



UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO  
FACULTAD DE INGENIERÍA

“APLICACIÓN DE CNC EN EL MAQUINADO DE UNA PIEZA  
DE GEOMETRÍA COMPLEJA”

## TESINA

QUE PARA OBTENER EL TÍTULO DE  
INGENIERO ELECTROMECAÁNICO

PRESENTA

LUIS GAMBOA ZUÑIGA

DIRECTOR DE TESINA.

DR. JUAN PRIMO BENITEZ RANGEL.

SAN JUAN DEL RÍO, QUERÉTARO A 17 DE ABRIL DE 2010.

**BIBLIOTECA CENTRAL**  
**UNIVERSIDAD AUTÓNOMA DE QUERÉTARO**

## **AGRADECIMIENTOS.**

A mi madre por apoyarme incondicionalmente durante toda mi vida académica, por su paciencia, por presionarme hasta el final y por ser el soporte de la familia sin dejarse vencer por las adversidades.

Al resto de mi familia por poner sus esperanzas en mi y ayudarme a conseguir mis objetivos.

A los profesores de Electromecánica por brindarme sus conocimientos pero sobre todo por soportarme tanto tiempo hasta concluir mi carrera, especialmente el Dr. Juan Primo y el Dr. Aurelio Domínguez.

# Contenido

<b>1. INTRODUCCIÓN.</b>	<b>6</b>
1.1 HISTORIA BREVE DE LA MANUFACTURA.	6
1.2 DEFINICIÓN DE MANUFACTURA.	10
1.3 INTRODUCCIÓN AL CAD.	12
1.4 INTRODUCCIÓN AL CAM.	15
1.5 INTRODUCCIÓN AL CAE.	17
<b>2. DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA.</b>	<b>19</b>
2.1 MODELADO DE SÓLIDOS.	19
2.1.1 Bloque.	20
2.1.2 Cilindro.	21
2.1.3 Cono.	21
2.1.4 Esfera.	22
2.1.5 Sketch.	23
2.2 ENSAMBLES.	25
2.3 GENERACIÓN DE PLANOS DE TALLER.	29
<b>3. PROGRAMACIÓN DE EQUIPOS CNC.</b>	<b>32</b>
3.1 DEFINICIÓN DE CONTROL NUMÉRICO.	32
3.1.1 Antecedentes históricos.	32
3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.	33
3.2.1 Ventajas del control numérico.	33
3.2.2 Desventajas del control numérico.	34
3.3 TIPOS DE MÁQUINAS HERRAMIENTA.	34
3.3.1 ¿Qué son las máquinas de control numérico?	34
3.3.2 Torno.	35
3.3.3 Fresadora.	42
3.3.4 taladro.	46
3.4 ESTRUCTURAS DE PROGRAMA.	48
3.5 TORNEADO EN MÁQUINAS CNC.	52
3.6 FRESADO EN MÁQUINAS CNC.	55
<b>4. PROYECTO FINAL.</b>	<b>58</b>
4.1 DIBUJO EN DOS DIMENSIONES.	58

4.2 DIBUJO EN TRES DIMENSIONES.	59
4.3 GENERACIÓN DEL CÓDIGO G.	64
<b>LITERATURA.</b>	<b>72</b>

# Índice de Figuras.

Figura 1-1. Etapas del Proceso de Diseño.	15
Figura 2-1. Sólidos primitivos.	20
Figura 2-2. Parámetros y creación de un bloque.	20
Figura 2-3. Parámetros y creación de un cilindro.	21
Figura 2-4. Parámetros y creación de un cono.	22
Figura 2-5. Parámetros y creación de una esfera.	23
Figura 2-6. Creación de una línea.	24
Figura 2-7. Perfil creado.	24
Figura 2-8. Aplicación del comando Extrude.	24
Figura 2-9. Piezas a ensamblar.	25
Figura 2-10. Activación del menú de ensamblés.	26
Figura 2-11. Selección y agregado del componente base del ensamblé.	26
Figura 2-12. Restricciones de ensamblé.	27
Figura 2-13. Contorno seleccionado para la restricción de ensamblé.	28
Figura 2-14. Ensamblé en la posición deseada.	28
Figura 2-15. Selección de Drafting.	29
Figura 2-16. Parámetros de Drafting.	29
Figura 2-17. Colocación de Base View.	30
Figura 2-18. Projected View.	30
Figura 2-19. Selección del tipo de cotas.	31
Figura 2-20. Tipos de cotas colocadas.	31
Figura 3-1. Torno paralelo.	36
Figura 3-2. Torno copiadador.	37
Figura 3-3. Torno revólver.	38
Figura 3-4. Torno automático.	39
Figura 3-5. Torno vertical.	40
Figura 3-6. Torno CNC.	41
Figura 3-7. Tipos de fresadora.	45
Figura 3-8. Tipos de taladro.	47
Figura 3-9. Pieza a mecanizar.	52
Figura 3-10. Fase 1	53
Figura 3-11. Fase 2	53

Figura 3-12. Pieza a mecanizar	55
Figura 4-1. Dibujo del Escudo de la Facultad de Ingeniería.	58
Figura 4-2. Dimensiones del Escudo	59
Figura 4-3. Dimensiones del área de la leyenda "El ingenio para crear no para destruir"	60
Figura 4-4. Parámetros de la leyenda "EL INGENIO PARA CREAR NO PARA DESTRUIR"	61
Figura 4-5. Parámetros de la leyenda "FACULTAD DE INGENIERIA"	61
Figura 4-6. Parámetros de las iniciales "UAQ".	62
Figura 4-7. Principales cotas_1	63
Figura 4-8. Principales cotas_2	63
Figura 4-9. Importación de parasólido.	64
Figura 4-10. Dibujo en formato de VISI.	65
Figura 4-11. Agregar operación.	65
Figura 4-12. Operación Roughing	66
Figura 4-13. Ventana de selección de herramienta.	67
Figura 4-14. Parámetros de creación de herramienta.	67
Figura 4-15. Botón para calcular la trayectoria.	68
Figura 4-16. Operación para acabado.	68
Figura 4-17. Ejecutar el post-procesador	69
Figura 4-18. Ejecutar la simulación.	69
Figura 4-19. Simulación del maquinado corriendo.	70
Figura 4-20. Pieza terminada.	71

# Índice de tablas.

<i>Tabla 1-1. Desarrollo histórico de procesos de manufactura.</i>	8
<i>Tabla 1-2. Tipos de procesos de manufactura.</i>	9
<i>Tabla 1-3. Pasos sugeridos para la creación de un producto.</i>	13
<i>Tabla 3-1. Definición de las funciones que sugiere la norma ISO.</i>	51

# CAPÍTULO 1

---

## 1. INTRODUCCIÓN.

El éxito en los sistemas de manufactura se obtiene asegurándose de que las máquinas y las personas sean utilizadas al máximo en la medida de sus posibilidades. En este caso, el Diseño Asistido por Computadora (Computer Aided Design CAD) y la Manufactura Asistida por Computadora (Computer Aided Manufacturing CAM) deben ser aplicados por las siguientes dos razones:

1. Para lograr la mejora de la manufactura con base en la tecnología.
2. Para obtener mejoras continuas en la productividad y calidad.

Además, la geometría del producto desarrollada mediante el uso de CAD puede ser reutilizada para:

1. La planificación de las operaciones de manufactura mediante Planificación de Proceso Asistido por Computadora (CAPP) y
2. Preparar las instrucciones de manufactura para el proceso de Control Numérico (Numeric Control, NC). (Shanmuga Sundar et al, 2005)

### 1.1 HISTORIA BREVE DE LA MANUFACTURA.

La historia de la manufactura está marcada por desarrollos graduales, pero los efectos acumulativos han tenido sustanciales consecuencias sociales, las cuales pueden considerarse revolucionarias.

A pesar de que es difícil ser preciso, la manufactura existe desde hace aproximadamente 5000 – 4000 a. C. Es más antigua que la historia registrada, por que los símbolos primitivos y los dibujos en las cuevas o grabados en las piedras, se hacían con



algún tipo de pincel o de instrumento primitivo utilizando una pintura o algún medio de grabar en la roca; para estas aplicaciones se tuvieron que hacer herramientas apropiadas. La manufactura de productos para diferentes usos, se inició con la producción de artículos hechos de madera, cerámica, piedra y metal (Tabla 1-1. Steven R. Schmid, 2006). Los romanos ya tenían fábricas para la producción en masa de artículos de vidrio, y en muchas actividades incluyendo la minería, la metalurgia, y la industria textil se ha empleado desde hace mucho tiempo el principio de la división del trabajo. Sin embargo, por siglos gran parte de la manufactura permaneció como una actividad esencialmente individual, practicada por sus artesanos y aprendices. El ingenio de generaciones sucesivas de artesanos condujo al desarrollo de muchos procesos y a una gran variedad de productos, pero la escala de producción estaba necesariamente limitada por la potencia disponible. La potencia del agua sustituyó a la muscular en la Edad Media, pero sólo hasta el punto permitido por la disponibilidad de agua en movimiento; ello limitó la localización de las industrias y la tasa de crecimiento de la producción industrial.

	PERIODO	PROCESOS DE FUNDICIÓN	PROCESOS DE FORMADO
Egipto aprox. 3100-300 a.C. Grecia aprox. 1100-146 a.C. Imperio Romano 500 a.C. a 476 d.C. Edad Media aprox. 476-1492 d.C. Renacimiento del siglo XIV al XVI	antes de 4000 a. C.	oro, cobre y hierro meteórico	martillado
	4000-3000 a. C.	fundición de cobre, moldes de piedra y de metal, proceso a la cera perdida, plata, plomo, estaño, bronce.	estampado, joyería.
	3000-2000 a. C.	fundición de bronce	alambre cortando hojas y estirando; hoja de oro.
	2000-1000 a. C.	hierro forjado y latón.	
	1000-1 a. C.	hierro fundido, acero fundido.	estampado de monedas.
	1-1000 d. C.	zinc, acero.	armaduras, acuñado forja, espadas de acero
	1000-1500	alto horno, metales tipo, fundición de campanas y peltres.	estirado de alambre y oro y trabajos de oro y lata.
	1500-1600	cañones de hierro fundido, lámina estañada	energía hidráulica para trabajo en metal, laminadora para tiras de monedas
	1600-1700	fundiciones de molde permanente, latón y zinc metálico.	laminado (plomo, oro y plata), rolado de forma (plomo)
	1700-1800	hierro fundido maleable, acero de crisol.	extrusión (tubería de plomo), embutido profundo, laminado, barras y varillas de hierro.
revolución industrial aprox. 1750 a 1850	1800-1900	fundido centrífugo, aluminio electrolítico, aleaciones babbitt, metalurgia de polvos, acero de hogar abierto.	martillo accionado por vapor, laminado de acero, perforado de tubos sin costura, laminado de riel de acero, laminado continuo, electro depósito.
		proceso Besseiner, aceros al níquel, acero galvanizado, acero al tungsteno,	

primera guerra mundial	1900-1920			laminación de tubos, extrusión en caliente.
	1920-1940	fundición en dados		alambre de tungsteno a partir de polvos.
segunda guerra mundial	1940-1950	cera perdida para piezas de ingeniería		extrusión (acero), suajeado, metales en polvo para piezas de ingeniería.
	1950-1960	moldes cerámicos, hierro nodular, semiconductores, colada continua.		extrusión en frío (acero), formado explosivo, tratamiento termo mecánico.
	1960-1970	fundición por apachurramiento, álabes de turbina mono cristalina		extrusión hidrostática, electro formado.
era espacial	1970-2000	grafito compactado, fundición por vacío, arena aglutinada orgánicamente, automatización del moldeo y del vaciado, tecnología de la solidificación rápida, composites de matriz metálica, trabajado de metal semisólido, refundición.		forja de precisión, forja isotérmica, formado superplástico, dados fabricados mediante diseño y manufactura asistido por computadora, prototipado rápido y formado de forma neta.

Tabla 1-1. Desarrollo histórico de procesos de manufactura.

Los materiales y procesos que se utilizaron primero para formar productos mediante la fundición y la forja, han venido desarrollándose gradualmente a través de los siglos, utilizando nuevos materiales y operaciones más complejas, a tasas crecientes de producción y niveles más elevados de calidad.

Los primeros materiales utilizados para la manufactura de utensilios domésticos y objetos ornamentales incluían metales como el oro, el cobre y el hierro, seguidos por la plata, el plomo, el estaño, bronce y el latón. La producción de acero en aproximadamente 600 – 800 d. C., fue un desarrollo importante. Desde entonces, se han desarrollado una amplia variedad de metales ferrosos y no ferrosos. Los materiales utilizados en productos avanzados como computadoras y aeronaves supersónicas tienen materiales de ingeniería o hechos a la medida con propiedades únicas, como cerámicas, plásticos reforzados, materiales compuestos y metales de aleación especial. En la siguiente (Tabla 1-2. Steven R. Schmid, 2006) se muestran algunos tipos de procesos de manufactura.

PROCESOS DE UNION	HERRAMIENTAS, MAQUINADO Y SISTEMAS DE MANUFACTURA	MATERIALES COMPOSITOS Y NO METALICOS
soldadura blanda (cobre-oro, cobre-plomo, plomo-estaño)	herramientas de piedra de pedernal, de madera, de hueso, de marfil y herramientas de compositos.  corindón	instrumentos de barro, barnizados, fibras naturales.
remachado, latonado. soldadura forjada de hierro y acero, pegamento.	fabricación de azadones, hachas martilladas, herramientas para fabricación en hierro y madera.  cinceles, sierras, limas y torno para madera mejorados.  grabado de armaduras.  lija de papel, sierra impulsada por molino de viento.  torno de mano (madera)	esferas de vidrio, torno de alfarero, vasijas de vidrio.  prensado y soplado de vidrio.  vidrio veneciano.  vidrio de cristal
	barrenado, torneado, maquinado de roscas, taladro.	vidrio de placa fundida, vidrio de pedernal.  porcelana
	cepillo de codo, fresado, torno copiadador para guardamontes de rifles, torno de torreta, máquina fresadora universal, rueda esmeriladora vitrificada.	vidrio de ventana de cilindro cortado, bulbo de luz, vulcanización, procesamiento del hule, poliéster, poliestireno, celuloide, extrusor del hule, moldeo.
oxiacetileno, soldadura de arco, resistencia eléctrica y térmica	torno engranado, máquina automática de tronillos, generadora de engranes, herramientas de acero de alta velocidad, óxido de aluminio y carburo de silicio (sintético)	fabricación automática de botellas, baquelita, vidrio de borosilicato.
electrodos recubiertos soldadura de arco sumergido soldadura metálica con arco eléctrico y gas, de tungsteno con arco eléctrico, electroescoria, soldadura explosiva	carburo de tungsteno, producción en masa, máquinas de transferencia.  maquinado eléctrico y químico, control automático.	desarrollo de los plásticos, fundición, moldeo, PVC, acetato de celulosa, polietileno, fibras de vidrio.  acrílicos, sintéticos, hules, epoxis, vidrios fotosensibles.
arco de plasma y haz de electrones, unión adhesiva.	carburo de titanio, diamante sintético, control numérico.	ABS, siliconas, fluorocarbonos, poliuretano, vidrios flotados, vidrio templado y cerámicas de vidrio.
rayo láser, unión por difusión (también combinado con formado superplástico)	nitruro de boro cúbico, herramientas recubiertas, torneado con diamante, maquinado de ultra precisión, manufactura integrada por computadora, robots industriales, sistemas de manufactura flexible, fábrica sin personal.	acetales, policarbonatos, formado en frío de plástico, plástico reforzado, embobinado de filamentos.  adhesivos, materiales compositos, fibras ópticas, cerámicas estructurales, componentes cerámicos para motores automotrices y aeroespaciales, compositos de matriz cerámico.

Tabla 1-2. Tipos de procesos de manufactura.

## 1.2 DEFINICIÓN DE MANUFACTURA.

La palabra manufactura se deriva de las palabras latinas *manus* (manos) y *factus* (hacer); ésta combinación de términos significa hacer con las manos. La palabra inglesa *manufacturing* tiene ya varios siglos de antigüedad, la expresión "hecho a mano" describe precisamente el método manual que se usaba cuando se acuñó la palabra. Gran parte de la manufactura moderna se realiza con maquinaria computarizada y automatizada que se supervisa manualmente. (Mikell P. Groover, 1997).

La manufactura es la actividad dedicada a la transformación de materias primas en bienes comercializables. La industria de la manufactura es también llamada una industria secundaria, porque este es el sector de la economía de una nación responsable de la transformación de materias primas suministradas por la industria primaria (agricultura, forestal, pesca, minería entre otras) en productos terminados. Es una de las más importantes y básicas funciones de la actividad humana en las industrias modernas. En la manufactura usualmente se emplean una serie de procesos de valor agregado para convertir las materias primas en formas más útiles y eventualmente en productos terminados. (Bin Wu, 1994).

La manufactura, en su sentido más amplio, es el proceso de convertir la materia prima en productos. Incluye, el diseño del producto, la selección de la materia prima y la secuencia de procesos a través de los cuales será manufacturado el producto. La manufactura es la columna vertebral de cualquier nación industrializada. Su importancia queda enfatizada por el hecho que, como una actividad económica, comprende aproximadamente de 20 a 30 por ciento del valor de los bienes y servicios producidos. El nivel de la actividad manufacturera de un país, está directamente relacionado con una economía saludable. Por lo general, mientras más elevado es el nivel de la actividad de manufactura de un país, más elevado es el nivel de vida de la población. La manufactura también involucra actividades en el que el producto manufacturado se utiliza para fabricar otros productos. Debido a que un elemento manufacturado ha sufrido cierto número de procesos en los cuales la materia prima se ha convertido en un producto útil, tiene un valor, definido como un valor monetario o un precio de mercado. La manufactura puede

producir productos discretos, es decir piezas individuales, o productos continuos. Los clavos, engranes, balines para rodamientos, latas de refresco y mono bloques, son ejemplos de piezas discretas, aún cuando se fabriquen en masa a altas tasas de producción. Por otra parte, un rollo de alambre, una lámina de metal o de plástico, y tramos de manguera o de tubo son productos continuos, que pueden ser cortados en piezas individuales y luego convertirse en partes discretas. (Steven R. Schmid, 2006).

La manufactura es claramente una actividad compleja, que involucra una amplia variedad de recursos y actividades:

- Diseño del producto.
- Maquinaria y herramienta.
- Planeación de procesos.
- Materiales.
- Compras.
- Manufactura.
- Control de producción.
- Servicios de apoyo.
- Marketing.
- Ventas.

Las actividades de manufactura deben responder a varias exigencias y tendencias:

Un producto debe llenar completamente los requerimientos de diseño y las especificaciones y estándares del producto.

Un producto debe ser manufacturado utilizando ambiental y económicamente los métodos más amigables.

La calidad debe ser incorporada al producto en cada etapa, desde el diseño hasta el ensamble, en vez de ser probada después de que haya sido fabricado el producto. Lo que es más, el nivel de calidad debe ser apropiado al uso de producto.

En un ambiente altamente competitivo, los métodos de producción deben ser lo suficientemente flexibles como para responder a los cambios en la demanda del mercado,

en los tipos de productos, en las tasas de producción, en las cantidades de producción y en los requerimientos de entrega a tiempo.

En cuanto a su implementación apropiada, oportuna y económica en una organización de manufactura, deben de evaluarse de manera constante los nuevos desarrollos en materiales, métodos de producción e integración por computadora, tanto de las actividades tecnológicas como administrativas.

Las actividades de manufactura deben ser enfocadas como un gran sistema, estando interrelacionadas sus partes. Estos sistemas se pueden ahora modelar, a fin de estudiar los efectos de factores tales como fluctuación de la demanda en el mercado, en el diseño de los productos y en los materiales. Otros factores y métodos de producción afectan la calidad y el costo del producto.

Una organización de manufactura debe tratar de alcanzar constantemente los más altos niveles de calidad y de productividad (uso óptimo de recursos: materiales, máquinas, energía, capital, mano de obra y tecnología). Debe maximizarse la producción por empleado y por hora en todas las fases. También es una parte integral de la productividad el rechazo de piezas en base cero y la reducción consecuente del desperdicio.

### **1.3 INTRODUCCIÓN AL CAD.**

El Diseño Asistido por Computadora es definido como el uso integrado de sistemas computacionales para asistir en la creación, modificación, análisis u optimización de un diseño. Es la tecnología referente al uso de computadoras digitales para realizar ciertas funciones de diseño y producción. es el mayor elemento de la Ingeniería Asistida por Computadora (Shanmuga Sundar et al, 2005)

Es una disciplina que se utiliza para capturar la geometría de diseño de manera que, tanto ingeniería y manufactura pueden utilizarla para crear partes físicas y ensamblajes con precisión y rápidamente. (Jack Belzer et al, 1987)

El diseño es una actividad que necesita estar bien organizada y tener en cuenta todas la influencias que puedan ser responsables del éxito del producto en desarrollo. Se

entiende por producto un componente simple que es útil por sí mismo como una llave de tuercas o el ensamble de un gran número de componentes que contribuyen al funcionamiento de un motor de automóvil. La complejidad del proceso de diseño ciertamente se incrementa con el número y diversidad de los componentes presentes en el producto final.

Puesto que hay un gran número de variables, es imposible especificar un procedimiento de diseño para cada componente. Las diversas variables que son responsables del éxito de un producto pueden ser clasificadas de la manera que se muestra en la (Tabla 1-3.P. N. Rao, 2004):

Ingeniería del Producto.	Ingeniería de la Manufactura.
1. Función del producto.	1. Planeación del proceso.
2. Especificaciones del producto.	2. Hojas de proceso.
3. Diseño conceptual.	3. Hojas de ruta.
4. Ergonomía y estética.	4. Herramientales.
5. Diseño detallado.	5. Troqueles y moldes.
6. Desarrollo del prototipo.	6. Generación de la información de manufactura.
7. Pruebas.	7. Programas CNC.
8. Simulación.	8. Programas de inspección.
9. Fuerza.	9. Lista de materiales.
10. Cinemática.	10. Planeación de producción.
11. Dinámica.	11. Distribución y marketing.
12. Calor.	12. Empaquetado.
13. Flujo.	
14. Diseño de la manufactura.	
15. Diseño del ensamble.	
16. Planos.	

Tabla 1-3. Pasos sugeridos para la creación de un producto.

Idealmente el diseñador debe considerar todos estos factores mientras finaliza el diseño. Es imposible para un individuo llevar a cabo todas estas funciones, excepto en el

caso de partes sencillas. También hay un gran número de herramientas de asistencia disponibles para estas áreas. El proceso de diseño atraviesa por etapas estructuradas, tal y como sucede con las etapas de producción. (Figura 1-1)

Hoy en día la tecnología CAD puede proveer de la ayuda necesaria al ingeniero/diseñador de las siguientes maneras:

1. El diseño asistido por computadora es más rápido y más preciso que los métodos convencionales.
2. Las diversas facilidades de construcción disponibles en CAD hacen del trabajo de desarrollo del modelo y planos una tarea muy fácil.
3. En contraste con el método tradicional de dibujo, bajo CAD es posible manipular varias dimensiones, atributos y distancias de los elementos del dibujo. Esta cualidad hace extremadamente útil al CAD para el trabajo de diseño.
4. Bajo CAD no habrá necesidad de repetir el diseño o el dibujo de ningún componente. Una vez que un componente ha sido hecho, puede ser copiado en otro trabajo en segundos, incluyendo cualquier transformación geométrica necesaria.
5. Se puede calcular con precisión las diversas propiedades geométricas incluyendo dimensiones de los componentes que interactúan en CAD, sin hacer sus modelos o perfiles.
6. Hace que la modificación de un modelo y la tarea del diseñador de cuidar los requerimientos futuros sea muy fácil.
7. El uso de componentes estandarizados (biblioteca de partes) hace muy rápido el trabajo de desarrollo del modelo. También un gran número de componentes y subensambles pueden ser almacenados en bibliotecas de partes para ser reproducidos y usados después.
8. Muchos paquetes profesionales de CAD proveen capacidades de visualización 3D tales que los diseñadores pueden ver los productos que están siendo diseñados desde muchas orientaciones diferentes.



No solo esto, muchos diseñadores pueden trabajar simultáneamente en el mismo producto y gradualmente construir el producto por módulos. Esto provee las respuestas a las necesidades actuales de la industria. (P. N. Rao, 2004)

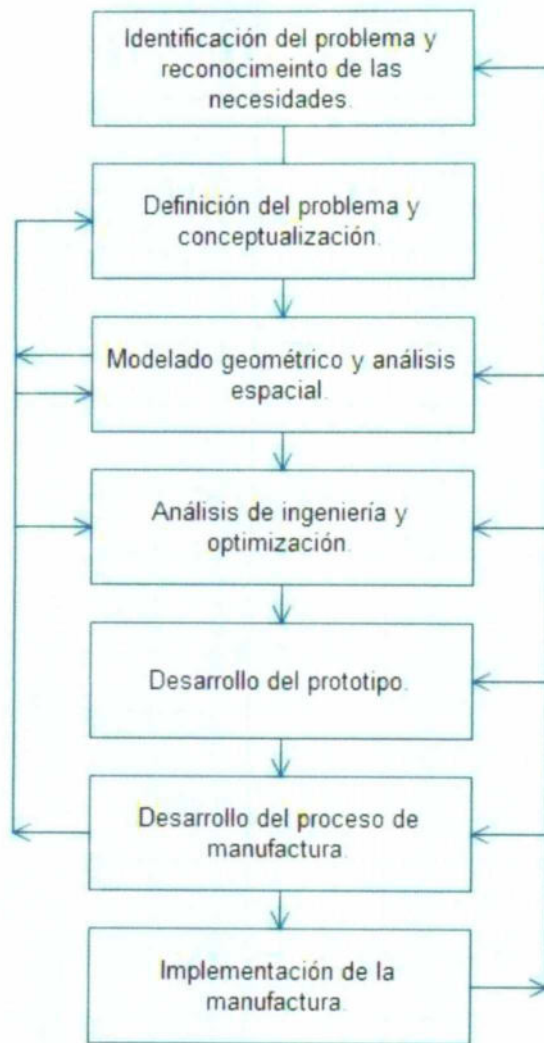


Figura 1-1. Etapas del Proceso de Diseño.

## 1.4 INTRODUCCIÓN AL CAM.

Un proceso utilizado para convertir entidades de diseño en partes físicas y ensamblajes usando las últimas técnicas de manufactura como planeación de proceso, herramientas de control numérico y manufactura flexible. (Jack Belzer et al, 1987).

La Manufactura Asistida por Computadora puede ser definida como el uso de sistemas computacionales para planificar, administrar y controlar las operaciones de una planta de manufactura a través de una interface computacional con los recursos de producción de la planta. En otras palabras, el uso de sistemas computacionales no en las actividades de diseño pero si en el proceso de manufactura es llamado CAM. (Shanmuga Sundar et al, 2005).

Se puede clasificar en términos generales la actividad industrial de manufactura en:

*Producción en masa.* En este, el volumen de producción es muy alto, en un rango de unos pocos miles a millones por año. El volumen muy alto justifica el uso de máquinas de uso especial y líneas de producción para bajar los costos de producción sustancialmente. También, esto asegura que un muy alto grado de precisión sea logrado con estos sistemas. Sin embargo, estos métodos de manufactura, una vez diseñados y fabricados, son muy inflexibles y solo pueden ser usados para un producto. Aún más, el tiempo de entrega desde la etapa de diseño del producto hasta la creación de la línea de producción es muy grande, variando con el producto. Un ejemplo de esta categoría son los automóviles.

*Producción por lotes.* La producción por lotes se refiere a fabricar medianas cantidades que van entre 100 a 1000 piezas de un tipo de componente. Por lo tanto las líneas de producción no pueden ser usadas para su creación pero si máquinas de uso especial las cuales pueden ser fácilmente modificadas por el uso de accesorios.

*Producción unitaria.* La producción unitaria se refiere a la producción de lotes muy pequeños o piezas únicas. Este puede ser requerido en situaciones especiales con el fin de probar un diseño, hacer un prototipo, en la fabricación de herramientas, o para aplicaciones de uso especial. En vista de que los lotes son muy pequeños, el uso de máquinas o herramientas especiales no se justifica desde el punto de vista económico. Por lo tanto, la manufactura se lleva a cabo con máquinas de uso general, teniendo un proceso largo y a menudo propenso a errores. (P. N. Rao, 2004).

Ventajas de usar CAM:

*Gran libertad de diseño.* Si se requiere de algún cambio en el diseño puede ser incorporado en cualquier etapa sin preocuparse por los retrasos, ya que prácticamente no habría ninguno en un entorno integrado de CAM.

*Incremento de la productividad.* En vista de que el total de la actividad de manufactura es organizado a través de la computadora, debería ser posible incrementar la posibilidad de la planta.

*Gran flexibilidad de operación.* El CAM aumenta la flexibilidad en los métodos de manufactura y el cambio en las líneas de producción.

*Plazo de entrega menor.* Los tiempos de entrega en la manufactura son enormemente reducidos.

*Confiabilidad.* En vista de que se usan los mejores métodos y controles de manufactura, los productos son tan confiables como lo sea el propio sistema de manufactura.

*Reducción del mantenimiento.* Como los componentes de un sistema CAM incluyen diagnóstico integrado y facilidades de monitoreo, éstos requieren menos mantenimiento comparado con los métodos tradicionales de manufactura.

*Se reduce el desperdicio.* Debido a que las máquinas CNC usadas en la producción y los programas son muy precisos, no hay pérdida de material por que la manufactura se ajusta a la forma diseñada.

## **1.5 INTRODUCCIÓN AL CAE.**

La Ingeniería Asistida por Computadora es el conjunto de programas informáticos que permiten analizar y simular los diseños de ingeniería realizados con el ordenador, o creados de otro modo e introducidos en el ordenador, para valorar sus características, propiedades, viabilidad y rentabilidad. Su finalidad es optimizar su desarrollo y

consecuentes costos de fabricación y reducir al máximo las pruebas para la obtención del producto deseado.

La mayoría de ellas se presentan como módulos o extensiones de aplicaciones CAD, que incorporan:

- Análisis cinemático.
- Análisis por el método de elementos finitos (FEM, Finite Elements Method).
- Maquinado por control numérico CNC (Computered Numeric Control).
- Exportación de ficheros "Stl" (Estereolitografía) para máquinas de prototipado rápido.

Este es el activador más importante en la reducción de los programas de desarrollo de ingeniería. Con CAE, los modelos informáticos se utilizan para diseñar y proporcionar una comprensión del desempeño del producto en cuestión, esta información es usada en lugar de hacer la prueba física. El concepto es extremadamente atractivo, y es fundamental para la innovación de procesos que reemplaza el enfoque tradicional iterativo para la ingeniería de diseño. En lugar de perfeccionar el diseño físicamente, las iteraciones son hechas con un modelo computacional. Una iteración física de un diseño puede implicar diseño, adquisición, construcción y ciclo de vida durante varios meses, dependiendo de la complejidad del componente o del sistema, considerando que el equivalente computacional puede completarse en unos días de pruebas. ( Mohamed Zairi, 1999)

# **CAPÍTULO 2**

---

## **2. DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA.**

Multitud de diseños contienen componentes de características análogas que se repiten entre dibujos. El CAD paramétrico facilita enormemente la reutilización de diseños que, almacenados una vez en la memoria del computador, pueden emplearse un número ilimitado de veces con la misma facilidad que se dibuja un elemento sencillo tal como una línea. Ésta característica permite compilar bibliotecas de símbolos, formas geométricas o componentes estándar para su utilización en el diseño.

Si bien muchos componentes de un diseño pueden reutilizarse directamente, otros varían en cuanto a dimensiones manteniendo su forma. Los programas de CAD paramétrico permiten alterar la forma de un modelo modificando los valores numéricos de sus dimensiones. De esta manera es posible flexibilizar enormemente el proceso de diseño y mantener bibliotecas de formas básicas que pueden emplearse de forma versátil en diseños diferentes (R. A. Cuervo et al, 2005).

### **2.1 MODELADO DE SÓLIDOS.**

En esta sección se tratará el tema del Modelado de sólidos en NX6 Siemens. Sólo se abordará el tema de la creación de sólidos primitivos con este software, ya que el dibujo de una pieza dependerá en mayor parte de la imaginación del dibujante.

Los sólidos llamados primitivos son cuatro, se les llama así porque son la base para formar sólidos más complejos y se muestran en la (Figura 2-1)

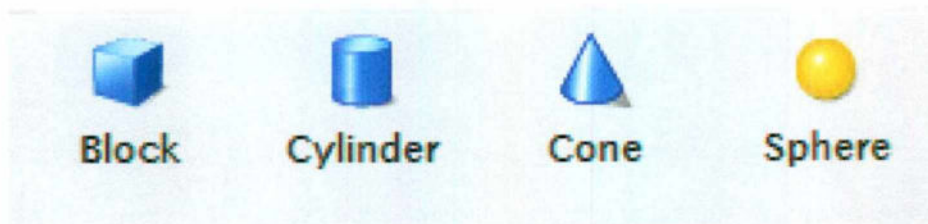


Figura 2-1. Sólidos primitivos.

Una vez visto esto se crearan sólidos para observar cuáles son los parámetros correspondientes a cada opción.

### 2.1.1 BLOQUE.

En la creación de un bloque el programa solicita 3 parámetros principales: Longitud X, Ancho Y, Altura Z. Si sólo damos esos datos, el programa por default coloca una de las aristas del bloque en el origen como se muestra en la (**¡Error! No se encuentra el origen de la referencia.**)

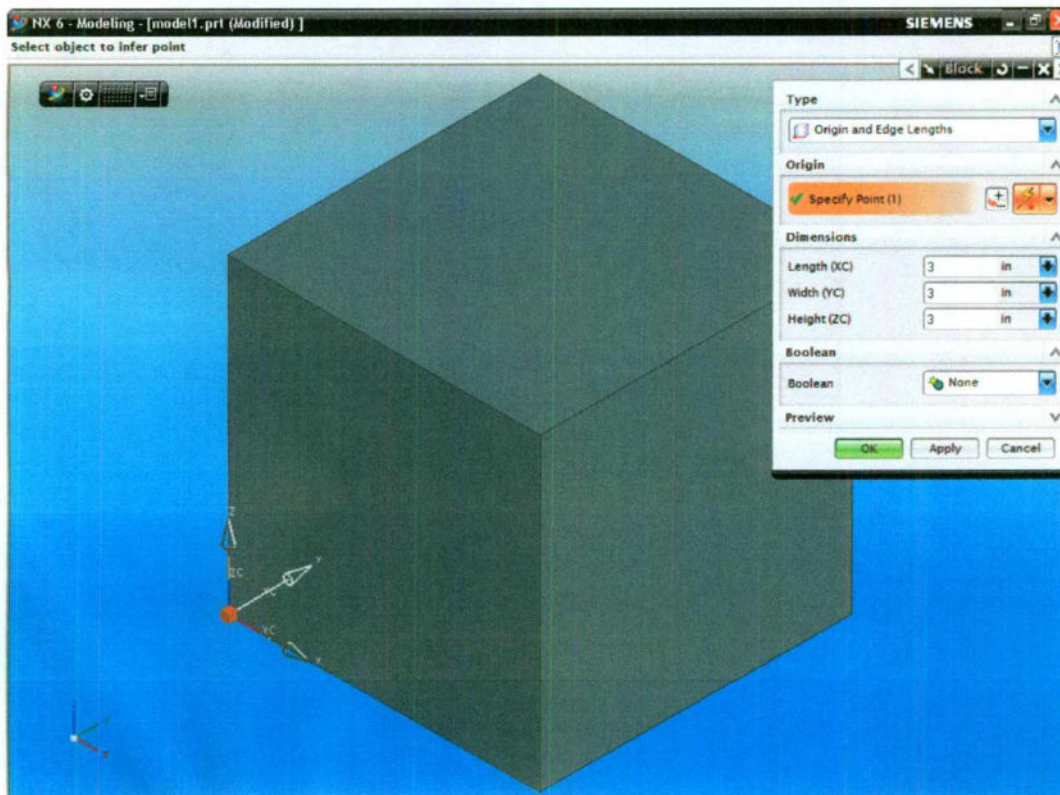


Figura 2-2. Parámetros y creación de un bloque.

### 2.1.2 CILINDRO.

Para el cilindro el programa solicita dos parámetros: Diámetro y Altura. Adicionalmente tenemos la opción de decidir cuál de los tres ejes será tomado para la altura y cuál será la posición del cilindro. (Figura 2-3).

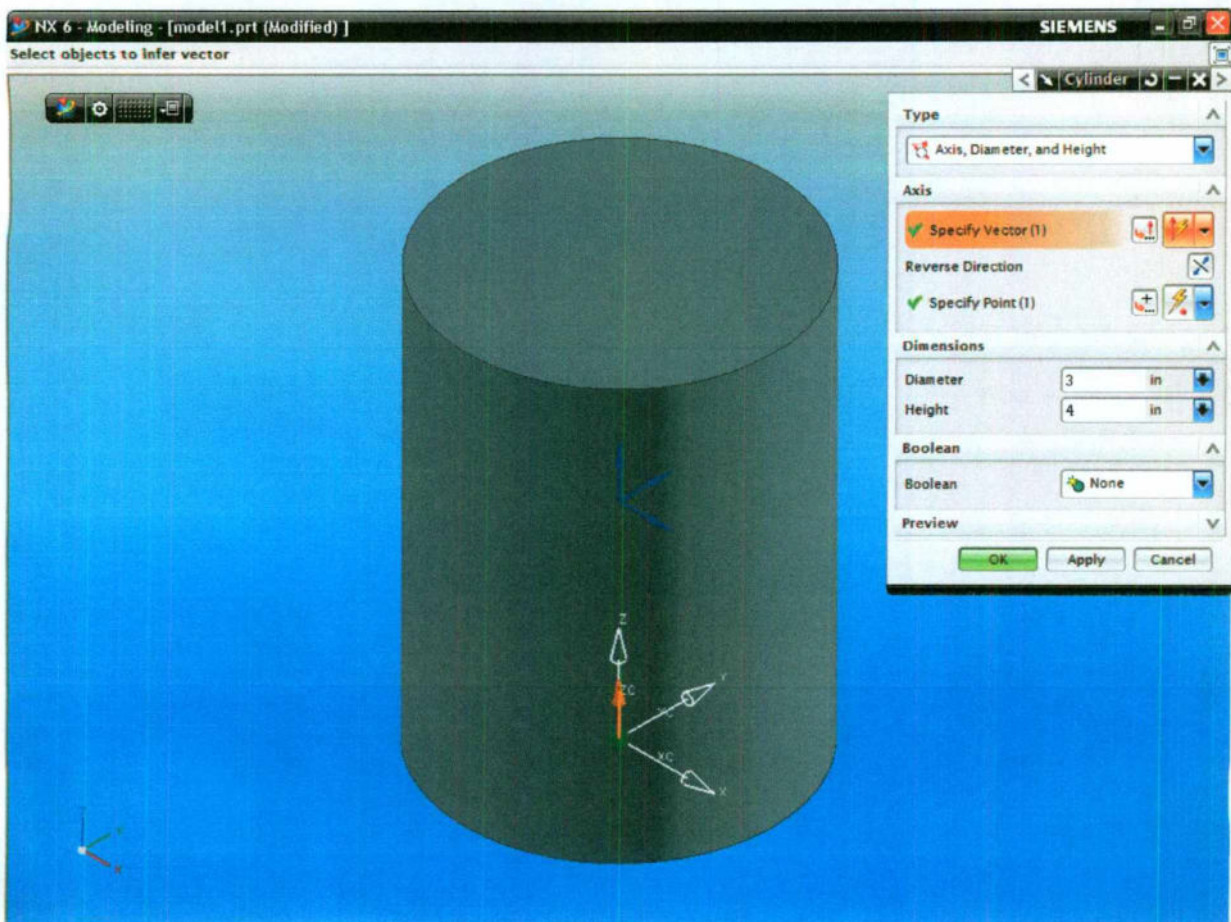


Figura 2-3. Parámetros y creación de un cilindro.

### 2.1.3 CONO.

A continuación se muestran los datos solicitados por NX6 para la creación de un cono (Figura 2-4). Nos pide el Diámetro de la base; el Diámetro de la punta, si no se quiere que el cono sea truncado se deja con valor cero; y por último la altura del cono. Es

posible seleccionar el eje de la altura (para este caso es Z) y la posición del cono (que para la figura que se muestra es el origen).

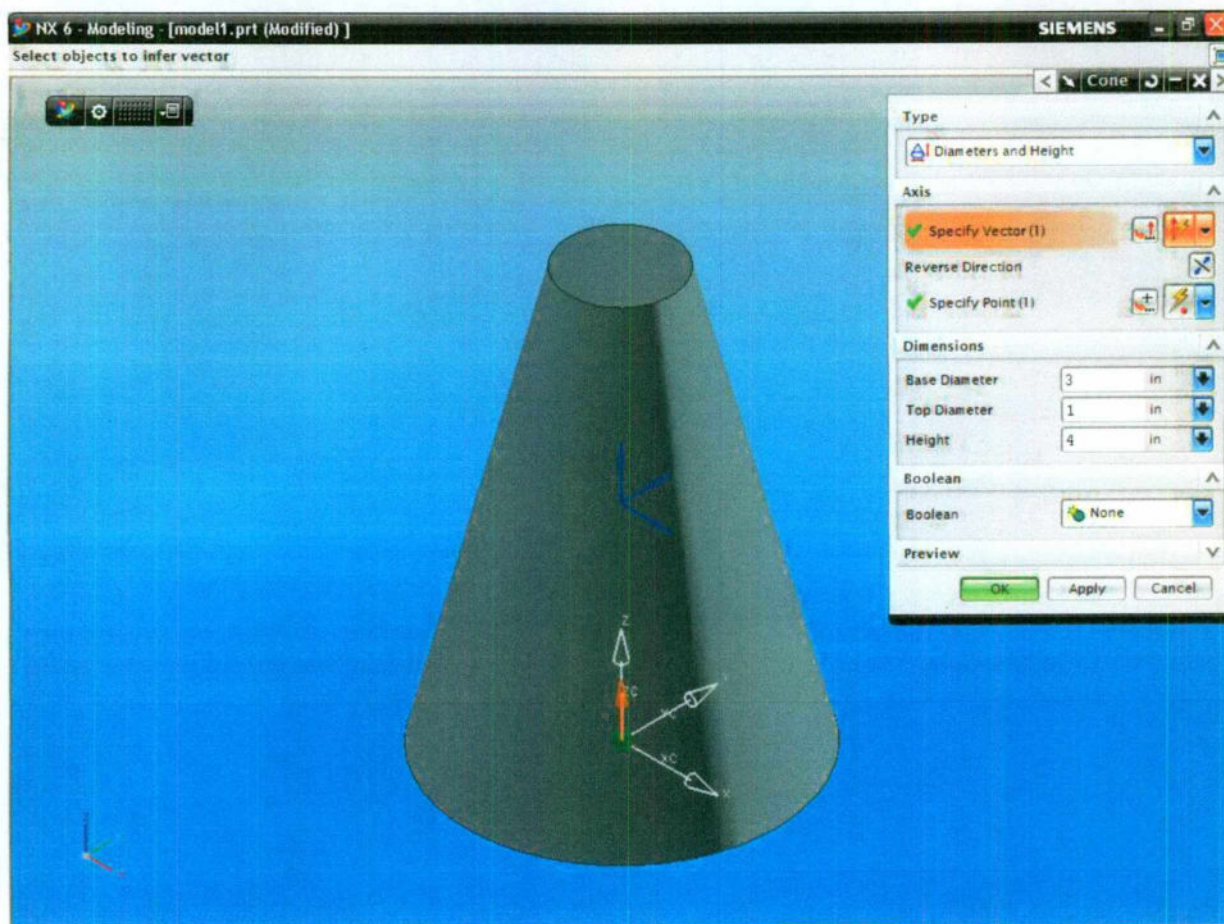


Figura 2-4. Parámetros y creación de un cono.

#### 2.1.4 ESFERA.

Para el caso de la esfera NX6 solicita dos datos para la creación de la esfera: el Diámetro y que el usuario determine el punto de posición del centro de la esfera (Figura 2-5).

Otra manera de crear sólidos es usando los botones **Extrude** y el botón **Revolve**. Para poder hacer uso de estos es necesario haber creado un perfil con un Sketch que se tratará a continuación.



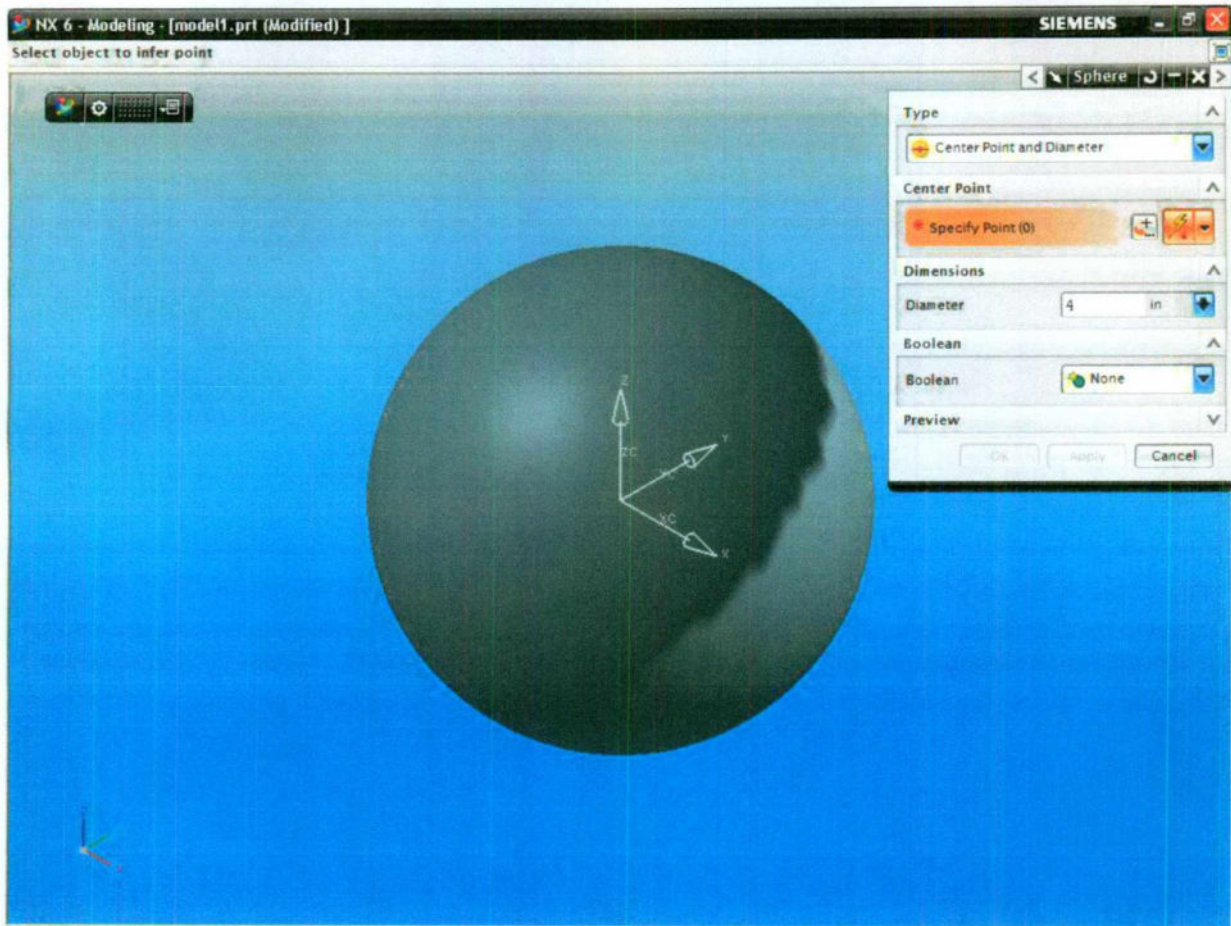


Figura 2-5. Parámetros y creación de una esfera.

### 2.1.5 SKETCH.

La idea básica del **Sketch** es hacer una figura en 2D para después aplicar una extrusión o una revolución y así crear un sólido a partir de un dibujo plano. Para ejemplificar el uso del comando **Extrude** y del **Sketch** se realizará un bloque como el de la Figura 2-2 por este método.

Primero se presiona el botón de **Sketch** y en seguida en **OK** para seleccionar el plano XY como el plano de trabajo. Después con el comando **Line** creamos un cuadrado de 3 pulgadas por 3 pulgadas (Figura 2-6 y Figura 2-7).

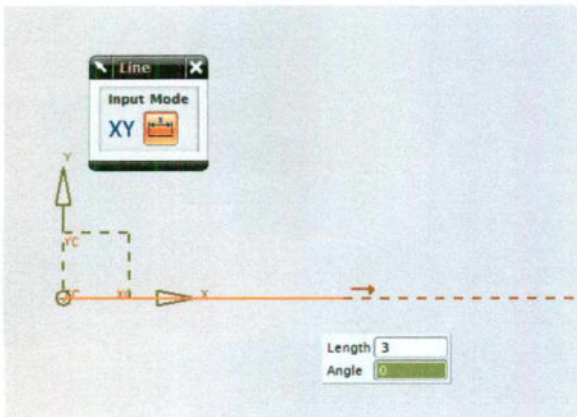


Figura 2-6. Creación de una línea.

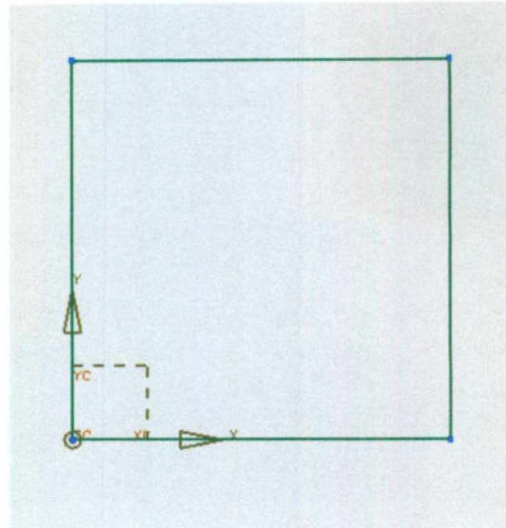


Figura 2-7. Perfil creado.

En seguida se da por terminado el **Sketch**. Ahora sí, con el botón de **Extrude** haremos el sólido a partir del cuadrado. Presionamos el botón **Extrude** e introducimos los parámetros como en la (Figura 2-8) y seleccionamos el perfil que creamos.

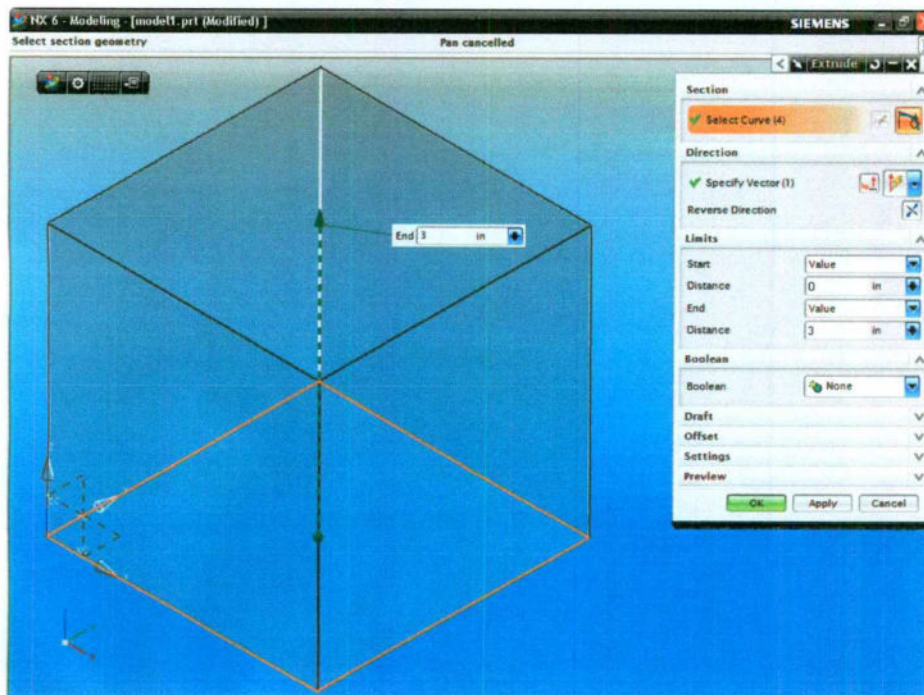


Figura 2-8. Aplicación del comando Extrude.

## 2.2 ENSAMBLES.

Ahora se tratará el tema de los ensambles. Para ello, se crearon dos piezas que por su estructura permiten el ensamble. Se muestran en la (Figura 2-9).

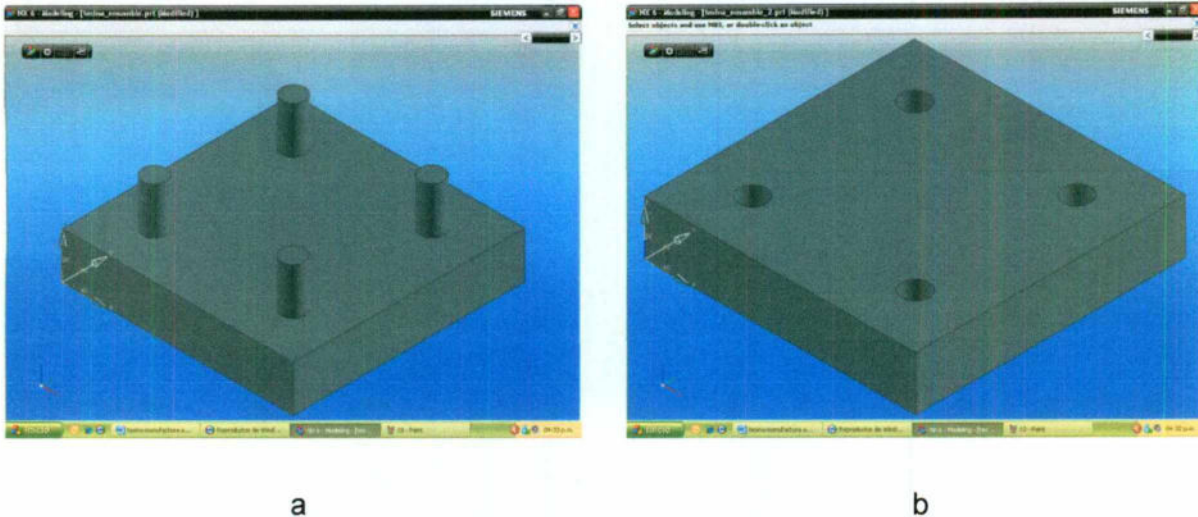


Figura 2-9. Piezas a ensamblar.

Para comenzar con el ensamble se crea un archivo nuevo. En la barra **Standard** presionamos en el botón **Start** y activamos la opción **Assemblies** para que nos muestre el menú de ensambles (Figura 2-10).

Ahora dar clic en el botón **add component** y seleccionar el componente base del ensamble con los parámetros mostrados en la (Figura 2-9) que para este caso será la pieza **a** de la figura anterior. Después de la selección dar clic en **OK** de ese cuadro de diálogo y en el siguiente. Este movimiento se muestra en la (Figura 2-11). Una vez que se tiene la pieza base se agregará un nuevo componente con el botón **add component** y seleccionar la pieza **b** de la (Figura 2-9) dando clic en **OK** para que se desplegué el cuadro de diálogo con las **Assembly Constraints** (Figura 2-12a). Seleccionar la opción de **Concentric** (Figura 2-12b).





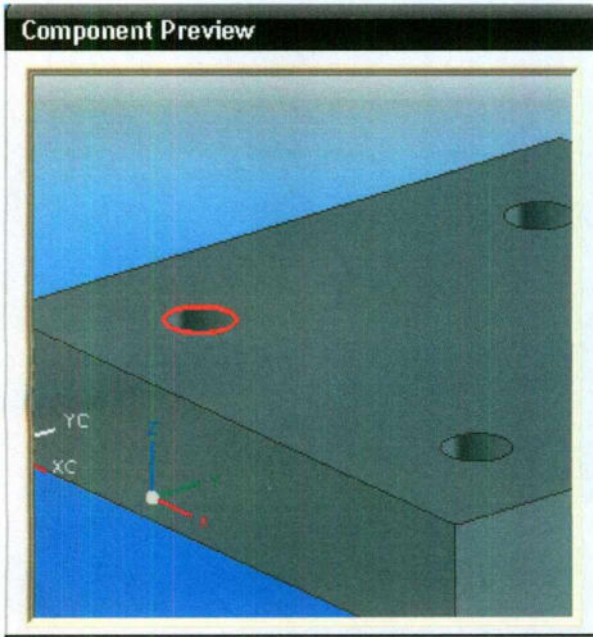
a



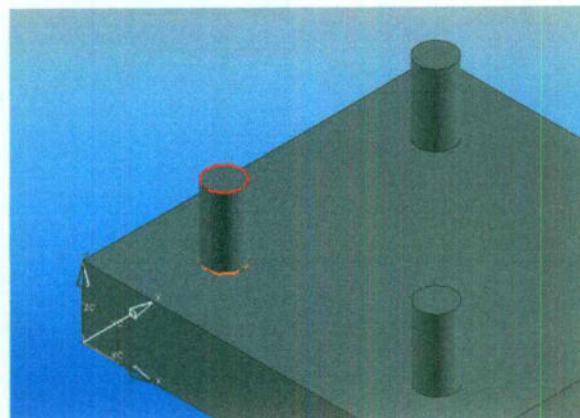
b

Figura 2-12. Restricciones de ensamble.

Ya al haber seleccionado **Concentric**, en la pieza de la ventana **component preview** seleccionar el contorno superior del barreno más cercano al origen de la pieza (Figura 2-13a). En seguida, hacer lo mismo con el contorno del eje más cercano al origen de la pieza base (Figura 2-13b). Habiendo hecho esto, NX6 muestra una vista previa del ensamble por lo que se procede a dar clic en **OK**, quedando el ensamble como se muestra en la (Figura 2-14).



a



b

Figura 2-13. Contorno seleccionado para la restricción de ensamblado.

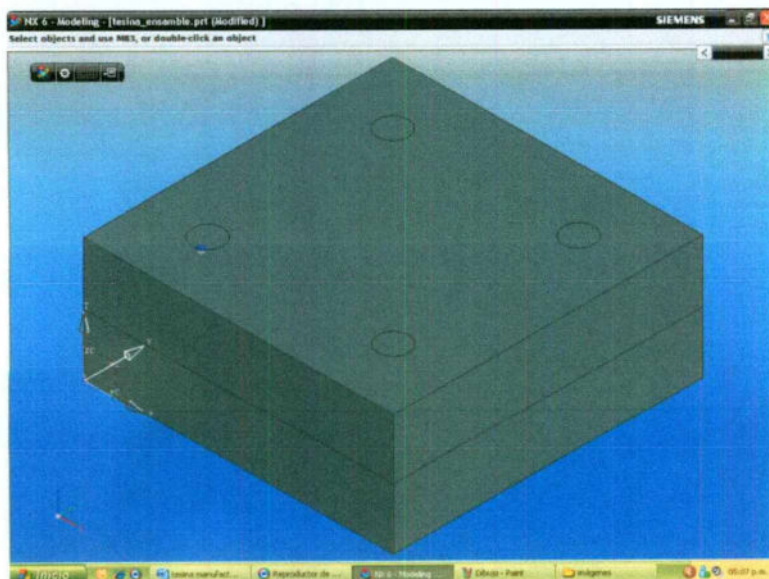


Figura 2-14. Ensamble en la posición deseada.

## 2.3 GENERACIÓN DE PLANOS DE TALLER.

En esta sección se generarán los planos de la pieza de la (Figura 2-9b). Para ello se da clic en el botón **Start** y se selecciona **Drafting** (Figura 2-15), dejando los parámetros como se muestra en la (Figura 2-16) dando clic en **OK** para que NX6 dé la opción de colocar una **Base View**, la cual se aumentará a una escala de 4:1 para después dar clic en la posición en que se desee colocar en la hoja de trabajo como en la (Figura 2-17).



Figura 2-15. Selección de Drafting.

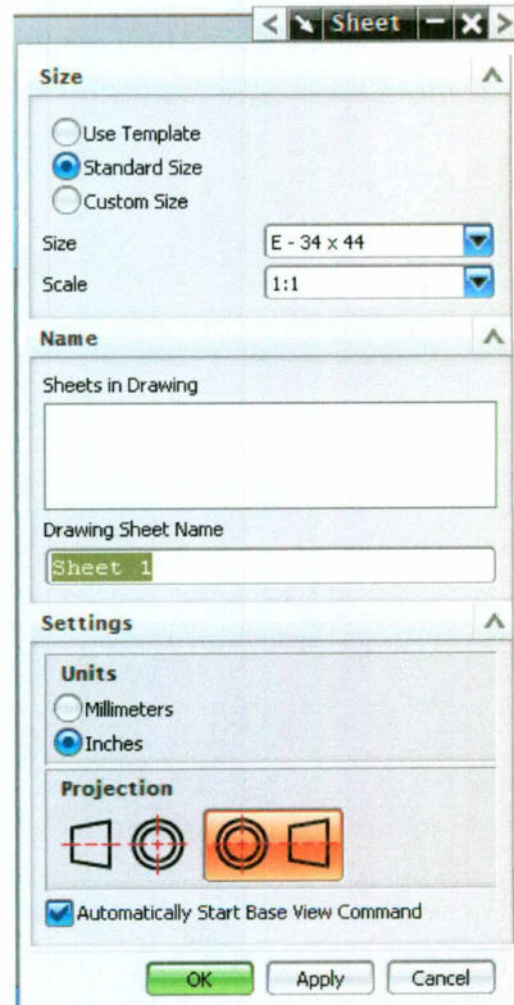


Figura 2-16. Parámetros de Drafting.

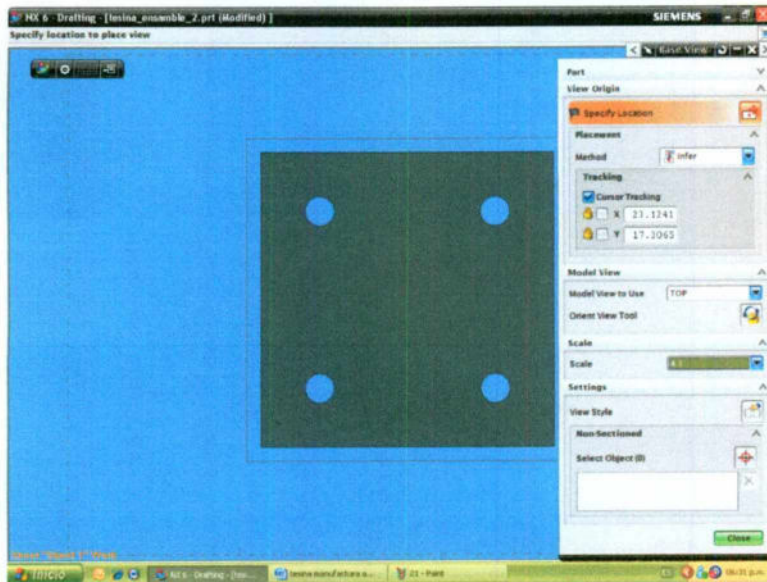


Figura 2-17. Colocación de Base View.

En seguida, NX6 dará la opción de colocar un **Projected View** que para este caso se hace del lado izquierdo de la **Base View** como en la (Figura 2-18).

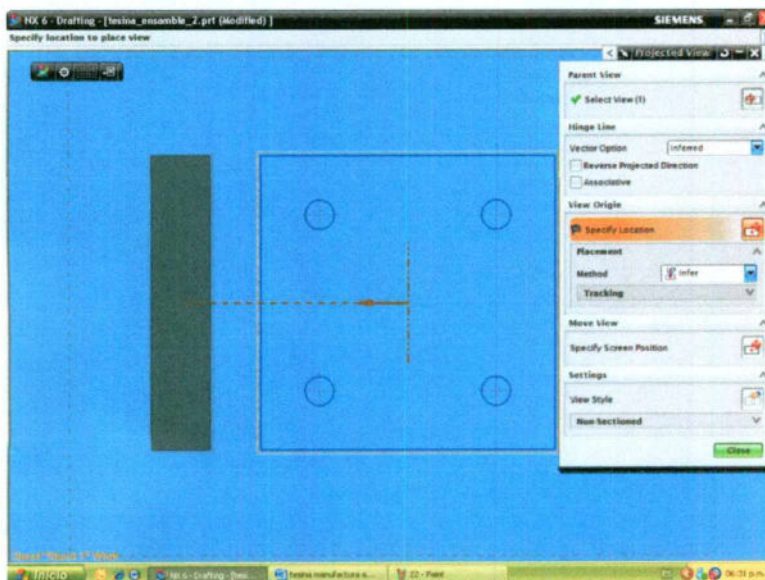


Figura 2-18. Projected View.



Ahora se procede a colocar las cotas de la pieza en sus dos vistas del siguiente modo. En el menú **Dimension – Inferred – Horizontal** (Figura 2-19), está la opción para colocar todas las cotas de las líneas horizontales. Esto se hace situando el cursor sobre la línea y dando clic en ella, para en seguida posicionar la cota a la altura deseada. Este paso se muestra en la (Figura 2-20) con todas las cotas horizontales y verticales colocadas.

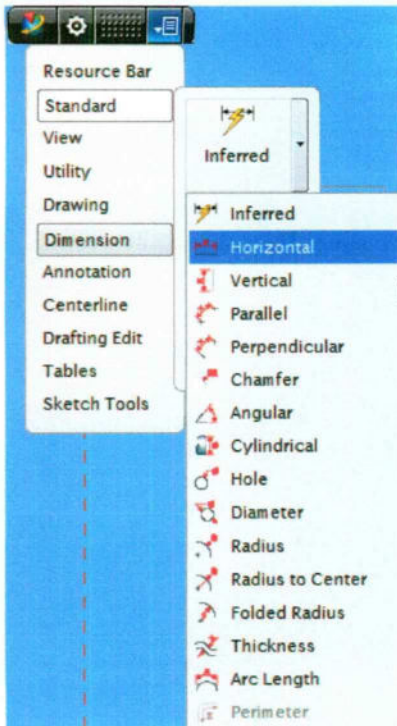


Figura 2-19. Selección del tipo de cotas.

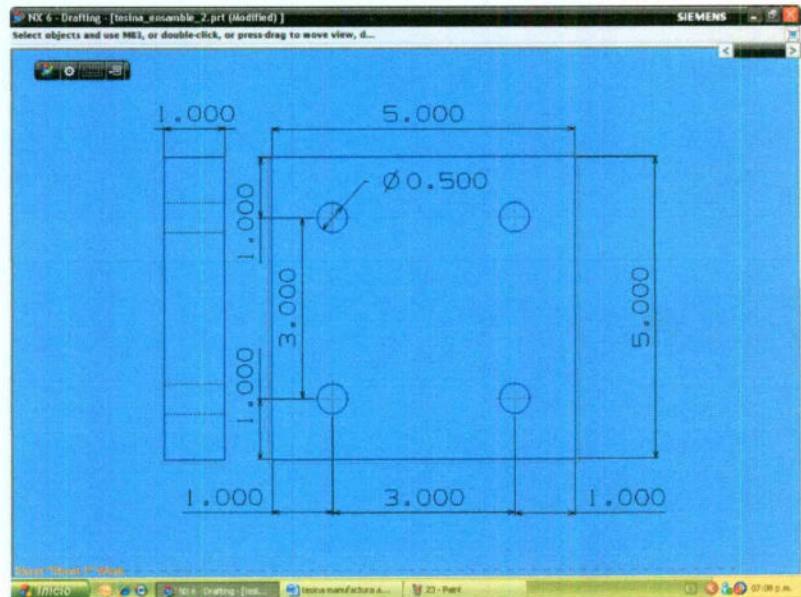


Figura 2-20. Tipos de cotas colocadas.

# CAPÍTULO 3

## **3. PROGRAMACIÓN DE EQUIPOS CNC.**

### **3.1 DEFINICIÓN DE CONTROL NUMÉRICO.**

El control numérico o máquina de control numérico puede designarse como una máquina que es mandada por órdenes de letras y números. Se puede decir que el control numérico es un sistema de manufactura mediante el cual la máquina es controlada por informaciones alfanuméricas introducidas mediante un programa que puede ser comprobado y evaluado en el ordenador para su posterior mecanizado. (G. F. Rioja et al, 1999).

Se considera Control Numérico por Computadora, también llamado CNC (en inglés *Computer Numerical Control*) a todo dispositivo capaz de dirigir el posicionamiento de un órgano mecánico móvil mediante órdenes elaboradas de forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas en tiempo real.

#### **3.1.1 ANTECEDENTES HISTÓRICOS.**

El concepto básico del control numérico aparentemente fue implementado a principios del siglo XIX, cuando se usaban tarjetas perforadas de lámina metálica para controlar de forma automática los movimientos de las máquinas tejedoras. Las agujas se activaban al sentir la presencia o ausencia de la perforación en la tarjeta. A este invento siguió el piano automática (pianola) en el que las teclas se activaban con aire que pasaba a través de orificios perforados en un rollo de papel.

El principio de controlar numéricamente los movimientos de las máquinas herramientas lo concibió J. Parsons por primera vez en la década de 1940, al tratar de

maquinar piezas complicadas para helicópteros. El primer prototipo de máquina con control numérico se construyó en 1952, en el Instituto Tecnológico de Massachusetts. Era una fresadora copiadora en dos ejes con husillo vertical, adaptada con servomotores; las operaciones que hacía eran de fresado lateral y de careado en una placa gruesa de aluminio. Los datos numéricos que serían perforados en las cintas de papel se generaban en una computadora. En los experimentos, se maquinaron bien, con precisión y repetibilidad las piezas, sin intervención de un operador. Con base en este éxito, la industria de las máquinas herramientas comenzó a diseñar, construir y vender máquinas con control numérico, después esas máquinas se equiparon con controles numéricos por computadora, alcanzando mayor flexibilidad, versatilidad y facilidad de operación. (Steven R. Schmid, 2006).

## **3.2 VENTAJAS Y DESVENTAJAS.**

Como anteriormente se ha mencionado, el CNC controla cualquier tipo de máquina mecanizando perfiles sumamente complejos, con precisiones del orden de milésimas de milímetro, que en una máquina convencional sería, cuando menos, muy laborioso y posiblemente antieconómico. La finalidad que se pretende con las máquinas herramientas equipadas con CNC es obviar, en lo posible, las dificultades inherentes a dicha mecanización, así como hacer rentable económicamente la elaboración de una pieza. La mecanización con CNC es una tecnología que se viene implantando por su aportación técnico-financiera en comparación con otros mecanismos.

Las máquinas herramientas con CNC presentan en principio ventajas e inconvenientes en comparación con las convencionales.

### **3.2.1 VENTAJAS DEL CONTROL NUMÉRICO.**

- Mejora la flexibilidad de operación, así como la capacidad de producir formas complicadas con buena precisión dimensional, repetibilidad, menor pérdida por defectos, grandes tasas de producción, alta productividad y alta calidad en los productos.
- Fabricación de piezas con gran precisión e intercambiabilidad.

- Son fáciles de hacer los ajustes de la máquina, con microcomputadoras e indicaciones digitales.
- Ahorro de herramientas porque no se requieren plantillas ni diversos soportes.
- Es posible efectuar más operaciones con cada preparación, y el tiempo de inicio para preparación y maquinado es menor, en comparación con los métodos convencionales.
- Seguridad de precisión entre lotes de piezas.
- Aumento de la productividad por el menor tiempo total de mecanizado.
- Menor tiempo para el cambio de pieza
- Flexibilidad de mecanización (un programa se puede cambiar y servir para otro tipo de pieza similar).
- Aumento de la productividad al no existir fatiga del trabajador.

### **3.2.2 DESVENTAJAS DEL CONTROL NUMÉRICO.**

Las principales limitaciones del control numérico son el costo inicial del equipo que es relativamente alto, la necesidad y costo de programación, así como el tiempo de computadora y el mantenimiento especial que requiere de personal capacitado. Como las máquinas de control numérico son sistemas complejos, sus composuras son muy costosas, así que es necesario su mantenimiento preventivo.

## **3.3 TIPOS DE MÁQUINAS HERRAMIENTA.**

### **3.3.1 ¿QUÉ SON LAS MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO?**

Básicamente son similares a las máquinas herramientas convencionales, no obstante, existen algunas diferencias constructivas entre unas y otras. Una de ellas es que para mecanizar una pieza en máquina convencional el trabajador debe mover los carros con ayuda de los volantes de tal modo que consiga el perfil deseado, todo ello de forma manual. El operario tiene que controlar la velocidad de corte, giro de la herramienta, la refrigeración, el avance de los carros, etc.

En las máquinas herramientas con control numérico no podemos girar ningún volante a mano. Para ello todos los carros de los ejes van provistos de motores de avances propios. El movimiento de giro del motor de avance se traduce en un movimiento rectilíneo del carro de la máquina, por medio de un husillo y una tuerca, todo ello de forma automática. Si combinamos movimientos de dos ejes a la vez, logramos rectas inclinadas o arcos de circunferencia, dependiendo de la orden de interpolación que le demos al CNC. Para desplazar la herramienta o la pieza, el mando numérico CNC emite señales eléctricas a los motores de avance que correspondan, para conseguir el movimiento de los ejes de la máquina. Estas máquinas llevan también incorporados elementos para reconocer las diferentes órdenes que se les envían desde el CNC. Lo normal es que se utilicen captadores y regletas ópticos o fotoeléctricos, que actúan como sistemas para gobernar la medición del recorrido de los ejes.

### **3.3.2 TORNO.**

Se denomina torno (del latín *tornus*, y este del griego τόρνος, giro, vuelta) a un conjunto de máquinas herramienta que permiten mecanizar piezas de forma geométrica de revolución. Estas máquinas-herramienta operan haciendo girar la pieza a mecanizar (sujeta en el cabezal o fijada entre los puntos de centraje) mientras una o varias herramientas de corte son empujadas en un movimiento regulado de avance contra la superficie de la pieza, cortando la viruta de acuerdo con las condiciones tecnológicas de mecanizado adecuadas. Desde el inicio de la Revolución industrial, el torno se ha convertido en una máquina básica en el proceso industrial de mecanizado.

El torno es una máquina que trabaja en el plano porque solo tiene dos ejes de trabajo, normalmente denominados Z y X. La herramienta de corte va montada sobre un carro que se desplaza sobre unas guías o rieles paralelos al eje de giro de la pieza que se tornea, llamado eje Z; sobre este carro hay otro que se mueve según el eje X, en dirección radial a la pieza que se tornea, y puede haber un tercer carro llamado *charriot* que se puede inclinar, para hacer conos, y donde se apoya la torreta portaherramientas. Cuando el carro principal desplaza la herramienta a lo largo del eje de rotación, produce el cilindrado de la pieza, y cuando el carro transversal se desplaza de forma perpendicular al eje de simetría de la pieza se realiza la operación denominada refrentado.

### 3.3.2.1 TIPOS DE TORNO.

#### TORNO PARALELO.

El torno paralelo o mecánico es el tipo que evolucionó partiendo de los tornos antiguos cuando se le fueron incorporando nuevos equipamientos que lograron convertirlo en una de las máquinas herramienta más importante que han existido. Sin embargo, en la actualidad este tipo de torno está quedando relegado a realizar tareas poco importantes, a utilizarse en los talleres de aprendices y en los talleres de mantenimiento para realizar trabajos puntuales o especiales.



Figura 3-1. Torno paralelo.

## TORNO COPIADOR.

Se llama torno copiadorel al tipo que operando con un dispositivo hidráulico y electrónico permite el torneado de piezas de acuerdo a las características de la misma siguiendo el perfil de una plantilla que reproduce el perfil de la pieza.

Este tipo de tornos se utiliza para el torneado de aquellas piezas que tienen diferentes escalones de diámetros, que han sido previamente forjadas o fundidas y que tienen poco material excedente. También son muy utilizados estos tornos en el trabajo de la madera y del mármol artístico para dar forma a las columnas embellecedoras. La preparación para el mecanizado en un torno copiadorel es muy sencilla y rápida y por eso estas máquinas son muy útiles para mecanizar lotes o series de piezas que no sean muy grandes.

Las condiciones tecnológicas del mecanizado son comunes a las de los demás tornos, solamente hay que prever una herramienta que permita bien la evacuación de la viruta y un sistema de lubricación y refrigeración eficaz del filo de corte de las herramientas mediante abundante aceite de corte.

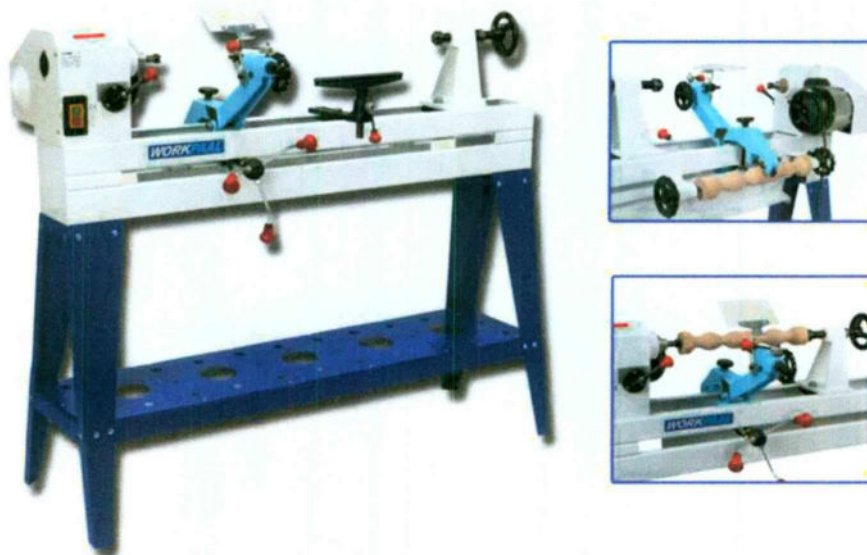


Figura 3-2. Torno copiadorel.

## TORNO REVÓLVER.

El torno revólver es una variedad de torno diseñado para mecanizar piezas sobre las que sea posible el trabajo simultáneo de varias herramientas con el fin de disminuir el tiempo total de mecanizado. Las piezas que presentan esa condición son aquellas que, partiendo de barras, tienen una forma final de casquillo o similar. Una vez que la barra queda bien sujeta mediante pinzas o con un plato de garras, se va taladrando, mandrinando, roscando o escariando la parte interior mecanizada y a la vez se puede ir cilindrando, refrentando, ranurando, roscando y cortando con herramientas de torneado exterior.

La característica principal del torno revólver es que lleva un carro con una torreta giratoria de forma hexagonal que ataca frontalmente a la pieza que se quiere mecanizar. En la torreta se insertan las diferentes herramientas que realizan el mecanizado de la pieza. Cada una de estas herramientas está controlada con un tope de final de carrera. También dispone de un carro transversal, donde se colocan las herramientas de segar, perfilar, ranurar, etc.



Figura 3-3. Torno revólver.



## TORNO AUTOMÁTICO.

Se llama torno automático a un tipo de torno cuyo proceso de trabajo está enteramente automatizado. La alimentación de la barra necesaria para cada pieza se hace también de forma automática, a partir de una barra larga que se inserta por un tubo que tiene el cabezal y se sujeta mediante pinzas de apriete hidráulico.

Estos tornos pueden ser de un solo husillo o de varios husillos:

Los de un solo husillo se emplean básicamente para el mecanizado de piezas pequeñas que requieran grandes series de producción.

Cuando se trata de mecanizar piezas de dimensiones mayores se utilizan los tornos automáticos multihusillos donde de forma programada en cada husillo se va realizando una parte del mecanizado de la pieza. Como los husillos van cambiando de posición, el mecanizado final de la pieza resulta muy rápido porque todos los husillos mecanizan la misma pieza de forma simultánea.

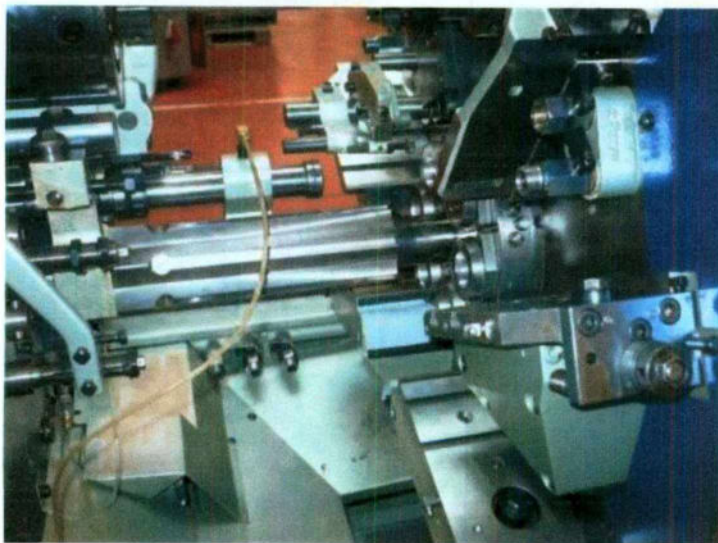


Figura 3-4. Torno automático.

## TORNO VERTICAL.

El torno vertical es una variedad de torno diseñado para mecanizar piezas de gran tamaño, que van sujetas al plato de garras y que por sus dimensiones o peso harían difícil su fijación en un torno horizontal.

Los tornos verticales tienen el eje dispuesto verticalmente y el plato giratorio sobre un plano horizontal, lo que facilita el montaje de las piezas voluminosas y pesadas. Es pues el tamaño lo que identifica a estas máquinas, permitiendo el mecanizado integral de piezas de gran tamaño.

En los tornos verticales no se pueden mecanizar piezas que vayan fijadas entre puntos porque carecen de *contrapunta*. Debemos tener en cuenta que la contrapunta se utiliza cuando la pieza es alargada, ya que cuando la herramienta está arrancado la viruta ejerce una fuerza que puede hacer que flexione el material en esa zona y quede inutilizado. Dado que en esta máquina se mecanizan piezas de gran tamaño su único punto de sujeción es el plato sobre el cual va apoyado. La manipulación de las piezas para fijarlas en el plato se hace mediante grúas de puente o polipastos.



Figura 3-5. Torno vertical.

## **Dígitos.**

Existen diez dígitos, del 0 al 9, disponibles para usarse en un programa para crear números. Los dígitos son usados en dos modos, uno para *valores enteros* (números sin un punto decimal), el otro para *números reales* (números con punto decimal). Los números pueden tener valores positivos o negativos.

## **Letras.**

Las 26 letras del alfabeto Inglés están disponibles para programar, al menos en teoría. La mayoría de los sistemas de control aceptan solo ciertas letras y rechazan otras. Por ejemplo, el control CNC de un torno rechazará la letra Y, debido a que el eje Y es único para las operaciones de fresado (fresadoras y los centros de maquinado). Normalmente se utilizan letras mayúsculas para la programación, pero algunos controles permiten el uso de minúsculas con el mismo significado que sus pares mayúsculas.

## **Símbolos.**

Muchos símbolos son usados para programar, en conjunto con los dígitos y las letras. Los símbolos más comunes son el *punto decimal*, el *signo de menos*, el *signo de porcentaje*, los *paréntesis* y *otros*, dependiendo de las opciones del control.

## **PALABRA.**

En un programa, una palabra es una combinación de caracteres alfanuméricos, creando una instrucción simple al sistema de control. Normalmente, cada palabra comienza con una letra mayúscula que es seguida por un número representando un código de programa o un valor actual. Comúnmente las palabras indican la posición de los ejes, velocidad de avance, velocidad de giro, comandos de preparación, funciones diversas y muchas otras definiciones.

## **BLOQUE.**

Así como la palabra es usada como una instrucción simple en el sistema CNC, el bloque es usado como una instrucción múltiple. Un programa ingresado en el sistema de control está compuesto de líneas de instrucciones individuales, secuenciadas en un orden

lógico. Cada línea (llamada bloque), está compuesta de una o muchas palabras, y cada palabra está compuesta de dos o más caracteres. En el sistema de control, cada bloque debe estar separado de los demás. Para separar los bloques en el modo MDI (*manual data input* por sus siglas en inglés), o sea, entrada manual de datos, cada bloque tiene que terminar con una clave especial llamada End-Of-Block (fin de bloque), que está representada en el panel de control de la máquina con un botón que dice EOB. Cuando preparas el programa en una computadora, el fin de cada bloque está representado por un salto de renglón presionando la tecla Enter del teclado, así se indicará la terminación de cada bloque. Cada bloque de programa contiene una serie de instrucciones simples que son ejecutadas juntas.

## **PROGRAMA.**

La estructura del programa varía para diferentes controles, pero el enfoque lógico no cambia de un control a otro. Un programa CNC generalmente comienza con un número de programa o alguna identificación similar, seguido por los bloques de instrucciones en un orden lógico. El programa termina con una clave de paro o un símbolo de terminación de programa como el signo de porcentaje %.

El programa está formado por una serie de secuencias u órdenes llamados bloques. Cada bloque puede contener varios de los siguientes caracteres y palabras, seguidos de un código o valor:

N	= Número de bloque.
G	= Funciones preparatorias.
X, Y, Z, W	= Cotas de los ejes.
F	= Velocidad de avance.
S	= Velocidad de giro del cabezal.
T	= Número de herramienta.
M	= Funciones auxiliares.

Dentro de cada bloque tenemos que mantener este orden, si bien no es necesario que cada bloque contenga todas y cada una de estas informaciones. El CNC puede ser programado en el sistema métrico o en el sistema inglés.

## Definición de las funciones.

FUNCIÓN	SIGNIFICADO
A	Coordenada angular alrededor del eje X.
B	Coordenada angular alrededor del eje Y.
C	Coordenada angular alrededor del eje Z.
D	Coordenada angular alrededor de un eje especial o tercera velocidad de avance.
E	Coordenada angular alrededor de un eje especial o segunda velocidad de avance.
F	Función velocidad de avance.
G	Función preparatoria.
H	Disponible.
I	Disponible para utilizar en CN continuos.
J	Disponible para utilizar en CN continuos.
K	Disponible para utilizar en CN continuos.
M	Función auxiliar.
N	Número de bloque.
O	No utilizar.
P	Movimiento terciario paralelo al eje X
Q	Movimiento terciario paralelo al eje Y
R	Movimiento terciario paralelo al eje Z o desplazamiento rápido según Z
S	Función velocidad de rotación.
T	Función herramienta.
U	Movimiento secundario paralelo al eje X.
V	Movimiento secundario paralelo al eje Y
W	Movimiento secundario paralelo al eje Z
X	Movimiento principal del eje X
Y	Movimiento principal del eje Y
Z	Movimiento principal del eje Z

Tabla 3-1. Definición de las funciones que sugiere la norma ISO.

Como ejemplo de lo anterior tenemos:

**P5** (Número de programa que puede ser desde P0 hasta P9999).

N10 G0 G90 X0 Y0 Z20 S1000 T2.2 M3

N20 G Z-1

N30 G1 Y30 F200 M8

N40 X40

N50 Y0

N60 X0 Y0

N70 G0 Z20 M9

N80 M3

Donde N10, N20, ..., N80 son bloques, G1 es una palabra, G es un carácter y 20 una dirección.

### 3.5 TORNEADO EN MÁQUINAS CNC.

Realizar el programa de mecanizado para torno CNC Fagor 8025T, para obtener la pieza representada en la (Figura 3-9). El mecanizado se llevará a cabo bajo las siguientes condiciones:

#### Desbaste:

- Velocidad de corte: 150 m/min.
- Avance: 100 mm/min.
- Plaquita Cuadrada, de 9 mm de lado, con un ángulo de posición de 90°.)

#### Acabado:

- Velocidad de corte 200 m/min.
- Avance: 0.1 mm/rev
- Plaquita rómbica de 7 mm de lado, 55° de ángulo en punta, radio de punta = 0.2 mm y montada con un ángulo de posición de 95°.

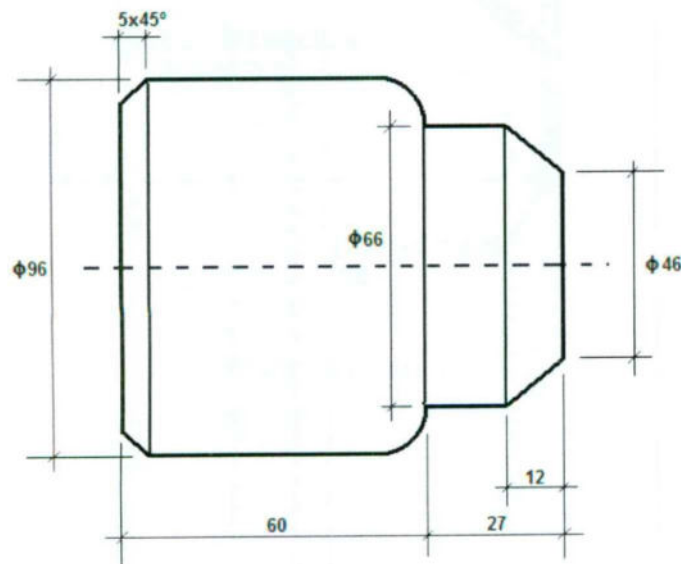


Figura 3-9. Pieza a mecanizar.

El programa de control numérico necesario para mecanizar la pieza dada, es el siguiente:

```
N0010 G53 (Origen pieza fase 1)
N0020 T2.2
N0030 G90 G71
N0040 G92 S2000
N0050 G96 S200 M3
N0060 G95 F0.1
N0070 G0 G41 X102 Z0
N0080 G1 X0 M08 (Fase 1, Operación 1)
N0090 G0 G42 X84 Z1
N0100 G1 X96 Z-5 (Fase 1, Operación 2)
N0110 G1 Z-45
N0120 G0 G40 X200 Z200 M9 M5
N0130 M00 (Fin fase 1)
N0140 G54 (Origen pieza fase 2)
N0150 T2.2
N0160 G92 S2000
N0170 G96 S200 M3
N0180 G95 F0.1
N0190 G0 G41 X102 Z0
N0200 G1 X0 M8 (Fase 2, Operación 1)
N0210 T1.1
N0220 G94 F100
N0230 G96 S150
N0240 G0 G42 X100 Z5 (Fase 2, Operación 2)
N0250 G68 P0=K46 P1=K0 P5=K3 P7=K0.5 P8=K0.5 P9=K0 P13=K500 P14=K520
N0260 G0 G40 X200 Z200 M09
N0270 T2.2
N0280 G92 S2000
N0290 G96 S200
N0300 G95 F0.1
N0310 G0 G42 X44 Z1 M08
N0320 G1 X66 Z-12 (Fase 3, Operación 3)
N0330 Z-27
N0340 G03 X96 Z-42 I0 K-15 M09 M05
N0350 G00 G40 X200 Z200
N0360 M30 (Fin del programa)
N0500 G1 X66 Z-12
N0510 G1 X66 Z-27
N0520 G03 X96 Z-42 I0 K-15
```

### 3.6 FRESADO EN MÁQUINAS CNC.

Realizar el programa de mecanizado para fresadora, para obtener la pieza representada en la (Figura 3-12). El mecanizado se llevará a cabo bajo las siguientes condiciones:

- El origen pieza en los ejes X e Y está en el centro.
- El origen pieza sobre el eje Z en la parte superior.
- La programación se realiza en cotas absolutas.
- La herramienta empleada suponemos que es un cortador vertical tipo endmill de 8mm de diámetro con las siguientes características:
  1. Revoluciones del cabezal, 1800 rpm.
  2. Sentido del giro a la derecha.
  3. Avance,  $F=160$  mm/min (desbaste).
  4.  $H=100$  mm/min (acabado).
  5.  $L=0.5$  valor de la pasada de acabado.
  6. Activar lubricación.

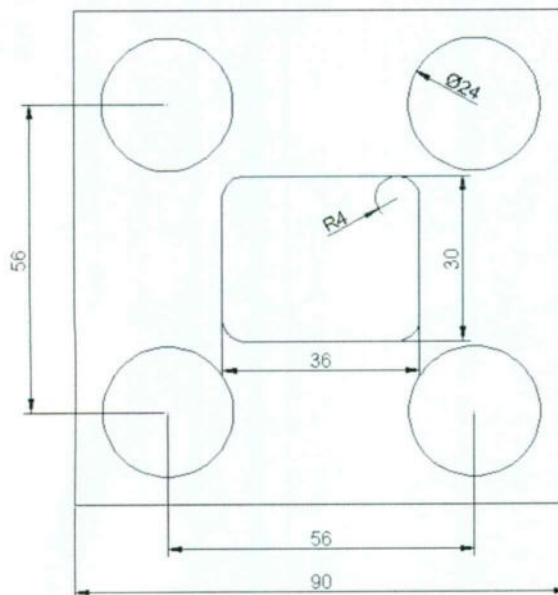


Figura 3-12. Pieza a mecanizar



El programa de control numérico necesario para mecanizar la pieza dada, es el siguiente:

```

N0010 G0      G90  G17  X-60 Y0      Z20  F150  S1800 T1.1 M3
N0020 G87     G99  G43  X0      Y0      Z2    I-9   J-18  K15  B3
        C6     D2   H100 L0.5  M8     N1
N0040 G80
N0050 G88     G99  X28  Y28   Z2     I-9   J-12  B3    C6    D2
        H100  L0.5
N0070 Y-28
N0080 X-28
N0090 Y28
N0100 G80
N0110 G0      G44  Z20  M9
N0120 X-100 Y0
N0130 M30

```

**Veamos más a detalle el significado de cada bloque:**

```

N0010 G0      G90  G17  X-60 Y0      Z20  F150  S1800 T1.1 M3
G90          =Programación en cotas absolutas.
N0 X,Y,Z    =Punto de salida de la herramienta.
F=160       =Avance de desbaste.
S1800       =Revoluciones por minuto.
T1.1        =Identificación de la herramienta.
M3          =Sentido de giro a la derecha.
N10         =Definición del ciclo.
G87         =Indica el tipo de ciclo, cajera rectangular.
G99         =La herramienta, cuando termina, se posiciona en plano de
acercamiento.

G46         =Trabajamos con compensación de longitud
X=0 Y=0     =Indica que nos posicionamos en el centro de la cajera.
Z=2         =La herramienta se acerca en movimiento rápido, respecto al cero
pieza en Z, una vez posicionada en X e Y.
I=-9        =Profundidad total de la cajera, respecto a Z=0.
J=-18       =Cota desde el centro de la cajera al extremo, en el eje X.
K15         =Cota desde el centro de la cajera al extremo, en el eje Y.
B=3         =Profundidad de pasada.
C=6         =Desplazamiento radial de la herramienta para trabajar en el plano X
e Y.
D=2         =Distancia desde Z=0 (aproximación).
H=100       =Avance en fase de acabado.
L=0.5       =Valor de pasada de acabado en el plano principal.
M8          =Activa lubricación.
M1          =Número de veces que se repite el ciclo en los puntos X=0 Y=0.
N20 G80     =Anulación del ciclo.
N30         =Definición del nuevo ciclo G88.
G88         =Define el ciclo de cajera circular.
G99         =Igual que en el anterior.
X=28 Y=28   =Posición del centro de la cajera circular.
Z=2         =Igual que el anterior.
I=-9        =Igual que el anterior.
J=-12       =Igual que el anterior.
B=3         =Igual que el anterior.
C=6         =Igual que el anterior.
H=100       =Igual que el anterior.

```

L=0.5           =Igual que el anterior.  
N40 Y-28       =Posición de la segunda cajera en Y.  
N50 X-28       =Posición de la tercera cajera en X.  
N60 Y28        =Posición de la cuarta cajera en Y.  
N70 G80        =Anulación del ciclo de cajera.  
N80 G0 G44 Z20 M9=Salida en rápido, descompensación de longitud y parada de  
                  cortador.  
N90             =Desplazamiento en rápido en los ejes X e Y en el punto de retirada.  
N100 M30       =Parada del programa.

# CAPÍTULO 4

## 4. PROYECTO FINAL.

En este capítulo se describe el proyecto realizado para poner en práctica lo aprendido en el curso de Manufactura Avanzada. Se hará el arreglo geométrico del escudo de la Facultad de Ingeniería en 3 dimensiones, posteriormente se generará el código para la manufactura del escudo en aluminio y se presentará la pieza terminada.

### 4.1 DIBUJO EN DOS DIMENSIONES.

En primer lugar se toma como base para el proyecto el dibujo del escudo en 2 dimensiones que se obtiene de la página en internet de la Facultad de Ingeniería en la siguiente dirección: <http://www.uaq.mx/ingenieria/escudo.html>. En seguida se muestra el escudo en la (Figura 4-1).

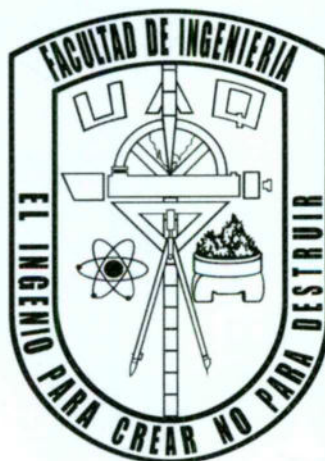


Figura 4-1. Dibujo del Escudo de la Facultad de Ingeniería.

A partir de esta imagen se hará el modelo geométrico en Unigraphics NX5 sólo tomando en cuenta la proporción del dibujo base.

## 4.2 DIBUJO EN TRES DIMENSIONES.

En este apartado se muestran algunos puntos clave para crear el dibujo en tercera dimensión. Y se acotan algunas distancias igualmente importantes en el desarrollo de este trabajo.

Iniciaremos determinando las unidades en que se acotará la pieza. En esta ocasión, el dibujo se hará en Sistema Inglés, es decir, en pulgadas.

Se establece el ancho y alto de la pieza a dibujar. Para este caso y tratando de mantener la proporción del dibujo base, se establece el ancho de la pieza en 24 pulgadas y el alto en 38 pulgadas. Así, se traza el perfil con las siguientes medidas (Figura 4-2)

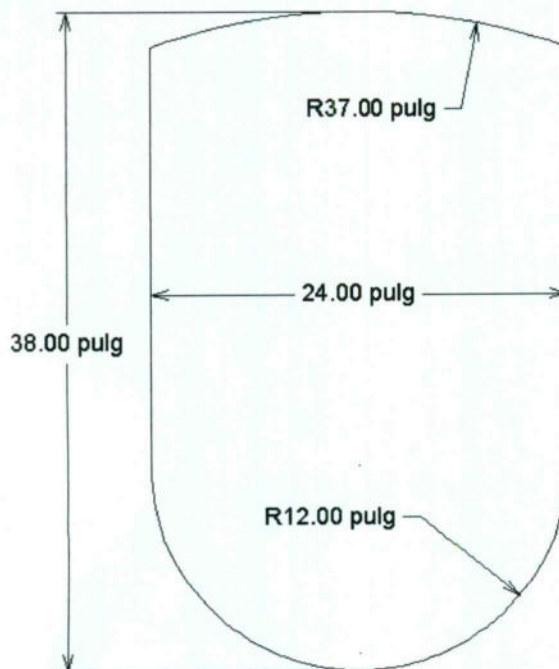


Figura 4-2. Dimensiones del Escudo

A continuación se detallan las dimensiones de la zona con la leyenda "El ingenio para crear no para destruir" (Figura 4-3).

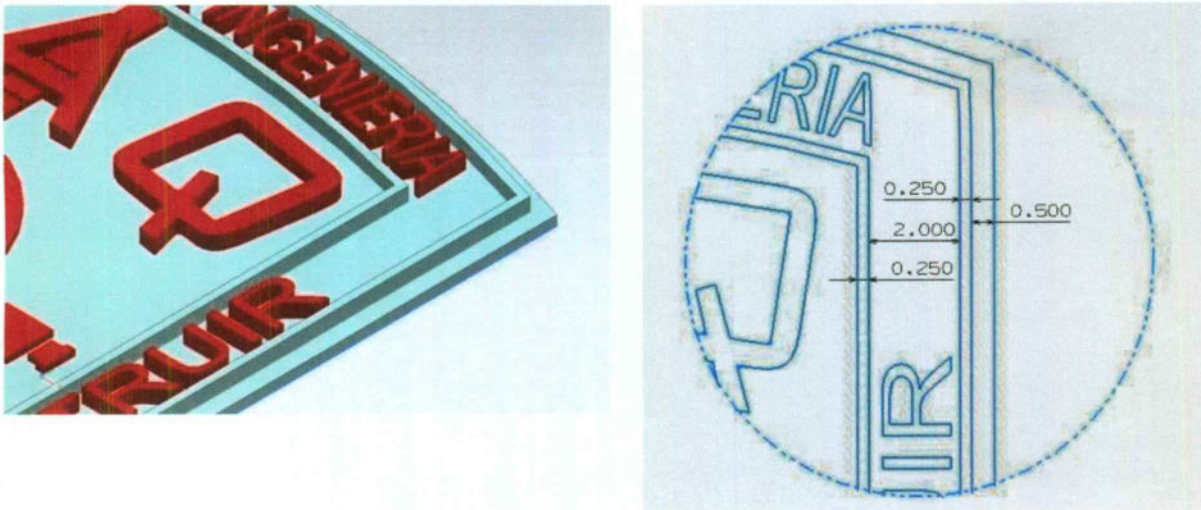


Figura 4-3. Dimensiones del área de la leyenda "El ingenio para crear no para destruir"

La (Figura 4-4) muestra los parámetros que se utilizaron para la leyenda "EL INGENIO PARA CREAR NO PARA DESTRUIR" y la (Figura 4-5) los parámetros de la leyenda "FACULTAD DE INGENIERÍA"

Del mismo modo se procede para colocar las iniciales "UAQ" y los parámetros se muestran en la (Figura 4-6).

En la (Figura 4-7) y (Figura 4-8) se acotan las principales dimensiones de las partes que comprenden el dibujo.

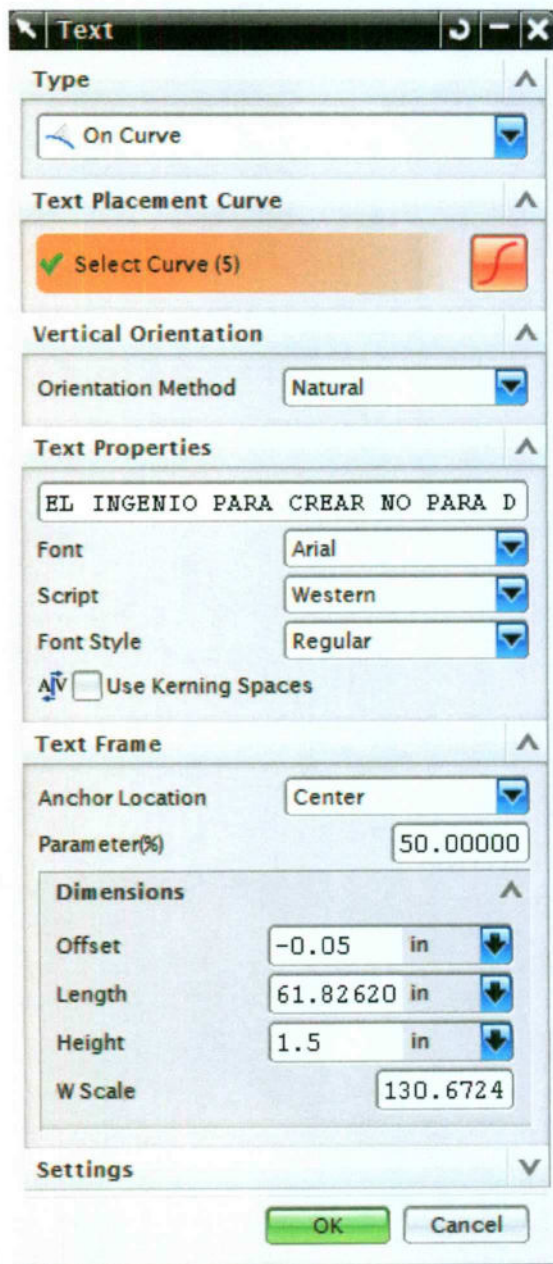


Figura 4-4. Parámetros de la leyenda "EL INGENIO PARA CREAR NO PARA DESTRUIR"

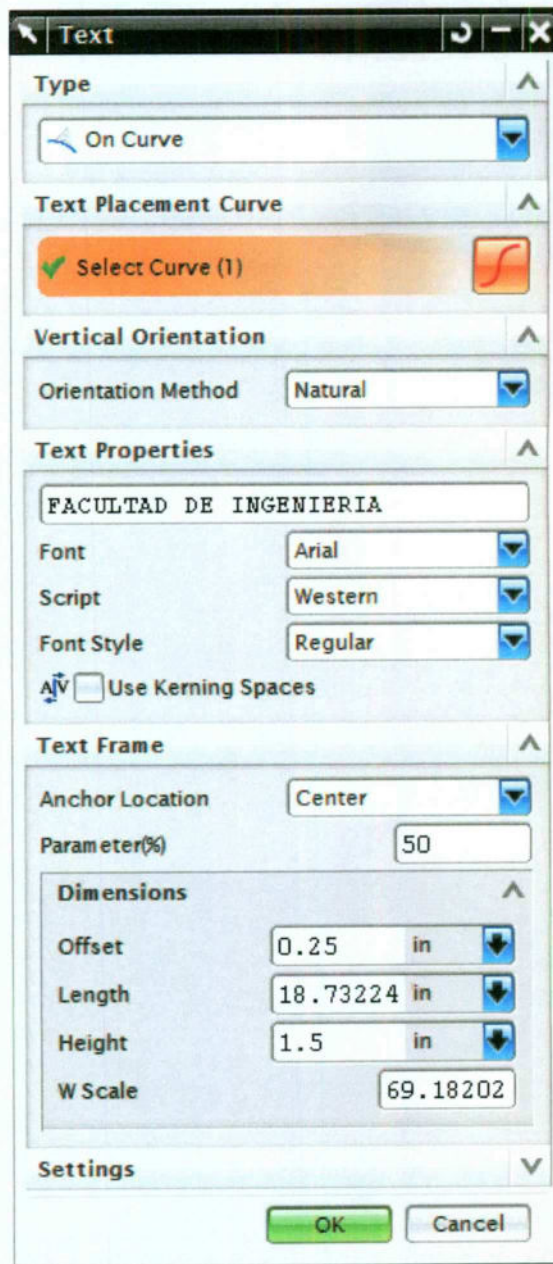


Figura 4-5. Parámetros de la leyenda "FACULTAD DE INGENIERIA"

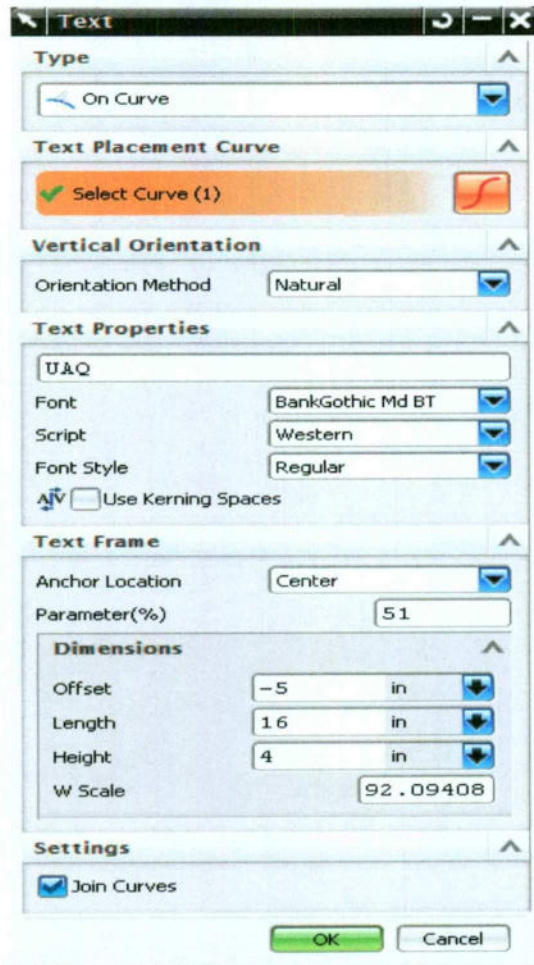


Figura 4-6. Parámetros de las iniciales "UAQ".

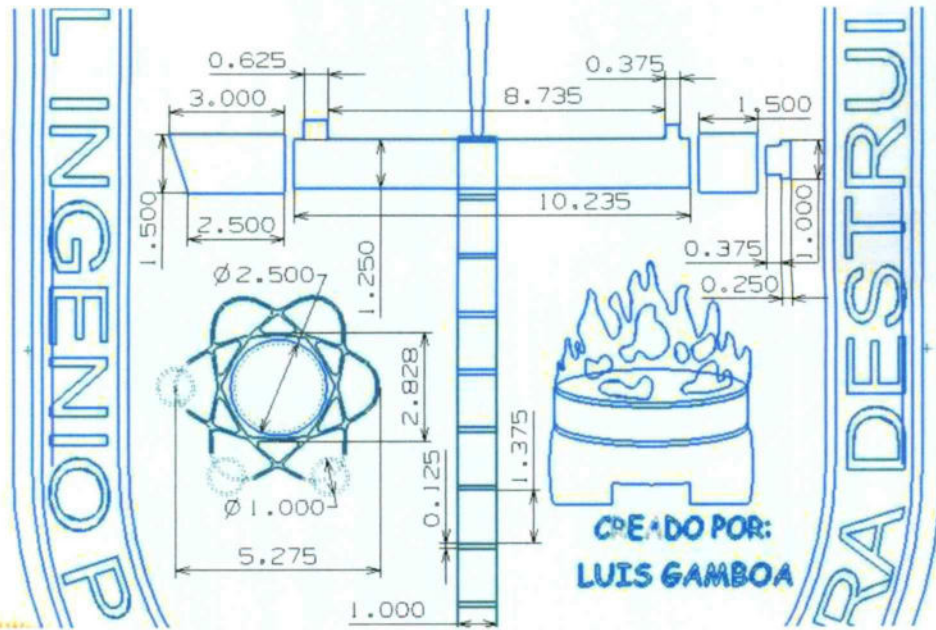


Figura 4-7. Principales cotas\_1

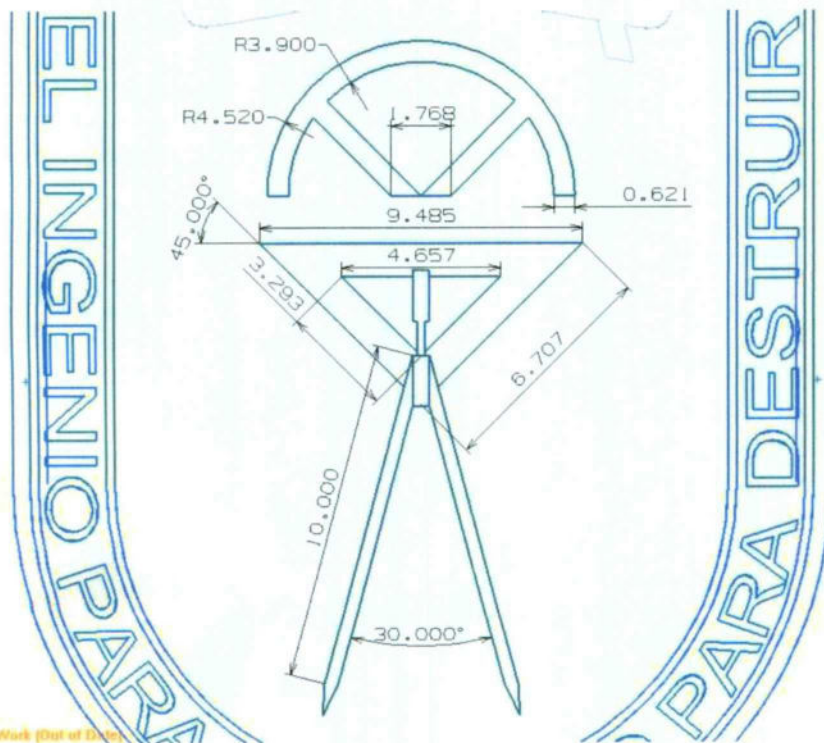


Figura 4-8. Principales cotas\_2



## 4.3 GENERACIÓN DEL CÓDIGO G.

En este apartado se tratará la manera de generar el Código G con el programa VISI 17.0. Para esto se necesita exportar el archivo de NX6 en el formato "parasolid" y enseguida importarlo en VISI (Figura 4-9).

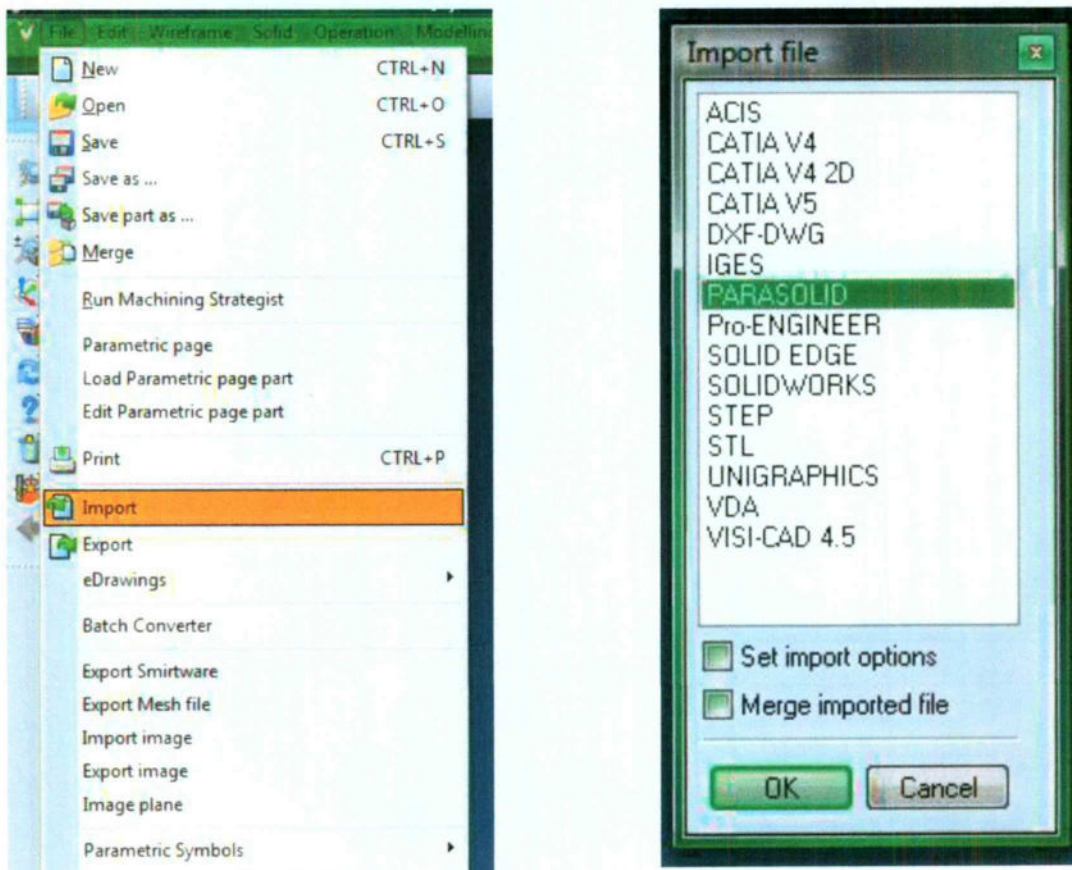


Figura 4-9. Importación de parasólido.

Una vez que se tiene el archivo importado debe guardarse en formato de VISI que tiene la extensión .wkf, el dibujo se muestra en la (Figura 4-10). Entonces se procede a la generación del código G.

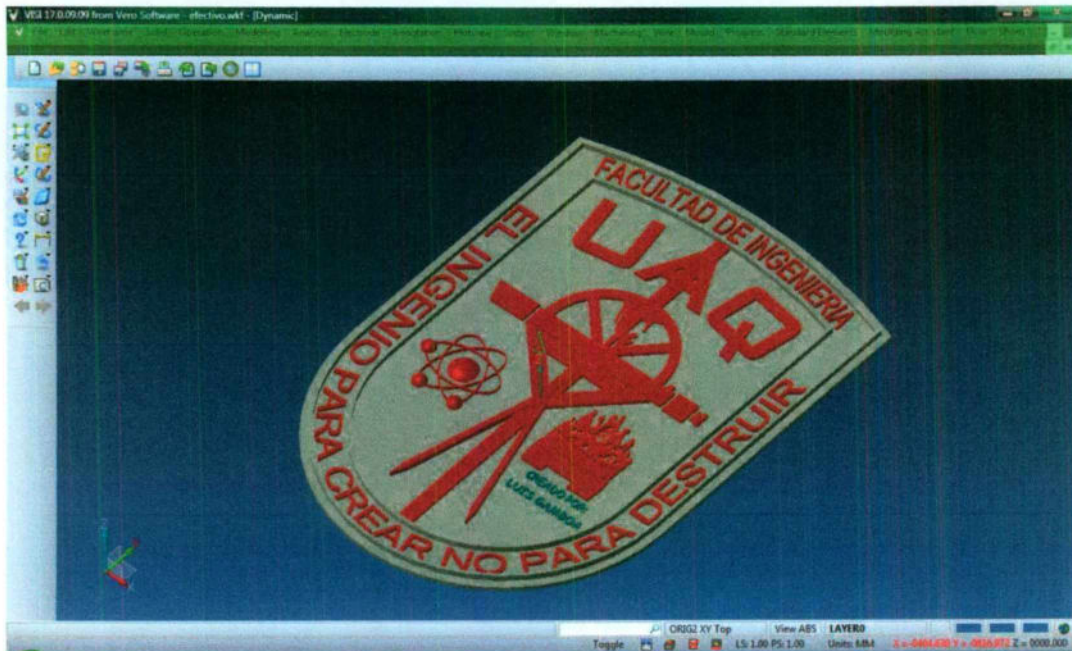


Figura 4-10. Dibujo en formato de VISI.

Dar click en el menú **Machining – CAM Navigator** y agregar un nuevo proyecto dando click con el botón secundario sobre navegador CAM. Una vez que se tiene un proyecto nuevo dar click con el botón secundario sobre el proyecto para seleccionar **add operation** del menú desplegable (Figura 4-11).

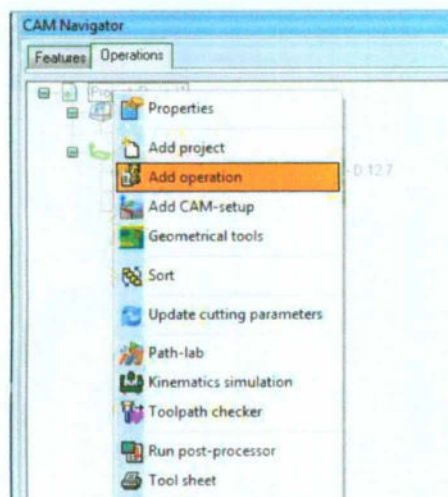


Figura 4-11. Agregar operación.

Se despliega un cuadro de diálogo que da los tipos de maquinados, en el cual se debe seleccionar como primer paso el llamado **Roughing** que es un tipo de maquinado de desbaste (Figura 4-12), al dar click en **OK** se despliega otra ventana donde se debe seleccionar la herramienta, para este maquinado crearemos una , un cortador tipo Endmill de carburo de tungsteno de 12.7 mm de diámetro dando click en el botón **add tool manually** (Figura 4-13). En la (Figura 4-14) se muestran los parámetros para la creación de la nueva herramienta:

**Sub type = Endmill.**

**Tool material = Carbide.**

**Tool diameter = 12.7.**

Una vez que se ha creado la herramienta, se selecciona en la ventana de la (Figura 4-13) y se da click en **OK**.

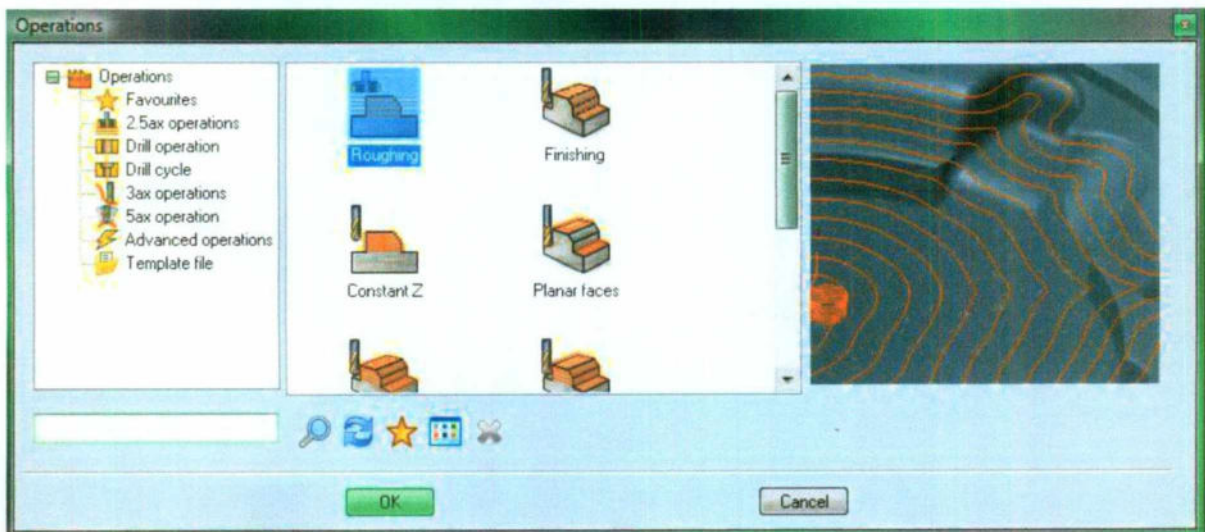


Figura 4-12. Operación Roughing

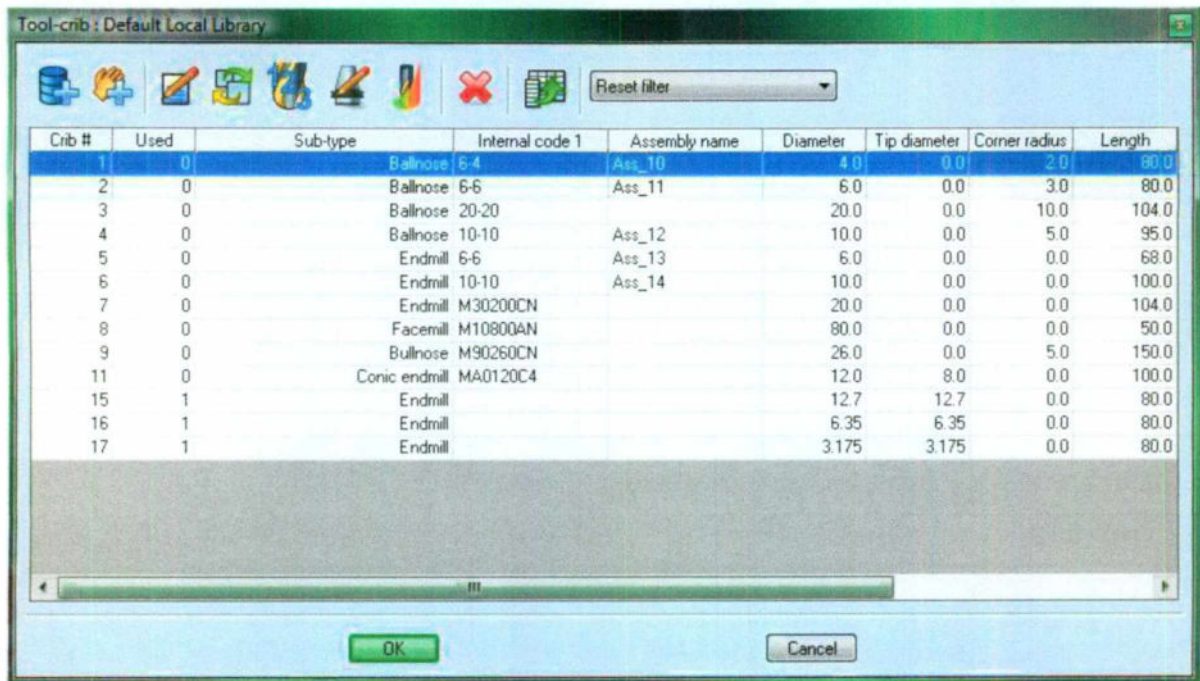


Figura 4-13. Ventana de selección de herramienta.

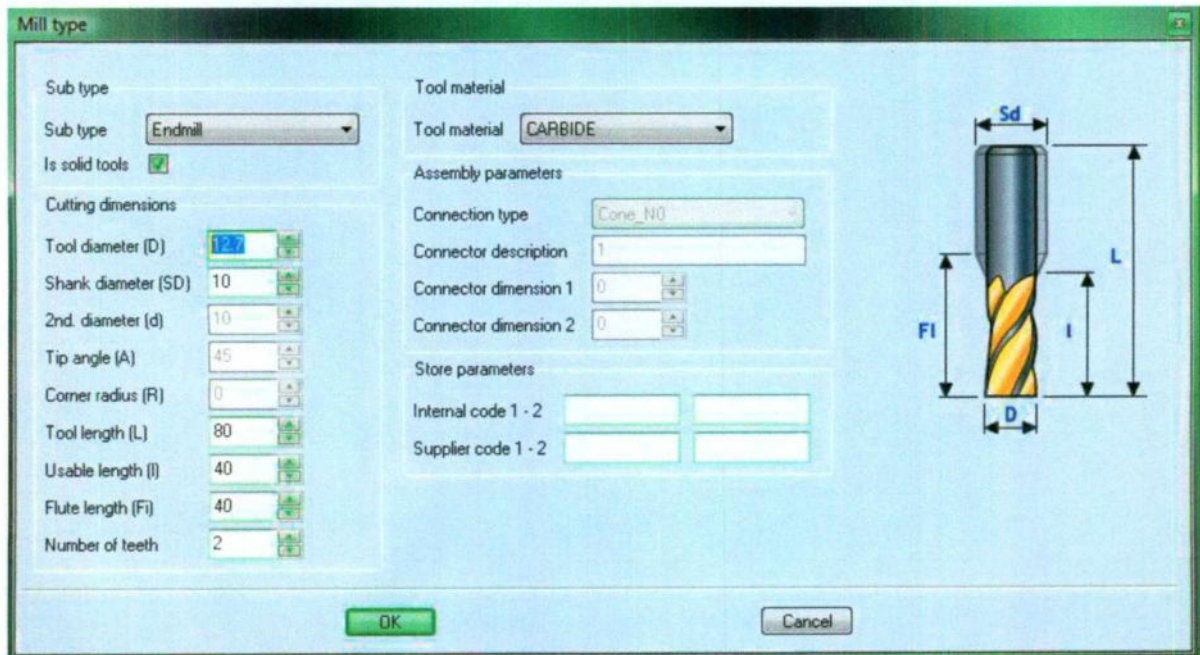


Figura 4-14. Parámetros de creación de herramienta.

Ahora para que VISI calcule la trayectoria de la operación creada dar click con el botón secundario sobre la operación en el navegador CAM y seleccionar **build operation** del menú desplegable (Figura 4-15).

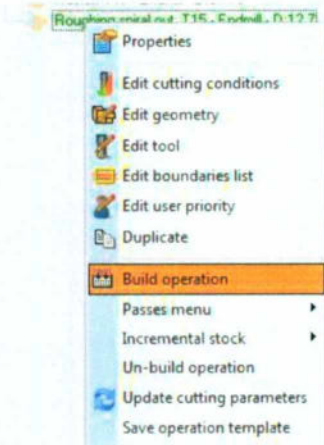


Figura 4-15. Botón para calcular la trayectoria.

Ahora se procede a agregar otro par de operaciones, esta vez de acabado pero con un cortador de menor diámetro que pueda acceder a las zonas por donde el cortador de 12.7 mm no pasó, un cortador de 6.35 mm y otro de 3.175 mm. Para esto repetiremos los pasos antes mencionados seleccionando un tipo de maquinado que se llama **finishing** (Figura 4-16).



Figura 4-16. Operación para acabado.

Ya teniendo las tres operaciones, una de desbaste con un cortador de 12.7 mm y dos de acabado con cortadores de 6.35 mm y 3.175mm y habiendo calculado las trayectorias de cada una, se procede a ejecutar el post procesador que es el encargado de generar el código G.

Dar click en el botón secundario sobre **CAM-setup** para desplegar el menú y seleccionar la opción **Run post-processor** (Figura 4-17). VISI pedirá un nombre y una dirección para guardar el archivo **.NC** que es el que contiene todas las instrucciones del código G. terminado el trabajo del post-processor dar click secundario sobre CAM-setup y seleccionar la opción Kinematics simulation (Figura 4-18).

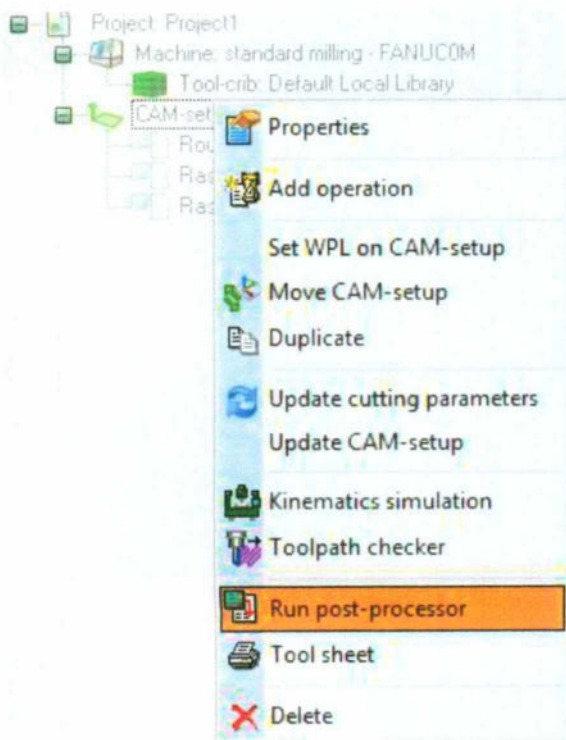


Figura 4-17. Ejecutar el post-procesador

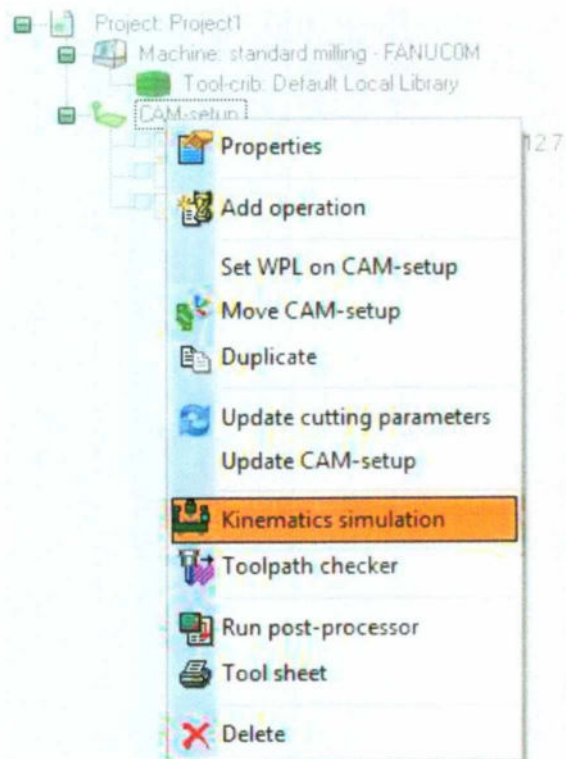


Figura 4-18. Ejecutar la simulación.

Solo resta correr la simulación del maquinado (Figura 4-19).

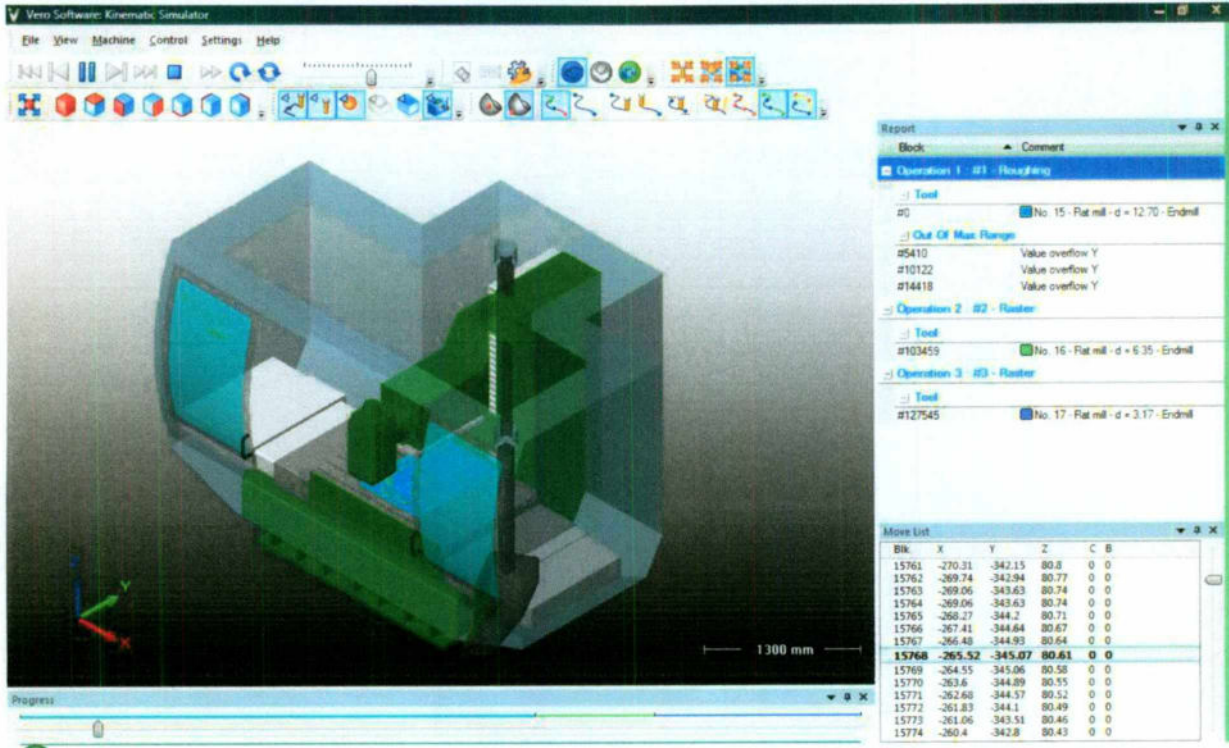


Figura 4-19. Simulación del maquinado corriendo.

En último lugar se tiene la pieza terminada (Figura 4-20), este es el resultado de la aplicación de todos elementos anteriormente descritos.

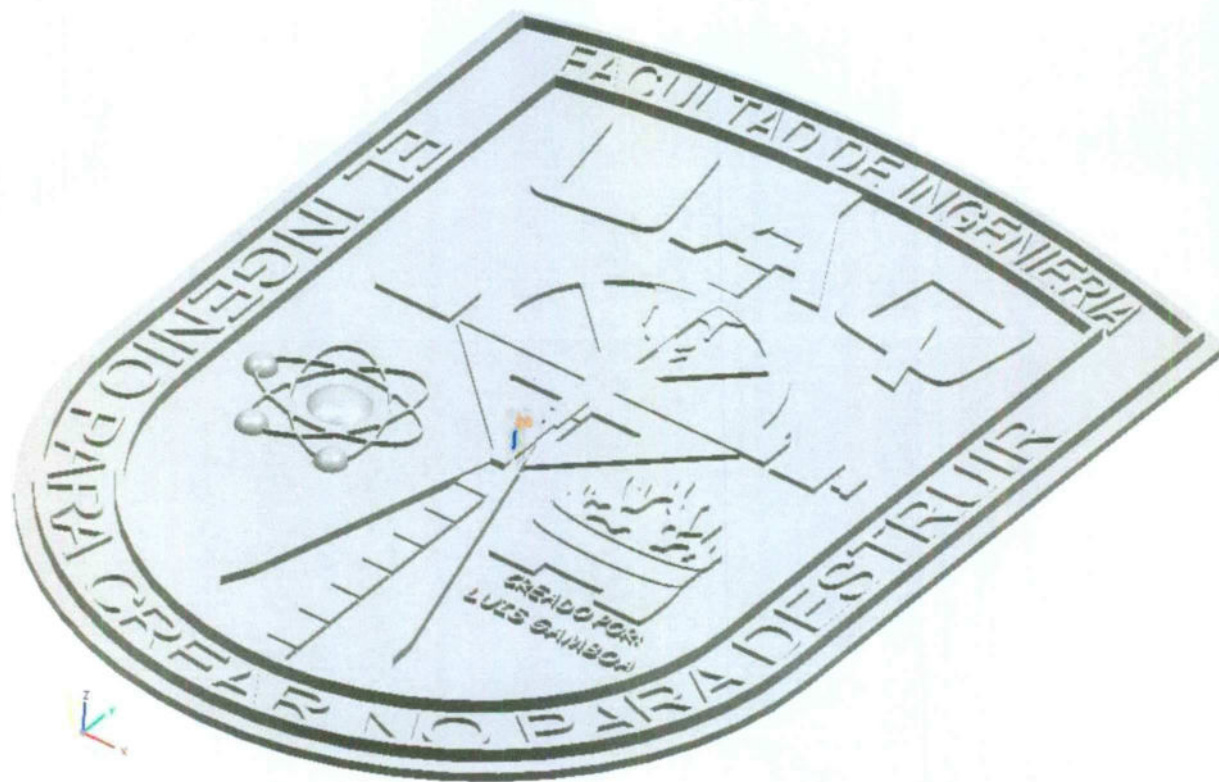


Figura 4-20. Pieza terminada.



# LITERATURA.

Bin Wu, 1994. Manufacturing systems design and analysis: context and techniques. Springer.

Jack Belzer, Allen Kent, James G. Williams, Albert George Holzman, 1987. Encyclopedia of computer science and technology. CRC Press.

Mikkel P. Groover, 1997. Fundamentos de manufactura moderna: materiales, procesos y sistemas. Pearson Educación.

Mohamed Zairi, 1999. Best practice: process innovation management. Butterworth-Heinemann.

P. N. Rao, 2004. CAD/CAM: principles and applications. *Mechanical engineering series*. Tata McGraw-Hill.

Peter Smid, 2003. CNC programming handbook: a comprehensive guide to practical CNC programming. Industrial Press Inc.

Rafael Álvarez Cuervo, Jorge Rocés García, 2005. Introducción al diseño paramétrico: con Autodesk Mechanical Desktop. Universidad de Oviedo.

Shanmuga Sundar, Sunder T. Selwyn, C. Elanchezhian, 2005. Computer Aided Manufacturing. Firewall Media.

Steven R. Schmid, 2002. Manufactura, ingeniería y tecnología. Pearson Educación.

Warren S. Seames, 2001. Computer Numerical Control: Concepts and Programming. Cengage Learning.