado trapezoidal paso 3 mm	CODIGO G PARA FABRICACION DE HERRAMIENTA PASO 3 mm EN TORNO TIPO SUIZO	Jhecser Iván Hernandez Parada
	OPERACIÓN	MONTAJE	CODIGO
	Montaje de materia prima y determinar cero de pieza		Realizar montaje de la materia prima y verificar el estado de las herramienta ademas de determinar el cero de pieza en el eje Z.
	Refrendado		N10(REFRENTADO) ; G54 G21 G99 G50 S1=1500 ; G43.1 ; G28 U0 ; G28 V0 ; T0303 ; G0 Y0 ; M3 G96 S1=60 ; G0 X20 Z0 ; G1 X-2 F0.1 ; G1 Z-1 ; G0 X20 ;

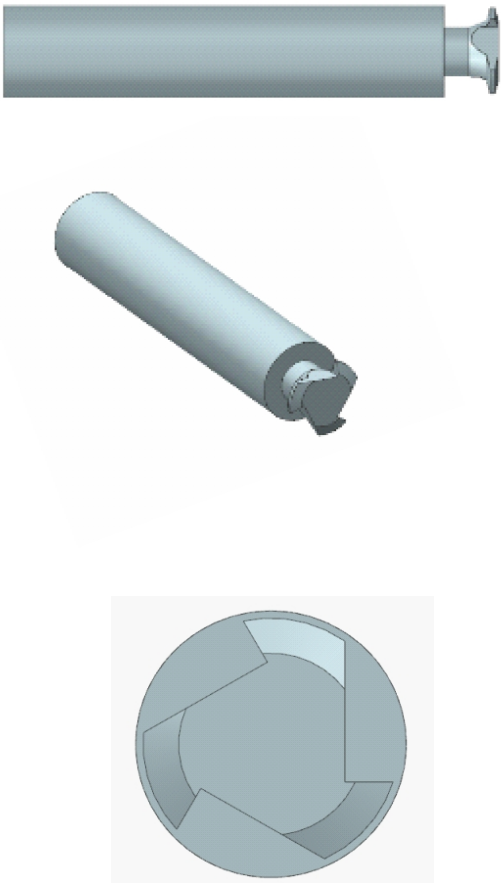
Fuente: Autor

Continuación Código G para fabricación de herramienta para roscado helicoidal paso 3 mm

Torno tipo suizo POLYGIM DIAMOND	Cilindrado zona 1 perfil trapezoidal	  	N20(ZONA1) ; G54 G21 G99 G50 S1=1500 ; G43.1 ; G28 U0 ; G28 V0 ; T0303 ; G0 Y0 ; M3 G96 S1=60 ; G0 X20 Z-1 ; G41 ; G0 X0 ; G1 Z0 F0.05 ; G1 X13 ; G1 X18 Z0.6698 ; G1 Z10 ; G1 X20 ; G40 ;
	Ranurado	 	N30(RANURADO) ; G54 G21 G99 G50 S1=1500 ; G43.1 ; G28 U0 ; G28 V0 ; T0101 ; G0 Y0 ; M3 G96 S1=70 ; G0 X20 Z4.969 ; G75 R0.2 F0.05 ; G75 X15.6 P1 ; G0 Z5.304 ; G75 R0.2 F0.05 ; G75 X13.1 P1 ; G0 Z7.199 ; G75 R0.2 F0.05 ; G75 X11.6 P1 ; G0 Z9.095 ; G75 R0.2 F0.05 ; G75 X10 P1 ; G0 Z11.5 ; G75 R0.2 F0.05 ; G75 X10 P1 ; G0 Z13 ; G75 R0.2 F0.05 ; G75 X10 P1 ; G0 Z15.5 ; G75 R0.2 F0.05 ; G75 X10 P1 ; G0 Z18 ; G75 R0.2 F0.05 ; G75 X10 P1 ; G0 X30 ; G0 X20 Z7 ; G1 X18 Z4.614 ; G1 X13 Z ; G1 X10 Z ; G1 X10 Z17 ; G1 X20 ; G0 X50 ;

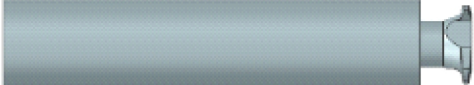
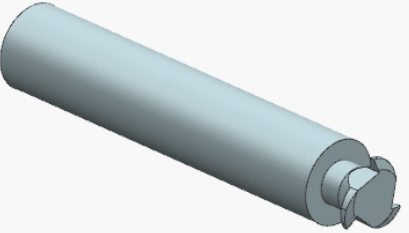
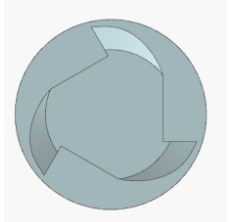
Fuente: Autor

Continuación Código G para fabricación de herramienta para roscado helicoidal paso 3 mm

Torno tipo suizo POLYGIM DIAMOND	Filos de corte		N40(FILOS) ; G54 G19 G98 G50 S3=2000 ; G43.1 ; M92 ; G28 U0 ; G28 V0 ; M5 ; M90 ; T0808 ; G0 Y0 ; G97 M103 S3=1500 ; G0 C0 ; Z-4 Y8.2 ; X-5.408 ; G1 Z9 F50 ; G0 X20 ; G0 Z-4 ; G0 C120 ; Z-4 Y8.2 ; G0 X-5.40 ; G1 Z9 ; G0 X20 ; G0 Z-4 ; G0 C240 ; Z-4 Y8.2 ; G0 X-5.408 ; G1 Z9 ; G0 X20 ; G0 Z-4 ;
--	-----------------------	---	---

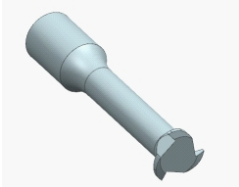
Fuente: Autor

Continuación Código G para fabricación de herramienta para roscado helicoidal paso 3 mm

Torno tipo suizo POLYGIM DIAMOND	Destalonado		N45(DESTALONADO) ; G54 G17 G98 G50 S3=2000 ; G43.1 ; M92 ; G28 U0 ; G28 V0 ; M5 ; M90 ; T1919 ; G0 Y0 G97 M104 S3=1500 ; G0 C0 ;
			Z4 X25 ; G0 Y-5 ; G0 X22.639 ; G1 Y-0.721 F50 ; G3 X19.428 Y4.116 R7.5 ; G3 X6.11 Y7.903 R10.16 ; G1 Y10 ; G0 X25 ; G0 C120 ; Z4 X25 ; G0 Y-5 ; G0 X22.639 ; G1 Y-0.721 F50 ; G3 X19.428 Y4.116 R7.5 ; G3 X6.11 Y7.903 R10.16 ; G1 Y10 ; G0 X25 ; G0 C240 ; Z4 X25 ; G0 Y-5 ; G0 X22.639 ; G1 Y-0.721 F50 ; G3 X19.428 Y4.116 R7.5 ; G3 X6.11 Y7.903 R10.16 ; G1 Y10 ; G0 X25 ; M105 ; M92 ; G0 X50 ;
			

Fuente: Autor

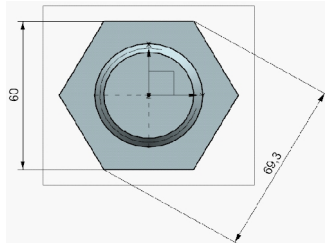
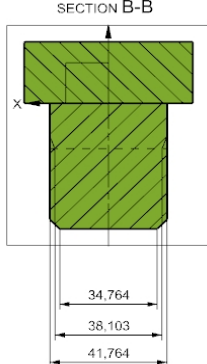
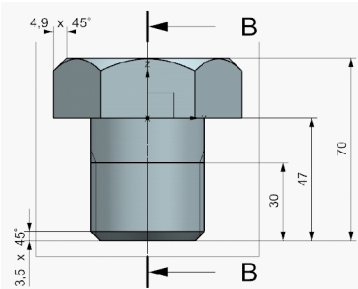
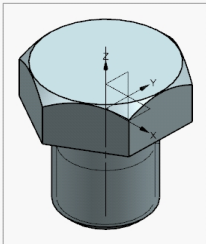
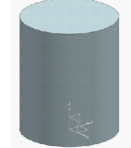
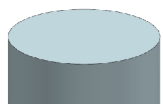
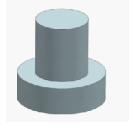
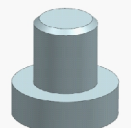
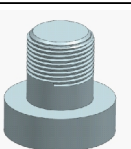
Continuación Código G para fabricación de herramienta para roscado helicoidal paso 3 mm

Torno tipo suizo POLYGIM DIAMOND	Cuerpo		N50(CUERPO) ; G54 G18 G21 G99 G50 S1=1500 ; G43.1 ; G28 U0 ; G28 V0 ; T0303 ; G0 Y0 ; M3 G96 S1=60 ; G41 ; G0 X20 Z17 ; G1 X10 F0.03 ; G1 Z46.768 ; G3 X16 Z56.095 R16 ; G1 Z89.095 ; G1 X20 ; G40 G0 X50 ;
	Tronzado	 	N60(TRONZADO) ; G54 G21 G99 G50 S1=1500 ; G43.1 ; G28 U0 ; G28 V0 ; T0101 ; G0 Y0 ; M3 G96 S1=70 ; G0 X20 Z89.095 ; G75 R0.2 F0.05 ; G75 X2.5 P1 ; G0 X50 ; M5 ; M9 ; M30 ;

Fuente: Autor

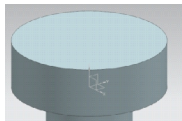
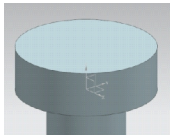
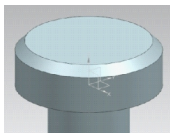
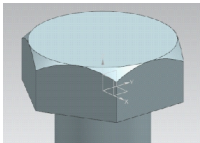
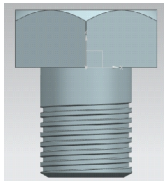
ANEXO M

Hoja de proceso para fabricación de tornillo roscado TR 42X3 7H/7e

Material: Duraluminio			HOJA DE PROCESO Proceso de fabricacion de tornillo roscado TR 42 X 3 7H/7e		Jhecser Iván Hernández Parada				
Materia prima (mm): Diámetro: 70,05 longitud: 72					Fecha: 01/08/2016				
Universidad Santo Tomás			IMPLEMENTACIÓN DE OPERACIONES TECNOLÓGICAS, PARA LA GENERACIÓN DE ENGRANAJES RECTOS, EN CENTRO DE MAQUINADO MULTIEJE CNC.		Facultad de Ingeniería Mecánica				
Tipo de maquina:			Centro de mecanizado vertical multiejes FINETECH GTX-170						
									
Fase	Ope	Designacion	Croquis	Herramienta	Fz(mm)	Vf (mm/min)	N° RPM	V (m/min)	Ap(mm)
CENTRO DE MECANIZADO VERTICAL MULTIEJES	1,1	Material con medidas estandares		Montaje inicial de materia prima para tornillo TR 42X 3 7H/7e., determinar centro de pieza y compensacion de herramientas					
	1,2	Planeado 1		Herramienta N°3: PLANEADO PALBIT 050A-09945-04-20-U022040 INCERTO SEKT 13T3 AGSN X155 NCM325	0,078125	640	2000	200	1
	1,3	Cilindrado hasta diametro mayor para roscas externas		Herramienta N°13: Fresa Kyocera KYOCERA MEC16-S12-11 INCERTO 070302ER-JT	0,125	400	4000	200	3
	1,4	Avellan en diametro mayor para roscas externas		Herramienta N°1 Nine 9	0,4	500	5000	200	4,5
	1,5	Rosca externa TR 42 X 3 7H/7e		Herramienta N°11 Fresa paso 3 mm	0,4444	150	1400	200	3,4

Fuente: Autor

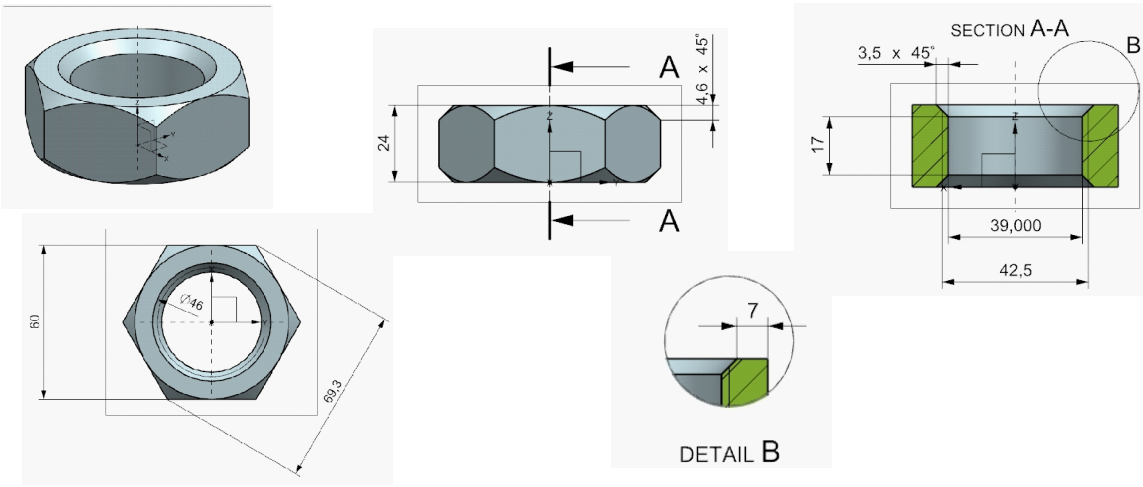
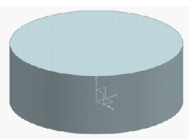
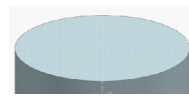
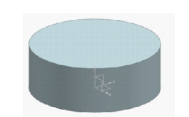
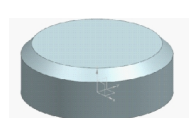
Continuación Hoja de proceso para fabricación de tornillo roscado TR 42X3 7H/7e

CENTRO DE MECANIZADO VERTICAL MULTIEJES		Reposicionamiento de pieza tornillo		Reposicionamiento de pieza tornillo, determinar nuevo centro de pieza					
		Planeado 2		Herramienta N°3: PLANEADO PALBIT 050A-09945-04-20-U022040 INCERTO SEKT 13T3 AGSN X155 NCM325	0,0781	640	2000	640	1
		Cilindrado hasta diametro para hexagono		Herramienta N°13: Fresa Kyocera KYOCERA MEC16-S12-11 INCERTO 070302ER-JT	0,25	400	4000	400	3
		Avellan en diametro para hexagono		Herramienta N°1 Nine 9	0,4	500	5000	500	6
		Hexagono		Herramienta N°13: Fresa Kyocera KYOCERA MEC16-S12-11 INCERTO 070302ER-JT	0,25	400	4000	400	3
		Finalizar fabricacion desmontar y practicar metrologia		Bajar la pieza de las mordazas, luego verificar el acabado de rosca trapezoidal					
OBSERVACIONES Si el acabado de la rosca no es optimo se recomienda repetir la operación de roscado con los mismos parametros establecidos.									

Fuente: Autor

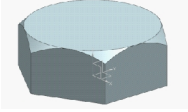
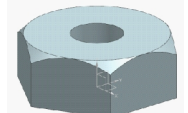
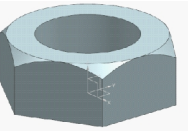
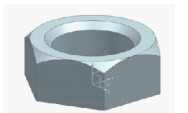
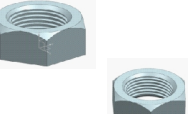
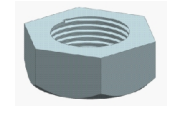
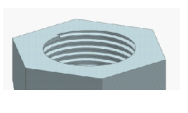
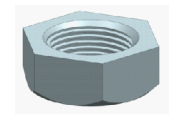
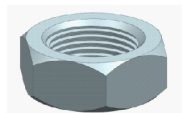
ANEXO N

Hoja de proceso para fabricación de tuerca roscada TR 42X3 7H/7e

Material: Produx Duraluminio			HOJA DE PROCESO Proceso de fabricación de tornillo roscado TR 42 X 3 7H/7e		Jhecer Ivan Hernandez Parada				
Material en bruto(mm): Diametro de 70,05X30(mm)					Fecha: 01/08/2016				
Universidad Santo Tomás			IMPLEMENTACIÓN DE OPERACIONES TECNOLÓGICAS, PARA LA GENERACIÓN DE ENGRANAJES RECTOS, EN CENTRO DE MAQUINADO MULTIEJE CNC.		Facultad de Ingeniería Mecánica				
Tipo de maquina:			Centro de mecanizado vertical multiejes FINETECH GTX-170						
									
Fase	Ope	Designacion	Croquis	Herramienta	Fz(mm)	Vf (mm/min)	N° RPM	V (m/min)	Ap(mm)
CENTRO DE MECANIZADO VERTICAL MULTIEJES	1.1	Material con medidas estandares		Montaje inicial de materia prima para tuerca TR 42 X 3 7H/7e., determinar centro de pieza y compensacion de herramientas					
	1.2	Planeado 1		Herramienta N°3: PLANEADO PALBIT 050A-09945-04-20-U022040 INCERTO SEKT 13T3 AGSN X155 NCM325	0,8	640	2000	200	1
	1.3	Cilindrado hasta diametro para hexagono		Herramienta N°13: Fresa Kyocera KYOCERA MEC16-S12-11 INCERTO 070302ER-JT	1	400	4000	200	3
	1.4	Avellan en diametro para hexagono		Herramienta N°1 Nine 9	2,5	500	5000	200	6

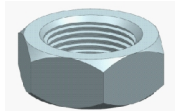
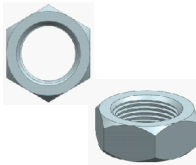
Fuente: Autor

Continuación Hoja de proceso para fabricación de tuerca roscada TR 42X3 7H/7e

<u>1.5</u>	Hexagono		Herramienta N°11 Fresa paso 3 mm	1	400	4000	200	3
<u>1.6</u>	Agujero previo Ø 22 mm		Herramienta N°34: Broca 22 mm	0,825	330	4300	200	28
<u>1.7</u>	Ampliacion de agujero hasta diametro menor para roscas internas		Herramienta N°13: Fresa Kyocera KYOCERA MEC16-S12-11 INCERTO 070302ER-JT	1	400	4000	200	3
<u>1.8</u>	Avellan diametro menor para roscas internas		Herramienta N°1 Nine 9	0,625	500	5000	200	4,5
<u>1.9</u>	Rosca interna TR 42 X 3 7H/7e		Herramienta N°11 Fresa paso 3 mm	0,25	150	1400	200	3,94
<u>2</u>	Reposicionamiento de pieza tuerca		Reposicionamiento de pieza tuerca, determinar nuevo centro de pieza					
<u>2.1</u>	Planeado 2		Herramienta N°3: PLANEADO PALBIT 050A-09945-04-20-U022040 INCERTO SEKT 13T3 AGSN X155 NCM325	0,8	640	2000	200	1
<u>2.2</u>	Avellan en diametro menor para roscas internas		Herramienta N°1 Nine 9	2,5	500	5000	200	4,5
<u>2.3</u>	Avellan en diametro para hexagono		Herramienta N°1 Nine 9	2,5	500	5000	200	6

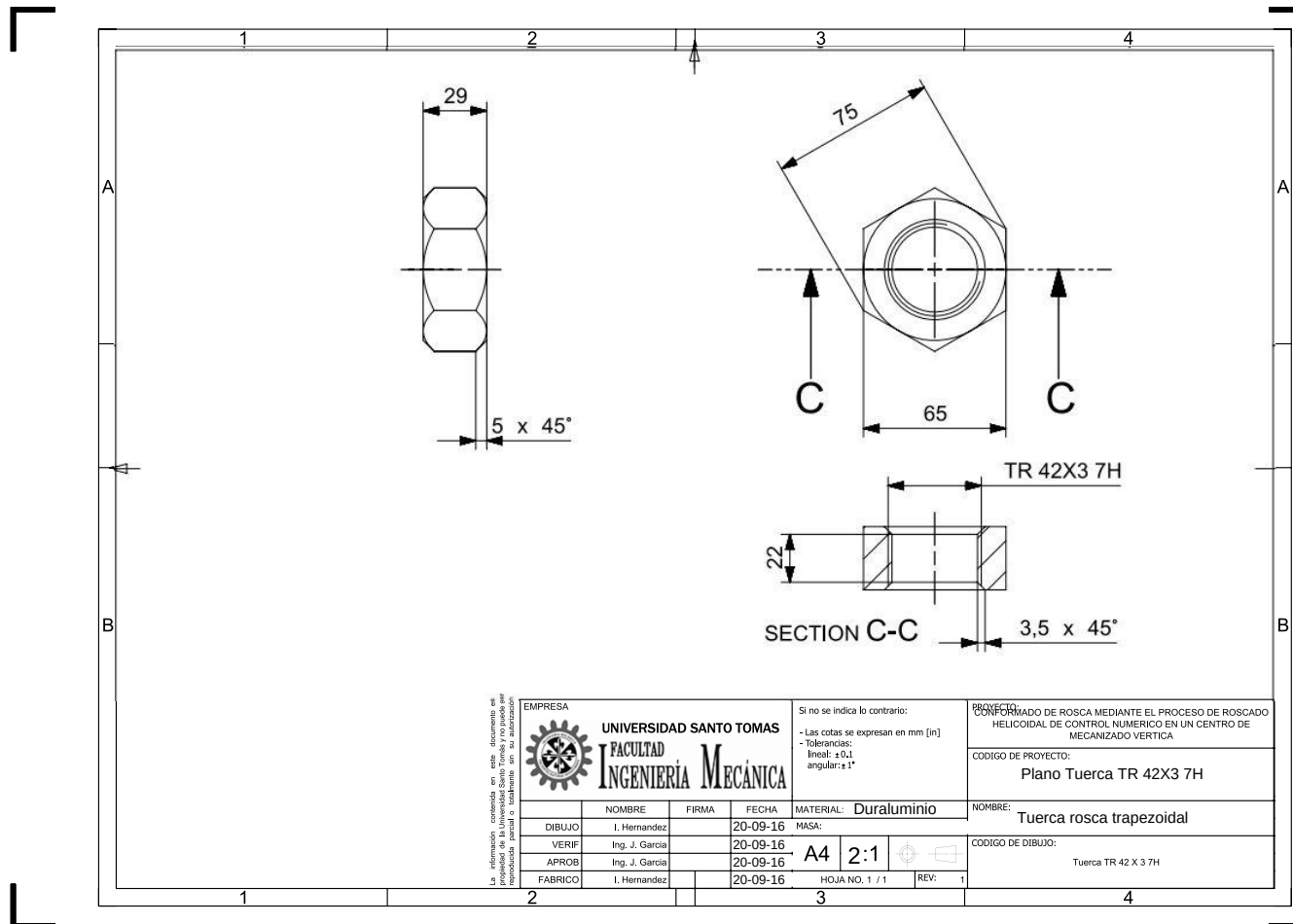
Fuente: Autor

Continuación Hoja de proceso para fabricación de tuerca roscada TR 42X3 7H/7e

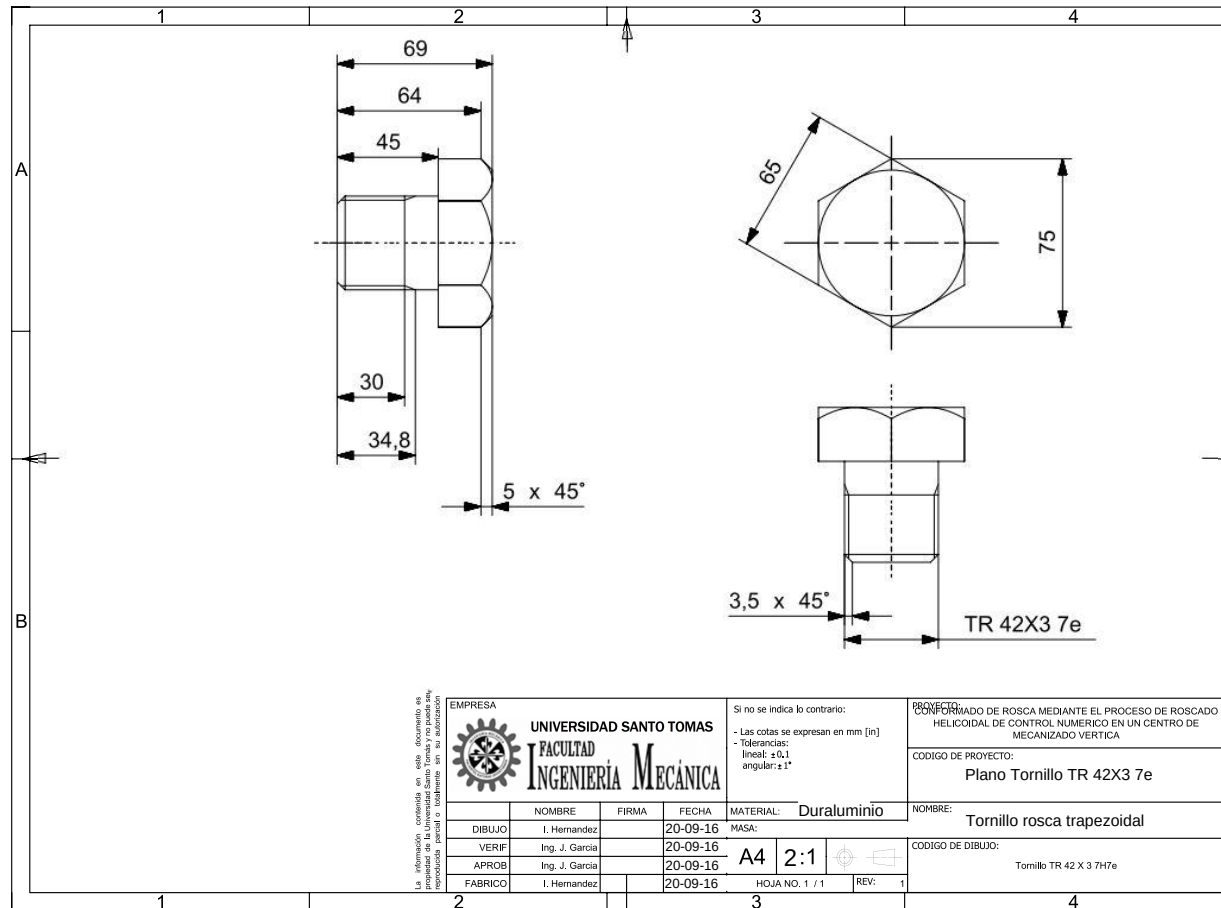
	<u>2.3</u>	Avellan en diametro para hexagono		Herramienta N°1 Nine 9	2,5	500	5000	200	6
	<u>2.4</u>	Finalizar fabricacion desmontar y practicar metrologia		Bajar la pieza de las mordazas, luego verificar el acabado de rosca trapezoidal					
OBSERVACIONES									
Si el acabado de la rosca no es optimo se recomienda repetir la operación de roscado con los mismos parametros establecidos.									

Fuente: Autor

ANEXO O



ANEXO P



ANEXO Q

