



UNIVERSIDAD NACIONAL AUTÓNOMA DE MÉXICO

---

---

FACULTAD DE ESTUDIOS SUPERIORES  
ARAGÓN

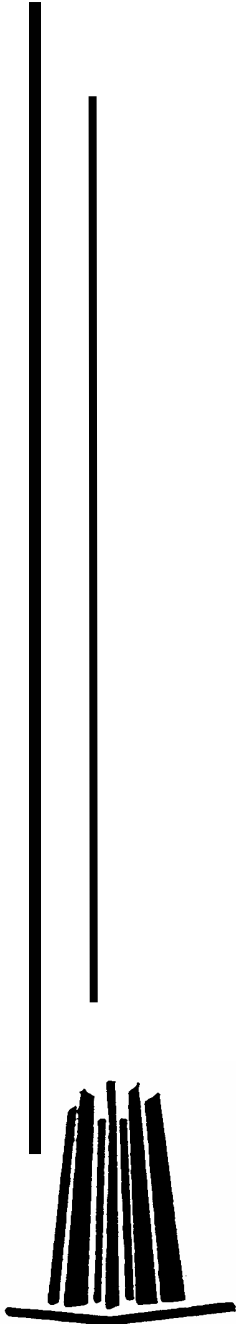
“SIMULACION VIRTUAL DEL PROCESO DE TORNEADO DE  
SUPERFICIES DE REVOLUCIÓN CON SISTEMAS ASISTIDOS POR  
COMPUTADORA”

TESIS PARA OBTENER EL TITULO DE  
INGENIERO MECÁNICO ELÉCTRICISTA  
AREA: INGENIERÍA MECÁNICA  
QUE PRESENTA:

MORALES HERNÁNDEZ RODRIGO

ASESOR: ING. ANGEL ALFONSO SANCHEZ RAZO

SAN JUAN DE ARAGÓN,  
NEZAHUALCOYOTL, EDO. DE MÉXICO  
ABRIL DEL 2008





Universidad Nacional  
Autónoma de México

Dirección General de Bibliotecas de la UNAM

**Biblioteca Central**



**UNAM – Dirección General de Bibliotecas**  
**Tesis Digitales**  
**Restricciones de uso**

**DERECHOS RESERVADOS ©**  
**PROHIBIDA SU REPRODUCCIÓN TOTAL O PARCIAL**

Todo el material contenido en esta tesis esta protegido por la Ley Federal del Derecho de Autor (LFDA) de los Estados Unidos Mexicanos (México).

El uso de imágenes, fragmentos de videos, y demás material que sea objeto de protección de los derechos de autor, será exclusivamente para fines educativos e informativos y deberá citar la fuente donde la obtuvo mencionando el autor o autores. Cualquier uso distinto como el lucro, reproducción, edición o modificación, será perseguido y sancionado por el respectivo titular de los Derechos de Autor.

# Dedicatorias.

**A dios:** Por estar siempre conmigo, por darme la voluntad y salud para llegar a donde estoy.

**A mis padres:** A quien debo lo que soy, por el amor que siempre me han dado, por su tiempo y por el apoyo que me han brindado para culminar este logro e iniciar mi carrera profesional.

**A Cintia:** Por acompañarme en todo momento, por que se que siempre podré contar contigo y por todo el apoyo que me has dado. Te amo.

**A mis amigos:** Con los cuales compartí los años de escuela, por apoyarnos y por que hasta ahora seguimos siendo amigos.

**A mi alma máter:** La Universidad Nacional Autónoma de México, por permitirme ser parte de una generación de triunfadores y uno más de sus hijos.

*Rodrigo Morales Hernández.*

# Índice

<b>Planteamiento del problema.....</b>	<b>iv</b>
<b>Objetivos.....</b>	<b>v</b>
<b>Alcances y limitaciones.....</b>	<b>vii</b>
<b>Introducción.....</b>	<b>viii</b>
<b>1 Capítulo 1. Más que dibujos y sólidos.....</b>	<b>1</b>
1.1 ¿Qué es CAD?.....	2
1.2 Diseño paramétrico y variacional.....	4
1.3 Modelado 2D Y 3D.....	6
1.4 Tipologías del modelado 3D.....	9
1.5 La migración al 3D.....	10
1.6 Ensamblaje de piezas.....	13
1.7 Generación de planos.....	15
1.8 Ventajas de los sistemas CAD.....	17
1.9 Desventajas de los sistemas CAD.....	18
<b>2 Capítulo 2. La moderna regla de cálculo.....</b>	<b>19</b>
2.1 ¿Qué es CAE?.....	20
2.2 Principales estudios CAE.....	21
2.3 Análisis de elementos finitos.....	24
2.4 Pasos básicos en el programa FEA.....	26
2.5 Ventajas y desventajas en sistemas CAE.....	29
<b>3 Capítulo 3. Una nueva forma de maquinar.....</b>	<b>31</b>
3.1 ¿Que es CAM?.....	32
3.2 Los sistemas CAM.....	32
3.2.1 Transferencia de archivos CAD, CAM.....	34
3.3 Control numérico computarizado (CNC).....	37
3.3.1 Ventajas y desventajas en la utilización del CNC.....	40
3.3.2 Conocimientos y habilidades para operar los sistemas CNC.....	41
3.4 Ejes normalizados.....	42
3.5 Programación CNC.....	44
3.5.1 Sistemas de coordenadas.....	48
3.5.2 Sistema incremental y absoluto.....	52
3.5.3 Puntos de origen.....	53
3.5.4 Estructura de los bloques de programación.....	55
3.6 Robótica.....	57
3.6.1 Requerimientos de los robots industriales.....	59

3.6.2	Aplicaciones industriales para los robots.....	61
3.6.3	Beneficios de los robots industriales controlados por computadora.....	63
<b>4</b>	<b>Capítulo 4. Proceso de manufactura de superficies de revolución.....</b>	<b>64</b>
4.1	Superficies de revolución.....	65
4.2	Obtención de superficies de revolución.....	65
4.3	Torneado.....	68
4.4	Operaciones de maquinado en el torno.....	69
4.4.1	Careado o refrentado.....	70
4.4.2	Torneado paralelo o cilindrado.....	71
4.4.3	Torneado de formas.....	72
4.4.4	Torneado de conos.....	73
4.4.5	Torneado de roscas.....	74
4.4.6	Torneado interior o mandrinado.....	75
4.5	Parámetros tecnológicos del mecanizado.....	75
4.5.1	Velocidad de avance.....	77
4.5.2	Profundidad de corte.....	78
4.5.3	Velocidad de corte y velocidad de husillo.....	79
<b>5</b>	<b>Capítulo 5. Integración CAD, CAM, CAE, soluciones de alto nivel.....</b>	<b>81</b>
5.1	Integración CAD.....	82
5.2	Integración CAE.....	86
5.3	Integración CAM.....	95
	<b>Conclusiones.....</b>	<b>102</b>
	<b>Apéndice.....</b>	<b>104</b>
	<b>Fuentes consultadas.....</b>	<b>109</b>

## **Planteamiento del problema.**

La manufactura es una de las áreas que mas transformaciones esta sufriendo actualmente, en este mundo globalizado. Los sistemas de diseño y manufactura asistidos por computadora, están cambiando los procesos tradicionales en la elaboración de productos. El uso de estas tecnologías se esta popularizando; cada vez es mas común encontrarlas en las industrias de manufactura, y no solo en estas, en complemento con la tecnología de las maquinas controladas numéricamente, en un futuro se utilizaran en talleres de joyería, hospitales, laboratorios dentales; por mencionar algunos. Estas tecnologías se han vuelto más fáciles de usar, pronto las encontraremos en lugares atípicos a los tradicionales talleres de máquinas.

No cabe duda que disponer de un personal cualificado y con habilidades en el uso de estas tecnologías, es por tanto fundamental para la industria manufacturera que dispone de estos recursos.

En este sentido el futuro profesional de la manufactura esta llamado a convertirse en una figura clave, para hacer frente a las nuevas tendencias en tecnología de diseño y manufactura. Por tanto, ante el inevitable crecimiento de estas tecnologías, es necesario tener recursos humanos facultados en estas herramientas para poder afrontar las modificaciones en los procesos de diseño y manufactura, y responder a los cambios tecnológicos, en un entorno cada vez más competitivo.

Manifiestar la carencia de recursos en las instituciones de educación superior, para brindar una adecuada capacitación en las tecnologías acordes a la evolución que sufren los procesos productivos.

# Objetivos.

En el tiempo en que vivimos no es sencillo estar actualizado, los conocimientos, procesos, técnicas, etcétera; que el día de hoy se consideran actuales tal vez el día de mañana ya no lo sean así. Esta puede ser una expresión un tanto exagerada, pero es una realidad ya que cada día se descubren nuevos conocimientos, se mejoran procesos y surgen nuevas técnicas, que sin duda desplazarán lo que hoy conocemos.

Los sistemas de diseño, manufactura e ingeniería asistidos por computadora son una muestra de esto. Hace algunos años nadie se hubiera imaginado que estos rudimentarios y sencillos sistemas se convertirían en poderosas herramientas que están cambiando la forma de trabajar en la industria y en los centros de enseñanza.

Pero con todas las ventajas que tienen estos sistemas, es el diseñador el que debe de tomar en cada ocasión las que más convengan a su trabajo y deberá saber como integrarlas.

En efecto lograr la integración de estas técnicas para aprovecharlas mejor es una tarea compleja y difícil.

Como la gran mayoría de nuestros actos y de los objetos que hay en nuestro entorno, todos ellos tienen una finalidad, una meta a perseguir, naturalmente el presente trabajo de tesis no es la excepción.

## Objetivo general:

Recabar la información referente a las técnicas de diseño, ingeniería y manufactura asistidas por computadora, para simular virtualmente el proceso de torneado de superficies de revolución.

## Objetivos específicos:

- Conocer las técnicas de diseño, ingeniería y manufactura asistidas por computadora, así como la forma en que estas pueden ayudar al diseño.
- Identificar las ventajas y desventajas de los sistemas de diseño, ingeniería y manufactura asistidos por computadora.
- Ilustrar con el desarrollo de un producto la integración de las técnicas, para la solución de un problema, favoreciendo la comprensión de las técnicas.



## **Alcances y limitaciones.**

En el presente trabajo de tesis, se ha procurado llevar la redacción del texto de la manera más amena posible, buscando la comprensión clara y sencilla de la información, sin dejar a un lado, el proceder técnico de la misma.

También es conveniente aclarar que los temas y subtemas tratados en los capítulos, se han manejado de forma general, con ello solo utilizando la información apropiada para cumplir los objetivos del trabajo de tesis.

Y como se ha mencionado con anterioridad, el trabajo de tesis se ha dirigido principalmente a los futuros profesionales de la manufactura y estudiantes de los últimos semestres de carreras afines a la manufactura, no por ello excluyendo a toda aquella persona que busque aprender mas sobre estas técnicas; pero, debido principalmente a que para una mejor comprensión, seria deseable que el lector poseyera conocimientos en algún sistema CAD y CAM.

Así por lo antepuesto, este trabajo de tesis no es un manual que instruya como utilizar un sistema de diseño o manufactura asistido por computadora, pero si estudia la forma en que se integran las técnicas de diseño, manufactura e ingeniería asistidas por computadora para alcanzar los objetivos planteados.

# Introducción.

Todos hemos experimentado los cambios que trae el tiempo, sin duda alguna hemos visto como han llegado nuevas tecnologías que han cambiado nuestra vida, (los teléfonos celulares, el Internet, etc.) y que han traído progresivamente grandes cambios, que sin duda han revolucionado en algunas situaciones la forma de hacer las cosas. Antes el realizar una simple tarea de investigación requería tener que consultar uno o varios libros, y dedicar tiempo a buscar la información requerida; el día de hoy, tan solo con ingresar en algún buscador de Internet se puede encontrar la información fácil y rápidamente.

El realizar una operación bancaria requería invertir tiempo visitando el banco y seguramente haciendo largas filas, hoy todas esas tediosas operaciones se pueden hacer cómodamente desde casa, tal vez el modo en realizarlas no ha cambiado mucho pero si el tiempo y esfuerzo requerido.

Así como aspectos tan comunes de nuestra vida han cambiado, en áreas de la manufactura ha ocurrido lo mismo.

La innovación de las técnicas de diseño y manufactura, es un hecho hoy en día. Todas las grandes empresas tienen, en parte o en su totalidad, procesos computarizados, sistemas de red, equipos novedosos, etc.

Sin duda algunas hay áreas donde los cambios son más complejos, como lo son el diseño y la manufactura.

Nuevas tecnologías se están introduciendo en las industrias manufactureras y los procesos convencionales tanto de diseño y manufactura, progresivamente son desplazados por nuevas técnicas basadas en la informática. Tal es el caso del diseño asistido por computadora (CAD, del inglés Computer Aided Design) y la manufactura asistida por computadora (CAM, del inglés Computer Aided Manufacturing); herramientas que en la actualidad están aportando grandes beneficios a los procesos industriales.

Pero, ¿a que se refieren CAD Y CAM? En palabras simples, CAD es el conjunto de aplicaciones informáticas que permiten definir el producto a fabricar; y CAM engloba las aplicaciones encargadas de traducir las especificaciones de diseño, a especificaciones de

producción, manipulando para ello las tecnologías de fabricación, el control numérico, la robótica, etc.

Así es como, CAD nos permite definir el producto y CAM nos da la posibilidad de materializarlo.

Estos sistemas han sufrido una evolución, la cual en los últimos años ha sido acelerada, cada año surgen nuevos sistemas y los actuales se mejoran, se han vuelto más amigables, complejos y ambiciosos. Esto es muy claro, cada vez tienen aspectos más reales, como bibliotecas con herramientas comerciales (brocas, rimas, etc.) y componentes estándar (tornillos, arandelas, tuercas, etc.).

En comparación con su progreso, el dominio y conocimiento de estas tecnologías, en nuestro país, no han tenido un gran auge. Es notorio que no hay recursos humanos capacitados en estos instrumentos y los pocos que hay no poseen los conocimientos profundos, para explotar al máximo estas herramientas.

Por lo anterior esta investigación busca responder a la necesidad de formar a los futuros profesionales del diseño y la manufactura, desarrollando una investigación dirigida principalmente a estudiantes que se encuentran en formación, y aquellos futuros profesionistas, que teniendo conocimientos en alguno de los diversos sistemas de diseño y manufactura asistidos por computadora, puedan ser orientados en el uso vinculado de las mismas, sintetizando los aspectos fundamentales a conocer, para simular el torneado de superficies de revolución.

“De la creación a la acción”, esta frase describe lo que es tomar las técnicas CAD, CAE y CAM e integrarlas.

A pesar de que los términos CAD, CAE Y CAM, por lo general los encontramos unidos, en realidad son tres soluciones distintas, con un común denominador, el ser asistidas por computadora.

Se puede recordar hace algunos años el trabajo realizado en restiradores, y en la cual la creación de dibujos demandaba una cantidad sustancial de tiempo y gastos, especialmente cuando la tarea conllevaba piezas complicadas o ensamblajes complejos. Después llegaron los primeros sistemas CAD, que tomaban los elementos básicos del dibujo técnico para hacer más fácil la generación de formas, pero comparado con los actuales sistemas CAD su evolución es sorprendente.

*Más que dibujos y sólidos*, es el primer capítulo que nos da un paseo en el diseño asistido por computadora, mostrándonos un panorama con ventajas, desventajas, principales características y abordando la migración al 3D.

Así como el CAD a cambiado el diseño, la ingeniería asistida por computadora (CAE, del inglés Computer Aided Engineering), esta cambiando la forma en probar la funcionalidad de los diseños, quien no recuerda esas imágenes donde prototipos de nuevos automóviles eran sometidos a duras pruebas para verificar su comportamiento. Con esta técnica se puede aliviar la dependencia de los prototipos físicos que suelen ser costosos.

*La moderna regla de cálculo* es el título del segundo capítulo en el cual se aborda como esta técnica permite hacer pruebas y análisis del comportamiento de un diseño, bajo ciertas condiciones físicas. Es decir se puede elegir el material que se planea utilizar en la pieza y obtener el desempeño no solo del material sino de la pieza.

Saber como se puede comportar una pieza antes de que sea real, hace de esta técnica para los diseñadores algo invaluable.

Pero cuando un sueño se ha hecho realidad y que funcionalmente es viable, ¿cómo hacerlo real?

En un mundo donde los productos se vuelven más complejos, con tendencias como la ergonomía y a tener superficies complejas, el maquinado convencional poco puede hacer ante formas caprichosas. *Una nueva forma de maquinar*, es el capítulo mas amplio que muestra las aplicaciones de simulación y control de la manufactura asistida por computadora. En especial aborda la información referente al control numérico computarizado

Tal parece que la manufactura asistida por computadora se aleja de la manufactura convencional con tantas novedosas aplicaciones, pero esto no es posible siempre estarán ligadas, y es que bien se dice que para ser un buen programador de control numérico se tuvo que ser un buen operador en maquinas herramienta, esto no es una regla, pero algo tiene de cierto y es que si no se tienen los conocimientos básicos, aunque estén ahí las herramientas poco se podrá hacer. En el cuarto capítulo *Proceso de manufactura de superficies de revolución*, se refiere a los aspectos necesarios del maquinado convencional de superficies de revolución que se requieren para la mecanización virtual por medio de un sistema CAM.

Por ultimo, el orden en que se exponen los capítulos corresponde normalmente a la forma en que se asocian estas técnicas, bajo la denominación, *Integración CAD, CAE, CAM, soluciones de alto nivel*, se propone la simulación virtual de una empuñadura, desarrollándose por completo por medio de la información contenida en los capítulos; de este modo se completa la parte práctica con un desarrollo de una simulación virtual.

# 1 Capítulo 1. Más que dibujos y sólidos.

Pocos hechos han representado una bendición para los ingenieros como lo ha sido el arribo de las computadoras, con ellas se simplificaron los largos y tediosos cálculos que con frecuencia eran necesarios en un proyecto. Con el paso del tiempo, estas se extendieron a varias áreas de la ingeniería, y así llegaron al diseño, y surgieron los primeros sistemas los cuales eran de baja potencia y gran costo, pero esto solo era el comienzo, estos evolucionaron de la mano de la propia evolución de la computación. Ahora no solo crean imágenes de un objeto, sino que dan respuesta a problemas concretos de ingeniería, validan diseños, simulan el comportamiento de componentes. Son los que mejoran los automóviles de carreras en la formula 1, los que generan esas curvas caprichosas en celulares, automóviles y muebles de oficina, pero sobre todo son los que pueden dar forma a los sueños.

## 1.1 ¿Qué es CAD?

El acrónimo CAD, surgió en un conjunto de conferencias hechas por Ivan Sutherland, en el MIT (del inglés, Massachusetts Institute of Technology) durante los años 60. Ivan Sutherland es considerado por muchos el creador de los gráficos por computadora y de introducir conceptos tales como el modelado tridimensional y el diseño asistido por computadora, así como de crear el primer sistema de diseño asistido por computadora, con interfaz-usuario, Sketchpad.

El concepto Diseño Asistido por Computadora representa el conjunto de aplicaciones informáticas, que permiten definir el producto a fabricar.

En muchos casos existe cierta confusión cuando se asocia indiscriminadamente el concepto de CAD tanto con el dibujo como con el diseño asistido por ordenador. Hay numerosos programas de dibujo, como por ejemplo el famoso CorelDRAW, que son magníficos programas de dibujo, pero que no son CAD.

Así para complementar la diferencia que existe hay que definir el dibujo y el diseño, y es que para muchas personas hablar de diseño es hablar de dibujo.

Partiremos de la definición de lo que es dibujo, *“un dibujo es la representación grafica sobre una superficie o un medio, por medio de líneas y sombras, de objetos reales, imaginarios o de formas abstractos.”*

Así el dibujo siempre a estado presente, ya que siempre ha sido natural que el hombre represente sus ideas en forma grafica a través de el dibujo, que es un lenguaje visual que tiene la finalidad de comunicar algo.

Ahora para definir el diseño, se tomara la definición que de el ICSID (del ingles, Internacional Council of Societis of Industrial Desing), y dice que *“el diseño es una actividad creativa cuyo propósito es establecer las cualidades multifacéticas de objetos, procesos, servicios y sus sistemas.”*

En base a estas dos definiciones se puede entender, que el diseño es la actividad por medio de la cual el diseñador o ingeniero proporciona características, funciones y parámetros al objeto de diseño, mientras que el dibujo, es empleado por el diseño como una forma de comunicar y documentar ideas, así el dibujo y en

especial el dibujo técnico o de ingeniería, es el medio de expresión indispensable y universal que hace posible transmitir a todas las áreas de producción la concepción técnica y las condiciones de fabricación que lleva implícito el objeto de diseño.

La matización conceptual importante que nos determinará la clasificación entre programas de dibujo asistido por ordenador viene determinada dentro del marco CIM (del inglés, Computer Integrated Manufacturing).

Según la asociación de sistemas automatizados y computadoras (CASA) y la sociedad de ingenieros de manufactura, un sistema CIM es aquel que alcanza los siguientes objetivos:

- ④ El establecimiento de una red de producción que abarque la totalidad de la planta de producción.
- ④ El establecimiento de una arquitectura global de flujo de información y adquisición de datos.
- ④ La simplificación de la función de producción.

Dentro de esta definición queda claro el concepto de integración en el desarrollo de sistemas de diseño y la producción que deben ir orientados al necesario intercambio de información entre los sistemas de producción.

Sobre la base de estas razones podemos establecer la frontera que nos delimita el carácter definitorio de los programas de dibujo y de los programas CAD. Si en la concepción del programa los datos del dibujo no se transfieren a otro programa, que los necesite para el control de proceso de producción, para el análisis o simplemente como una base de datos, estamos ante un programa de dibujo por ordenador y en caso contrario el programa es de tipo CAD.

Así en su sentido más moderno, *“CAD significa el proceso de diseñar que emplea sofisticadas técnicas graficas de computadora, apoyadas en paquetes de software para ayuda en los problemas analíticos, de desarrollo, de coste y ergonomía”* (Hawkes, B.R. 1998:11).



## 1.2 Diseño paramétrico y variacional.

En la actualidad casi toda la oferta de sistemas CAD del mercado incorpora una filosofía de diseño paramétrico y variacional.

El diseño paramétrico se basa en asignar parámetros controlables por el diseñador a cada característica del modelo, permitiendo además la asignación de relaciones entre dichos parámetros. Así cuando se dibuja una pieza en el programa de CAD, en lugar de dar valores numéricos para las entidades gráficas (líneas, curvas círculos, etc.) se les asocia una variable (parámetro).

El diseño variacional permite controlar los parámetros de diseño desde las distintas manifestaciones del modelo, ya sea en la propia pieza, en su representación dentro de un ensamblaje o en los planos de la misma. De esta forma es posible controlar la geometría de la pieza variando el valor de los diferentes parámetros.

Según esta filosofía, cuando el diseñador comienza a dibujar una pieza se prevé su intención de diseño, ya que no solo va a dibujar su geometría sino a realizar una serie de relaciones y de restricciones, que pueden ser de tres tipos:

- ④ Restricciones geométricas. Se refieren a la tangencia, perpendicularidad, verticalidad, etc.
- ④ Restricciones dimensionales. Estas refieren a que dimensiones permanecerán fijas y cuales dependerán de cambios de terceras.
- ④ Restricciones algebraicas. Estas relacionan los valores de dos o más parámetros, mediante una expresión algebraica o condiciones lógicas.

En sus inicios, las aplicaciones basadas en el modelo sólido no tuvieron demasiada popularidad, pese a la potencia de las tres dimensiones. Ello se debía a los inconvenientes de requerir un complejo aparato matemático, un procedimiento rígido de introducción de datos y, originalmente una engorrosa interfaz con el usuario.

Pero esta situación cambio a finales de la década de los 80, con la aparición de la concepción paramétrica combinada con las funciones geométricas inteligentes ("features"), el diseño variacional, y la asociatividad completa.

Las geometrías inteligentes facilitan la construcción de la pieza, ya que se poseen librerías de entidades frecuentes (chaflanes, resaltes, etc.), funciones propias del mecanizado (taladros, ranuras, etc.).

El realizar un cambio de diseño en una pieza con frecuencia afecta las vistas del plano, de modo que el diseñador tiene que actualizar manualmente todos los planos relacionados con la pieza como los de ensamblajes o procesos de manufactura, cambios así por lo regular, están propensos a errores. Sería muy útil tener una función que ofreciera la posibilidad de que cualquier modificación hecha se reflejara automáticamente en todos los dibujos relacionados. Los sistemas de modelado en 3D brindan una interesante propiedad del diseño paramétrico, la asociatividad bidireccional. Esta consiste en que una vez construido el modelo 3D con unas determinadas vistas en 2D y sus correspondientes cortes, cualquier modificación que se realice en una de las visualizaciones se transmitirá inmediatamente al resto. Esta propiedad agiliza totalmente el diseño ya que las modificaciones hechas en la pieza se asocian también a los diversos módulos con los que tenga correlación la pieza como ensamblajes o planos generados.

Normalmente, los programas avanzados de CAD incluyen tanto las propiedades del diseño paramétrico como del variacional, con lo que es posible denominar a la técnica resultante “diseño paramétrico/variacional”.

Aun no existe una terminología reconocida de forma unánime sobre el significado del diseño paramétrico y variacional, esto debido a la novedad de los conceptos. En sentido estricto el diseño paramétrico consiste en manipular la geometría de modo que se alteran las dimensiones, mientras que el diseño variacional permite manipular las dimensiones de forma que se modifica la geometría.

## 1.3 Modelado 2D Y 3D.

Los sistemas CAD dan la posibilidad de realizar diferentes tipos de representaciones de las entidades diseñadas:

- ④ Dibujos bidimensionales o 2D.
- ④ Proyecciones bidimensionales, ortogonales y objetos tridimensionales.
- ④ Proyecciones oblicuas (axonométricas o perspectivas) de objetos 3D.
- ④ Modelos tridimensionales (3D).

En realidad los dos primeros casos constituyen modelos bidimensionales, aunque exhiben diferencias, ya que el primero solamente requiere geometría plana para su construcción, mientras que el segundo y el tercero requieren una vinculación entre la proyección 2D y el objeto 3D que representa.

El modelado 2D surgió primero, esto debido a su sencillez y a que requiere de menos recursos. Durante mucho tiempo a sido la forma de trabajo mas popular de representación de formas, ya que es posible la construcción de geometrías de una forma tradicional, como si se realizara en papel, pero con la posibilidad de un proceso mas automatizado, ya que se tienen herramientas para crear todo tipo de entidades (circulo, polígonos, elipses, etc.), aunque es una forma de diseño sujeta a mayores errores de interpretación que el diseño 3D y de la cual en la actualidad se esta comenzando a prescindir, esto debido principalmente a que a partir de un modelo tridimensional es posible conseguir de manera ágil, representaciones en 2D pero no al contrario, por ejemplo si se requiere dibujar una vista auxiliar en un CAD 2D esta se tiene que crear manualmente, usando herramientas del programa.

La mayor parte de los programas CAD, iniciaron con herramientas geométricas de dos dimensiones. La forma de trabajar por lo general al comenzar es sobre un plano (frontal, lateral, etc.), en el caso de programas como Solid Edge, SolidWorks, Mechanical Desktop, lo presentan por efecto.

Una vez que se tiene el plano se puede comenzar el trabajo en dos dimensiones. En Los programas CAD generalmente se tienen un

grupo de comandos principales que reúnen las principales entidades de dibujo 2D (línea, círculo, arco, parábola, etc.)

Con pocas excepciones los programas CAD actuales presentan la cualidad de adelantarse a las intenciones de dibujo del diseñador. Así los programas detectan relaciones geométricas como verticalidad, angularidad; o puntos particulares como el centro de un arco, la tangente de un círculo o el punto medio de una línea. De este modo al realizar un croquis el programa busca la intención del diseñador. Dependiendo del programa, las relaciones geométricas y entidades de dibujo varían, pero la intención de agilizar el dibujo permanece.

Sin duda las relaciones geométricas son una gran ayuda, con ellas se establecen relaciones entre las entidades del dibujo de manera que las variaciones entre un parámetro, produzcan modificaciones en aquellas relacionadas; la finalidad es controlar todas aquellas dimensiones de la pieza que por las condiciones del diseño tienen ciertas relaciones geométricas. La relación geométrica más común es la acotación.

Hay otro tipo de relaciones geométricas que son muy empleadas ya que funcionan como restricciones geométricas, estas son condiciones entre dos o más entidades en el dibujo; así por ejemplo, se puede establecer que dos círculos sean concéntricos. Así se imponen condiciones de diseño.

Sin titubeo las más empleadas son paralelismo, perpendicularidad, concentricidad, tangente, vertical y horizontal.

El segundo grupo más importante son las herramientas que modifican a las entidades y se trata de utilidades que permiten alterar la geometría de las entidades previamente trazadas, las más comunes son, hacer recortes, extender líneas, realizar espejos, redondeos, chaflanes, etc.

Herramientas como las mencionadas hacen más simple la tarea del diseñador, permitiéndole crear y plasmar sus ideas. Pero hay ocasiones en que los ingenieros requieren mostrar sus ideas a un cliente o ha un auditorio no técnico. Los modelos sólidos son infinitamente mucho más fáciles de interpretar que una serie de dibujos estáticos en 2D; con un modelo sólido se pueden presentar los proyectos tales como son en lo mayor posible parecidos a la realidad.

Los sistemas tridimensionales de CAD poseen funciones de los sistemas CAD bidimensionales, que son necesarias para poder generar una operación, las operaciones más comunes que

podemos encontrar son la extrusión (generación de una geometría por proyección de un perfil, cara o región perpendicular a su plano), revolución (generación de una geometría por revolución de un perfil, cara o región sobre un eje), barrido (generación de una geometría por proyección de un perfil, cara o región a lo largo de una trayectoria abierta o cerrada) y recubrimiento (generar una geometría entre dos o más perfiles que actúan de secciones del sólido).

Todas estas operaciones necesitan de un boceto, dibujo plano o perfil, algunas pueden requerir de dos o más perfiles.

Como se mencionó anteriormente estas operaciones son conocidas como "features".

La forma de trabajo en muchas ocasiones es muy similar a la realidad, se basa en decidir que tipo de geometría formara la operación base y posteriormente que operaciones se irán añadiendo, para modelar el sólido. Así es prácticamente como fabricar la pieza añadiendo o retirando material.

Todas las operaciones realizadas quedan registradas en un árbol de historia, este es una especie de registro de las operaciones realizadas y registradas cronológicamente; las cuales pueden ser consultadas para realizar modificaciones.

Al diseñar se tiene la posibilidad de trabajar en dos niveles, el nivel de croquis donde se puede modificar el boceto empleado como perfil de la operación o trabajar en el nivel de definición de la operación y variar los parámetros de la misma.

Hay otro tipo de operaciones que ha diferencia de las mencionadas anteriormente, requieren que exista una geometría sobre la cual aplicarlas y las cuales no necesitan de un perfil, estas son el redondeo, chaflán, el vaciado, el agujero, el taladro; estas solo requieren el introducir los parámetros y seleccionar algún elemento de la geometría, como un vértice o una cara.

Por ultimo una de las herramientas mas valiosas son las de creaciones de superficies, las más populares son: superficie reglada, superficie tabulada, superficie de revolución, superficie definida por lados, barrido de superficie y el solevado, por lo general por si solas estas operaciones solas no tienen mucho sentido, pero al utilizarlas para modelar posteriormente sobre objetos sólidos, la potencia de estas operaciones adquieren valor y sentido.

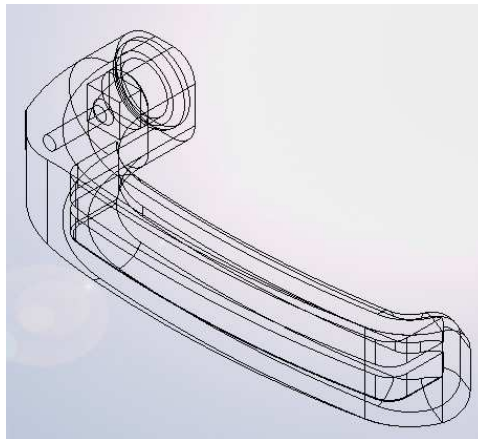
La modelación en tres dimensiones es la puerta de entrada a un ambiente CAD, CAE y CAM completo.

## 1.4 Tipologías del modelado 3D.

La potencia del diseño en 3D reside en que traduce el concepto del diseñador a un lenguaje volumétrico que es comprendido por todas las áreas de una empresa. Podría decirse que el modelado 3D “populariza” el proceso de diseño ya que permite el acceso al mismo de todos los miembros de un equipo de diseño que pueden aportar mejoras al producto.

- Modelado alámbrico (Wireframe). La primera técnica que emplearon los sistemas CAD. En el sistema wireframe, el modelo 3D es creado y guardado solo como una representación geométrica de aristas y puntos dentro del modelo. Los modelos 3D wireframe son transparentes en la realidad y por esta razón requieren un usuario de experiencia y gran conocimiento del modelo antes de entender claramente la representación. (Ver figura 1).

Figura 1. Modelo alámbrico de una manija de puerta.

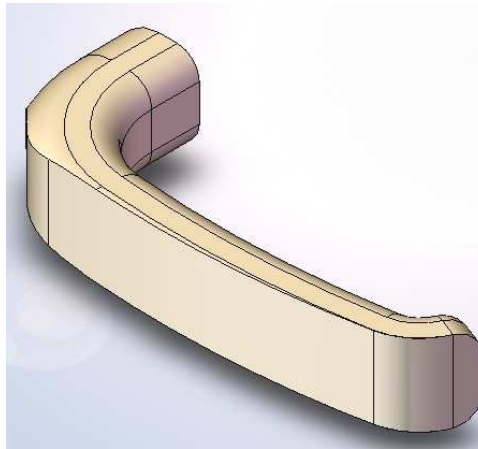


- Modelado de superficies. Con este conjunto de técnicas se consigue el doble objetivo de alcanzar una mayor precisión geométrica y lograr un mayor realismo, aplicando técnicas de sombreado y coloración a las superficies. Además este modelo supera los inconvenientes del modelo alámbrico. Las superficies se componen de múltiples fragmentos, facetas o parches delimitados por cuatro curvas que unidos con otros permiten visualizar el modelo. Por otra parte este tipo de modelado permite dar opacidad a las superficies, con lo que se consigue una representación fotorrealista del objeto. Estas técnicas se pueden clasificar en tres grupos en función de la calidad de acabado que presenten.

1. Representación de superficies de mallado.
2. Visualización de superficies mediante colores planos.
3. Visualización de superficies mediante color real.

Modelado de sólidos. El modelado de sólidos es la única forma unívoca (no ambigua) de representación de objetos en tres dimensiones que existe, ya que se trata de una precisa descripción que incluye no solo la superficie externa de un objeto, sino también la estructura interna. Por otra parte es el método más sencillo y directo para obtener objetos de geometría completa (ver figura 2). Además, el procedimiento de construcción de los diseños guarda cierta analogía con su proceso de fabricación, por lo que se puede dar soporte a innovaciones tecnológicas.

Figura 2. Modelo sólido de una manija.



## 1.5 La migración al 3D.

Desde pequeñas a grandes empresas, ingenieros y diseñadores, emplean sistemas de diseño en 2D, para dar solución a sus problemas de diseño y fabricación, pero si los sistemas en 3D tienen más herramientas y ventajas, ¿Por qué la adopción de soluciones en 3D no ha sido tan rápida?

Para esta cuestión no hay una sola respuesta, ya que los factores para que una empresa, un diseñador o un ingeniero adopten una forma de trabajar, son tantos como técnicos, culturales o económicos.

Realizar la transición del desarrollo de productos de un sistema 2D a un sistema de diseño de modelado de sólidos en 3D, es un cambio que puede reportar grandes beneficios.

Muchas empresas resultan productivas empleando soluciones en 2D, para concluir les funciona bien y es posible que se pregunten ¿porque van a cambiar?

Para dar respuesta a esta cuestión hay que hablar de los beneficios de las soluciones 3D.

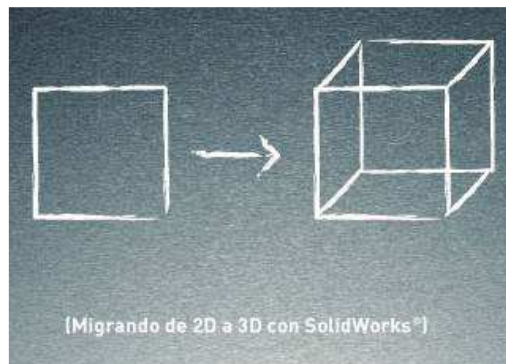
En el universo de la fabricación las empresas sufren de una presión formidable para diseñar nuevos productos y dar solución a sus problemas de manufactura. Aunado a los problemas de productividad, los cambios constantes sobre el diseño, el retrabajo, errores en la interpretación de planos, ¿Quién tiene tiempo de ocuparse de estos problemas?

Los sistemas de modelado de sólidos en 3D proporciona un medio mas ágil y eficaz para crear diseños de productos; en el entorno 2D crear un componente requiere de un gran numero de ordenes y la creación de dibujos, requiere de una cantidad de tiempo considerable.

A la inversa en el universo 3D, la generación de sólidos es más sencilla y al tener el sólido la generación de planos es casi automática.

Sin duda alguna la generación de planos casi automática, la funcionalidad del diseño paramétrico y variacional, la asociatividad, las herramientas de modelado realista, renderizado y animación, que son mejoras en la visualización del diseño, las herramientas de análisis por elementos finitos (capítulo 2), la generación de códigos para la programación en control numérico y los complementos de sistemas integrados como la gestión de datos de productos (PDM, del ingles Product Data management), son los beneficios a los que se ha dado mas importancia y por los cuales varias empresas están migrando al 3D (Ver figura 3).

Figura 3. Migrando al 3D.





Existe una gran cantidad de barreras y mitos cuando una empresa reconoce la necesidad de adoptar una solución 3D. Pero entre todos, los obstáculos que se refieren a la cultura y mentalidad de las empresas parecen ser los que pueden encaminar o detener la transición al 3D.

Con frecuencia los jefes de diseño, así como los ingenieros y diseñadores, son los primeros en reconocer las ventajas de diseñar en 3D, sin embargo la alta dirección de las empresas suele tener una visión distinta, ya que al embarcarse en esta aventura, suele traer muchas inquietudes y preocupaciones que se pueden aminorar con pericia y otras que están fundadas en la realidad.

Una de las objeciones mas comunes que las direcciones plantean, es el costo. La realidad es que realizar un cambio como este si cuesta mucho, tan solo el precio del software, los requisitos del hardware y los gastos asociados a la formación de los ingenieros, son gastos iniciales importantes. Es posible que la mejor forma de superar las preocupaciones de tipo económicas, sea plantear que la transición de la empresa hacia un CAD en 3D constituye una inversión a futuro.

Otro aspecto de carácter cultural, es la resistencia de aprender a trabajar con el diseño 3D.

*“Es realista suponer que la mayor parte de los ingenieros de mas de 30 años han aprendido la ingeniería en el mundo del diseño 2D, estos ingenieros muchos de los cuales ahora son ingenieros y diseñadores jefe, han recibido formación en 2D” (Schmitz, Barb 2006:15).*

Muchos de ellos se resisten a trabajar con el diseño 3D, e insisten que su productividad es la misma utilizando métodos de diseño 2D. Ya que su formación ha sido completamente en el entorno 2D tienen una forma de trabajar muy arraigada y agregando la idea de que muchos piensan que utilizar estos sistemas es difícil y complicado. Actualmente los desarrolladores de sistemas CAD en 3D, se han esforzado por crear sistemas más amigables e intuitivos, con lo cual resulta sorprendentemente fácil aprender a utilizarlos. Sin duda la mejor manera de vencer este obstáculo es el persuadir y transformar a aquellos que no están convencidos de las ventajas y que son los mayores críticos en el cambio, en los mayores defensores de la implantación.

Ventajas y obstáculos como los mencionados, son elementos que se encuentran en la balanza y dan respuesta a la decisión del cambio; claro que no todas las empresa ni todos los profesionistas

del diseño lo requieren, solo las condiciones y las circunstancias de cada uno, les permiten evaluar la decisión, ya que una transición al 3D afectara significativamente varias áreas de una empresa y su forma de ver el diseño.

## 1.6 Ensamblaje de piezas.

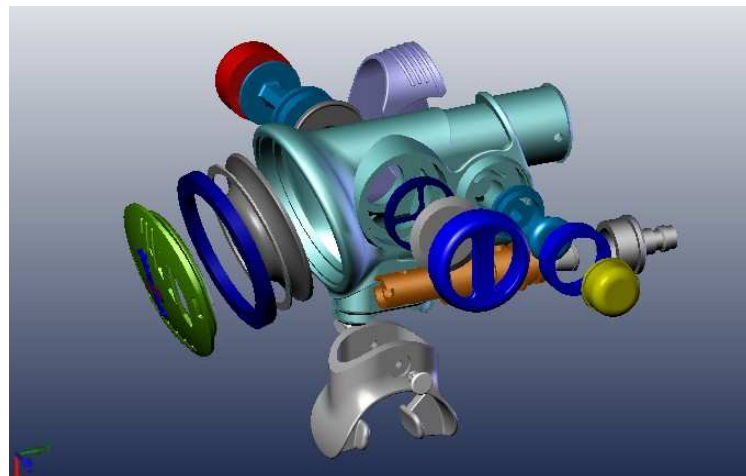
Los sistemas CAD hacen realidad la creación de ensambles, permiten el desarrollo y gestión de estos sin importar que sean complejos y de gran tamaño o solo con algunas piezas.

Pero no en todos los sistemas CAD se tienen el mismo entorno de trabajo ni las mismas herramientas, por ejemplo el uso del diseño en 2D para diseñar ensamblajes grandes y complejos, compuestos por miles de piezas móviles constituye un proceso tedioso, trabajoso, proclive a errores y enormemente lento. Sólo la gestión de los numerosos dibujos del nivel de producción de estos grandes ensamblajes es una labor descomunal. La mayor parte de los sistemas de modelado de sólidos en 3D ofrecen operaciones que ayudan a gestionar la precisión de los dibujos de producción de un ensamblaje y asegurarse de que estén completos.

Para la evaluación del diseño del ensamblaje, muchos de estos modeladores ofrecen herramientas integradas que comprueban interferencias y detectan colisiones, además de permitir que varios diseñadores colaboren en cada ensamblaje.

Los sistemas CAD más vigentes ostentan un entorno de trabajo aparte, bien con un modulo independiente, se podría decir que es un espacio del sistema dedicado al ensamblaje que contiene herramientas particulares y que en algunos sistemas solo se activan estando en el modulo (ver figura 4).

Figura 4. Vista explotada de un ensamble.



Dentro de los ensamblajes es posible editar las piezas que los componen, realizar operaciones posteriores en los ensamblajes como barrenar o soldar, e incluso crear nuevas piezas. Esto es interesante pues permite diseñar las piezas que son adyacentes de modo que no existan colisiones entre ellas.

El ensamblaje mantiene comunicación directa con los archivos de pieza por lo general. En muchos programas, es necesario disponer de los archivos de pieza para poder abrir un ensamblaje que contenga dichas piezas.

Cuando se realiza una modificación en un archivo de pieza, dicha modificación es detectada por el archivo de ensamblaje y actualiza la geometría en cuanto se acude de nuevo al mismo. Del mismo modo si se edita una pieza en el entorno de un ensamblaje, el archivo de dicha pieza registra el cambio y se actualiza al ser abierto de nuevo.

Los ensamblajes permiten además comprobar el funcionamiento de un mecanismo desde el punto de vista cinemático. Al imponer las restricciones entre las piezas, no solo se está consiguiendo situarlas en el conjunto, sino que además se definen sus grados de libertad.

Relaciones geométricas tales como paralelo, perpendicular, horizontal, vertical, concéntrico y coincidente son solo algunas de las soportadas en SolidWorks. También pueden ser usadas ecuaciones para establecer relaciones matemáticas entre parámetros.

Concretamente se va a describir el modo de trabajar con módulos para ensamblaje.

Normalmente el proceso es el siguiente:

- ④ Una vez que se dispone de varias piezas que tienen que ser ensambladas, se inicia el módulo de ensamblaje. Este suele presentar un árbol de historial como en el caso de las piezas, en el cual se van almacenando todas las piezas que se insertan en el ensamblaje. También incluye herramientas necesarias para definir las posiciones relativas entre las distintas piezas; así como su visualización, ya que hay posibilidad de verlas transparentes u ocultas en el ensamblaje.
- ④ Se importa la primera pieza que actuara de base. Suele ser la pieza sobre la cual deben ir ensamblando las siguientes, y por tanto una pieza con baja movilidad dentro del

conjunto. Esta pieza puede por tanto establecerse como fija, de modo que se anulan todos sus grados de libertad.

- Se importa a continuación la pieza. En algunos programas no es necesario, pero siempre es conveniente, definir la posición de la nueva pieza con respecto a la primera. Para ello se utilizan comandos que permiten establecer relaciones geométricas similares, de manera que se puede forzar que dos caras de piezas distintas sean coincidentes, o que formen un determinado ángulo entre si, o que dos superficies cilíndricas sean coaxiales, etc. De este modo, la nueva pieza se sitúa en relación con la pieza base. Algunos sistemas incluyen la posibilidad de manipular la pieza antes de definir su posición mediante relaciones, para situarla más o menos intuitivamente y luego restringir de modo exacto su posición.

Se repite el proceso con nuevas piezas, bien con nuevos subensamblajes, pues es posible insertar dentro de un ensamblaje otro previamente definido.

## 1.7 Generación de planos.

Ahora que se han comentado los módulos de modelado de piezas y de ensamblajes, queda por mencionar el tercer modulo principal de prácticamente todos los sistemas CAD, la generación de planos.

Al igual que los de ensamblaje los archivos de plano reciben casi toda su información de los archivos de pieza, de manera que es necesario tener todos estos archivos para trabajar con los planos. Esto se debe nuevamente al flujo de información entre archivos, ya que las modificaciones de las piezas realizadas en el archivo de planos se refleja en el archivo de pieza y viceversa. Todas las modificaciones realizadas en los dibujos en 2D o los modelos en 3D creados se reflejan con precisión en todas las vistas, las láminas y los dibujos asociados. Todas las vistas, cotas y anotaciones de los dibujos se actualizan automáticamente.

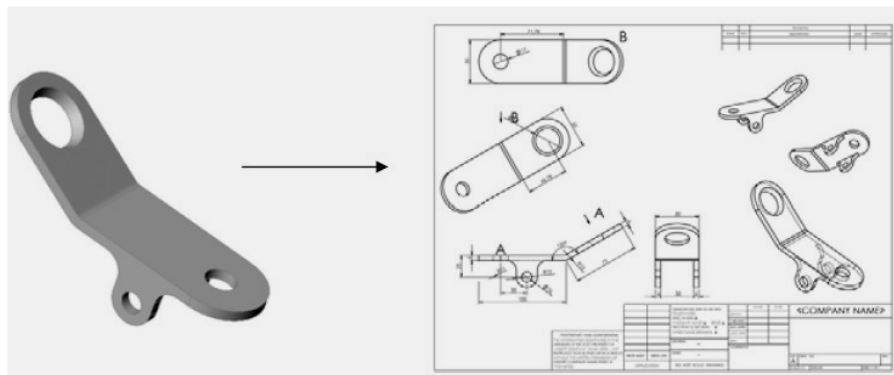
Así es como las nuevas características de asociatividad entre los archivos facilitan enormemente la actualización de los documentos de plano, por lo que es posible empezar a producirlos sin tener completamente definida la pieza.

La generación de planos suele ser una tarea bastante automática, pues el sistema ha almacenado todos los parámetros de definición de la pieza durante su creación, y puede plasmar las vistas y cotas del modelo utilizando simplemente un par de comandos.

Luego deben revisarse y ordenarse las cotas, y es posible generar secciones, vistas en perspectiva, detalles, etc. Dependiendo del sistema esta tarea puede ser más o menos laboriosa, pero en general suele ser sencilla, pues el programa es el que se encarga de calcular los resultados y la geometría que aparece al crear estas vistas.

Otra característica importante es la generación automática de listas de materiales (ver figura 5), aumenta la velocidad en el desarrollo de dibujos para diseños que contengan grandes cantidades de piezas.

Figura 5. Creación de un plano con generación de vistas.



También en algunos sistemas existe la posibilidad de la creación de archivos PDF, esto es posible en sistemas como SolidWorks, de esta se pueden expandir los datos de diseño para compartirlos con otras áreas que lo requieran como marketing y administración, con proveedores e incluso con clientes mediante el uso de Adobe Acrobat Reader. Al crear archivos nuevos de Adobe Acrobat desde los diseños se puede ofrecer un nuevo nivel en la forma de creación de los documentos y la organización de datos, muy útil para las empresas que poseen un sistema PDM.

## 1.8 Ventajas de los sistemas CAD.

Entre las ventajas más destacables de la utilización del diseño asistido por computadora se encuentran:

- ④ Mayor rapidez en la generación de dibujos debido a la facilidad para realizar transformaciones y vistas. Eliminación de la necesidad de repetir dibujos.
- ④ Mayor precisión geométrica debido a la base matemática y a la posibilidad de definir elementos con referencia a otros.
- ④ No son necesarios conocimientos de geometría, dado que las instrucciones auxiliares son realizadas automáticamente por el programa.
- ④ Uso de técnicas especiales de dibujo para la creación de nuevas formas.
- ④ Limpieza y actualización de dibujos. Las correcciones se realizan sobre la base de datos por lo que no quedan ningún residuo de las correcciones introducidas. Por otra parte, se tiene la posibilidad de imprimir un trazado nuevo tantas veces como sea necesario.
- ④ Independencia de la escala del tamaño de dibujo. Únicamente se requiere introducir la escala de trabajo cuando se vaya a obtener una copia impresa.
- ④ Posibilidad de utilizar bibliotecas con modelos básicos, símbolos elementos estándar, etc.
- ④ Interactividad. El usuario del sistema CAD percibe inmediatamente el efecto de las órdenes introducidas. Así mismo puede modificar el diseño en cualquier etapa del proceso de desarrollo.
- ④ Disminución del coste de desarrollo, al permitir un análisis exhaustivo del producto mediante el ordenador.
- ④ Posibilidad de integración con otras técnicas asistidas por computadora (CAM, CAE, etc).

## 1.9 Desventajas de los sistemas CAD.

Como principal inconveniente de los sistemas CAD se pueden citar los siguientes:

- ❶ Las limitaciones de las funciones de generación de geometría de la aplicación pueden condicionar el diseño y/o limitar la creatividad del diseñador.
- ❷ A pesar de que se genere un modelo tridimensional del objeto, y las representaciones (proyecciones) fotorrealistas obtenidas sean de buena calidad, tanto la visualización en pantalla como la visualización en papel suponen la visualización bidimensional (2D) del objeto.
- ❸ El costo de un sistema CAD puede atenuar la adquisición del mismo.
- ❹ Dependiendo de la complejidad del sistema CAD, se requiere de mayores recursos informáticos para su óptimo desempeño, por lo que requiere de equipos de cómputo potentes.

## 2 Capítulo 2. La moderna regla de cálculo.

¿Se romperá? ¿Se deformará? ¿Se calentará demasiado? Estos son los tipos de cuestiones que se hacen los ingenieros y desarrolladores de productos al elaborar sus diseños.

Por lo regular antes de que un nuevo producto pase a la fase de producción, se realizan pruebas del prototipo para garantizar que el producto cumpla con los intereses del cliente. Así muchas pruebas requieren de simples modelos físicos, mientras que otras requieren de prototipos completamente funcionales, prototipos de este tipo son costosos y su fabricación puede demorar considerablemente.

En el mundo real de la fabricación los gastos que se derivan de la creación y pruebas de prototipos a menudo solo permiten un número limitado de pruebas, las empresas no pueden invertir en construir y comprobar el número de prototipos necesarios para lograr un diseño optimizado.

Así una gran cantidad de fabricantes, que enfrentan presiones competitivas para lograr crear productos más innovadores y optimizados y diseños más seguros, han aprovechado la tecnología de la ingeniería asistida por computadora, para simular las pruebas en sus prototipos. Al utilizar esta tecnología los ingenieros pueden optimizar los diseños del producto en la computadora sin construir un solo prototipo o reducir su número considerablemente.



## 2.1 ¿Qué es CAE?

La ingeniería asistida por computadora es la tecnología que muchos fabricantes, están aprovechando para optimizar sus diseños; pero ¿a qué se refiere la ingeniería asistida por computadora? y ¿cómo es que puede ayudar a mejorar el diseño? Para responder a estas incógnitas es preciso que el profesional de la manufactura conozca y maneje esta tecnología.

La ingeniería asistida por computador puede representar varios enfoques, pero para el presente trabajo de tesis adoptaremos la definición que maneja Capuz (2001) tal como *“el término que engloba el conjunto de herramientas informáticas que permiten analizar y simular el comportamiento del producto diseñado”* (Capuz, Salvador (2001):68)

Como se ha visto en el capítulo anterior, con un sistema CAD a través del modelado en 3D, se pueden obtener modelos sólidos de una gran perfección de medidas y forma; esta es la entrada a un entorno de diseño e ingeniería asistidos por computadora completo ya que habitualmente los sistemas CAE parten de los modelos construidos en un sistema CAD.

Así CAE es la herramienta de estudio, análisis, comprobación y optimización del diseño que puede y debe dar la seguridad de que el producto cumplirá con las características exigidas y costos competitivos. Ya que en el mercado, por lo regular solo tiene éxito el producto que ofrece mejores prestaciones a un costo más reducido.

Hoy en día se exige que un producto no solo cumpla con especificaciones marcadas, sino que también lo haga en la forma más económica posible. Durante mucho tiempo las técnicas más comunes que se han empleado para conseguirlo son:

- ④ Modelos matemáticos que simulan el comportamiento real.
- ④ Prototipos semejantes al producto final.
- ④ Pilotos idénticos al producto final.

Para finalidad del presente trabajo de tesis es favorable tratar únicamente los modelos matemáticos de simulación, ya que son los empleados por la tecnología CAE y los que de alguna forma están restando campo a los prototipos físicos, y de los cuales se hablara en el siguiente tema.

## 2.2 Principales estudios CAE.

Una de las tendencias actuales de diseño, es potenciar al máximo la etapa de análisis y estudio teórico de modo que los ensayos en prototipos sean una mera comprobación de los resultados teóricos y reducir las pruebas sobre prototipos.

Como se menciona en el tema anterior, de las herramientas de validación del diseño de un producto que emplean modelos matemáticos, serán las que se abordaran para los intereses de este trabajo.

Los sistemas de cómputo se han vuelto más potentes y rápidos; así poseen la potencia para realizar cálculos enormes, tanto en complejidad como tamaño y a gran velocidad, permitiendo abordar la solución por herramientas matemáticas (como, métodos numéricos, ecuaciones diferenciales etc.), de las ecuaciones matemáticas que describen el comportamiento físico del problema estudiado.

Los sistemas CAD, permiten obtener modelos tridimensionales de gran perfección, por tanto los estudios realizados en ellos y en especial los geométricos, darán excelentes resultados, todos los sistemas CAD disponen de módulos de cálculo, que realizan estudios geométricos (como medir una línea u obtener el ángulo entre dos líneas), cinemáticos, estructurales y redes de distribución. Así los estudios de tipo geométrico más comunes, realizados por un sistema CAE, permiten determinar:

- Áreas, volúmenes, masa.
- Momentos de inercia, respecto a cualquier eje.
- Radio de giro.
- Centro de gravedad.

Y entre los estudios más frecuentes se pueden mencionar:

- Análisis de interferencia.
- Análisis funcional y de tolerancias.
- Distancia mínima entre objetos.




 Distribución de volúmenes.

En cuanto a los estudios cinemáticos, estos analizan los valores de velocidad y aceleración en mecanismos y pueden presentar el área barrida por los diferentes elementos móviles; así otros disponen de verdaderos módulos cinemáticos que emplean los movimientos de mecanismos elementales como palancas, engranes, levas, permitiendo la simulación gráfica del funcionamiento del sistema.

Estudios como los anteriores son muy empleados, pero los estudios estructurales, que son los que analizan el comportamiento del modelo sometido a un sistema de fuerzas o cargas exteriores, han impulsado el desarrollo de los sistemas de análisis.

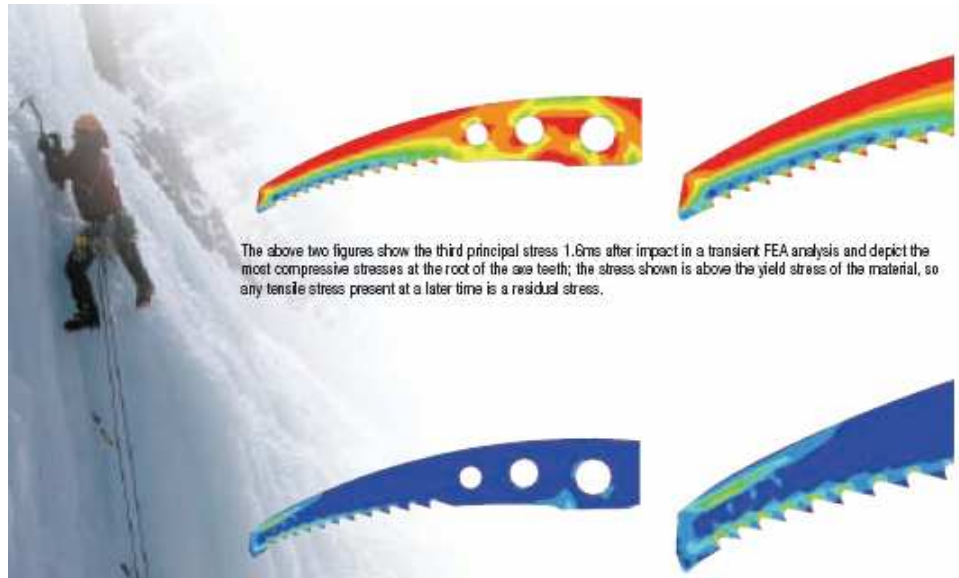
Los estudios estructurales comenzaron con procedimientos clásicos de cálculo de vida infinita, los cuales no prevén la destrucción del producto, estos han sido sustituidos por métodos de diseño de vida finita. Así mismo la mejora de los procedimientos de cálculo y del comportamiento de materiales, han permitido trabajar con cargas estáticas y dinámicas, introducir tensiones provocadas por procesos térmicos y considerar comportamientos no solo elásticos sino también plásticos en materiales isotropicos y anisotropicos.

Así los procedimientos matemáticos más utilizados en el análisis son:

-  Diferencias finitas.
-  Elementos finitos.
-  Integral de contorno.

El método más utilizado en el análisis estructural, es el de elementos finitos (ver figura 6), el cual se profundizará en el siguiente tema.

Figura 6. El análisis por elementos finitos es utilizado para estudiar el inicio de la fractura de una cuchilla aserrada para alpinismo.



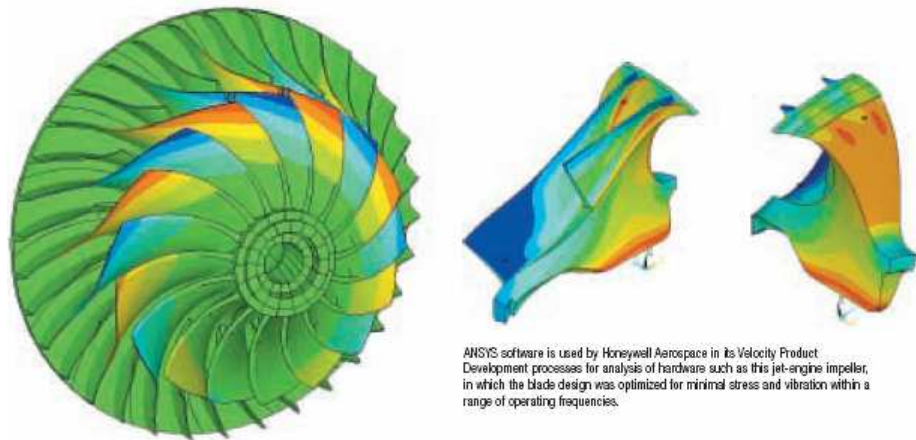
Así los estudios más sobresalientes son:

- ☉ Análisis tensional (estático y dinámico).
- ☉ Cálculo mecánico y estructural (lineal y no lineal)
- ☉ Análisis de vibraciones (ver figura 7).
- ☉ Análisis de campo magnético.

Otros análisis que no pertenecen al tipo estructural pero que son realmente importantes y los cuales considera Capuz (2001) son:

- ☉ Análisis de utilajes y fijaciones.
- ☉ El mecanizado.
- ☉ Conformado de chapa metálica.
- ☉ Análisis de soldadura.
- ☉ Simulación de procesos de inyección de molde.
- ☉ Análisis dinámico y térmico de fluidos.

Figura 7. El sistema ANSYS™ es utilizado por Honeywell Aerospace para minimizar las vibraciones en el impulsor del motor de un jet.



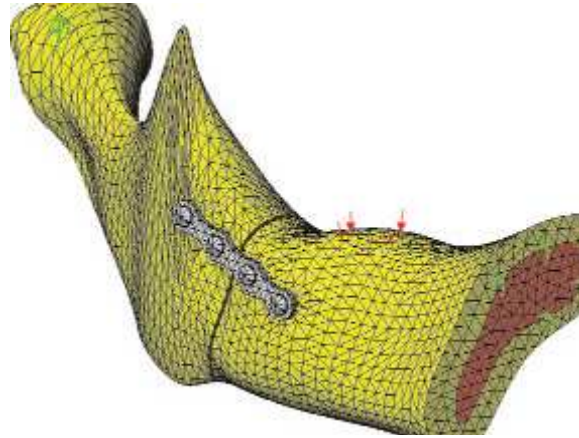
## 2.3 Análisis de elementos finitos.

Como se ha mencionado en el tema anterior, el análisis por elementos finitos es el método más empleado en los estudios de tipo estructural para análisis de diseño.

Durante los inicios de la década de los 90, comenzó a evolucionar el proceso de desarrollo de productos de un método de prototipo-prueba a un nuevo paradigma mediante el CAE, así los ingenieros empezaron a analizar módulos informáticos del diseño mediante el análisis de elementos finitos.

Schmitz (2006) menciona que *“el análisis por elementos finitos (FEA, del inglés Finite Element Analysis) es una técnica matemática que calcula el comportamiento de las estructuras mecánicas”* (Schmitz, Barb, 2006:40).

Fig. 8 Para desarrollar una nueva articulación artificial de mandíbula, se crearon diferentes modelos con diferentes materiales, y se realizó un análisis estático en COSMOSWorks™ para ver cómo la utilización de distintos materiales afectaría la tensión.



Los principios fundamentales de FEA, se conocen desde el siglo XIX, pero la técnica no se ha empleado con amplitud hasta hace algunos años, debido a las prohibitivas matemáticas que la involucran. Las matemáticas del FEA emplean procedimientos de álgebra de matrices altamente complejos y repetitivos, que pueden consumir un elevado tiempo y ser muy propensos a errores, cuando se realizan de forma convencional. Por tanto no fue hasta que se desarrollaron potentes computadoras, cuando los sistemas FEA comenzaron a crecer.

FEA permite al diseñador efectuar análisis de componentes complejos, descomponiendo una forma en otras más pequeñas, en simples elementos finitos. Estos elementos se denominan discretos y al proceso de generación discretización. FEA divide un sólido en elementos geométricos, cada elemento se limita por puntos denominados nodos, así pueden formar una retícula de elementos finitos, que se representan matemáticamente en la computadora como una malla en 3D, que se superpone al sólido y lo impregna para resolver las ecuaciones diferenciales que rigen los fenómenos físicos. Con la utilización de FEA se simula la respuesta de los diseños ante las fuerzas del funcionamiento.

Los ingenieros utilizan el análisis del diseño con FEA para casi todo tipo de desarrollo de productos y también para la investigación (ver figura 8). Simplemente el análisis de diseño es una potente tecnología de software para la simulación del comportamiento físico de un futuro producto en la computadora.

El análisis del diseño proporciona mayores beneficios cuando se realiza al principio del ciclo de diseño, puesto que es entonces cuando resulta más rentable y fácil realizar cambios.

Durante muchos años el análisis de diseño fue el territorio exclusivo de analistas altamente especializados, tal parece que esta idea a

permanecido, numerosas ideas erróneas rodean la utilización de los sistemas FEA, muchos ingenieros creen que el análisis del diseño basado en FEA es esotérico, caro y difícil de utilizar, *“algunos ingenieros creen que para hacer funcionar el sistema de análisis es necesario tener un doctorado, que solo lo utilizan grandes empresas y que resulta innecesario para el tipo de trabajo que realizan, investigaciones han demostrado que siete de cada diez ingenieros que utilizan CAD en 3D son de esta opinión.”* (SolidWorks Corporation, 2006:4)

Como consecuencia muchos ingenieros y diseñadores aplican diseños que no se han probado directamente a los prototipos, o incluso pasan directamente a la fase de producción, poniendo de este modo en peligro la calidad del producto y las relaciones con los clientes.

Sin embargo en los últimos años los sistemas FEA se han introducido como parte de muchos sistemas CAD, se han vuelto más fáciles de usar y se están integrando con otras tecnologías para dar soluciones en diversas áreas de la ingeniería.

En el campo de la ingeniería mecánica, el análisis de diseño con FEA puede resolver una amplia gama de problemas, desde una sencilla viga bajo una carga de flexión, hasta simulaciones de accidentes de tráfico y el análisis de vibraciones en un avión. El verdadero poder del análisis en el diseño consiste en la capacidad de realizar cualquiera de estos estudios sin necesidad de construir nada. La aplicación más habitual en el campo de la ingeniería mecánica es el análisis de tensiones.

## 2.4 Pasos básicos en el programa FEA.

El procedimiento empleado en un sistema FEA, puede constar de varios pasos, pero las etapas principales y que Hawkes (1989) menciona:

- ④ Preparación del modulo de datos (pre-proceso).
- ④ Análisis del modelo y.
- ④ Evolución de los resultados (post-proceso).

Estas etapas se ilustran en la figura 9.

En la fase de pre-procesado, el sistema posibilita al diseñador crear y discretizar la solución en elementos finitos, esto es subdividir el problema en nodos y elementos.

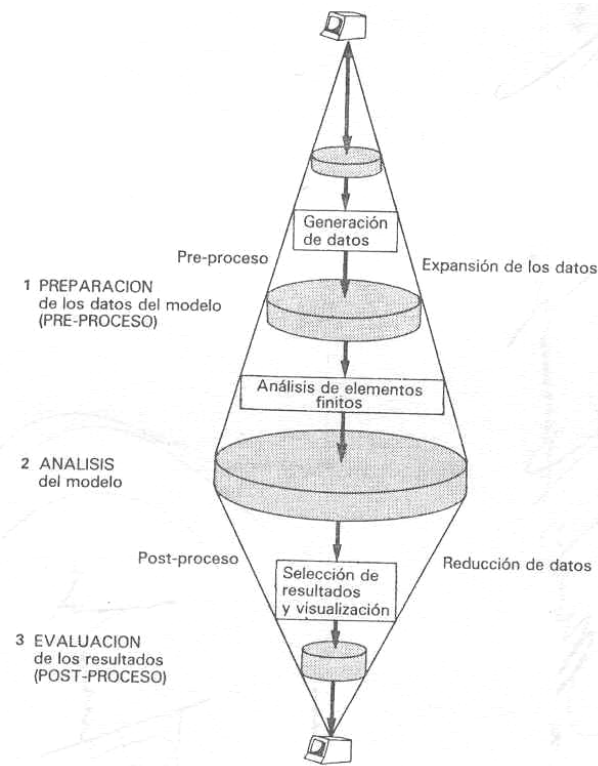
Además permite asumir una función para representar el comportamiento físico de un elemento, que es una función aproximada que se asume para la solución del elemento.

En esta etapa se arman los elementos a representar en el problema completo, para ello se dan las condiciones iniciales que son:

- ④ Parámetros geométricos, es decir tipo de elemento coordenadas nodales, variación de la intensidad de la retícula.
- ④ Características de carga, son, magnitudes, posiciones y dirección de los puntos de carga, presiones, cargas térmicas, etc.
- ④ Condiciones de contorno, es decir, posiciones y direcciones de las fijaciones nodales, ejes rotacionales, resistencia a la fricción y desplazamiento.
- ④ Propiedades del material, por mencionar algunas como: modulo de Young, coeficiente de fricción, densidad, punto de cedencia, Coeficiente de Poisson, etc.



Figura 9. Etapa en un programa FEA.



En la fase de análisis del modelo o solución se tienen todos los datos del modelo y se han asumido las funciones para dar solución al problema. En esta etapa se resuelve un conjunto de ecuaciones algebraicas para obtener resultados nodales, por ejemplo en un problema de transferencia de calor se obtienen valores de temperatura en diferentes nodos.

Por ultimo el post-proceso, proporciona al ingeniero las herramientas para evaluar los resultados del análisis del modelo. La salida de resultados analizados puede ser bien en forma de datos como tablas o en forma gráfica a través de colores en diversas partes del modelo, se exponen las áreas en las cuales el diseño es más crítico, siendo el rojo, el color que denota las zonas de riesgo y azul las zonas sin riesgo alguno.

Las salidas típicas del post-proceso son:

- Valores impresos de desplazamientos nodales.
- Valores impresos de las tensiones de los elementos.
- Visualización grafica de la retícula de componentes (malla), distorsionada bajo carga.

- Variación del tono o color de los elementos visualizados según valores del rango de tensiones.
- Visualizaciones animadas del movimiento de los desplazamientos y deformaciones de los elementos para análisis de carga dinámica.

## 2.5 Ventajas y desventajas en sistemas CAE.

CAE ha ido creciendo a una velocidad vertiginosa y su uso seguirá creciendo, dadas las muchas ventajas que ofrece al diseño. Sin embargo la mayoría de las empresas en México que realizan diseño y desarrollo de productos aun no utilizan soluciones de análisis, ni comprenden el valor que puede traer el análisis del diseño en 3D, al diseño de productos. Por lo que es prudente que el ingeniero conozca los beneficios de los sistemas CAE.

Los sistemas CAE de análisis y simulación, proporcionan ventajas tangibles y cuantificables al proceso de desarrollo de productos. Las ventajas para el proceso de desarrollo de productos son numerosas, tanto en tiempos de reducción del ciclo de diseño en su conjunto, como en el costo asociado con los métodos de prueba convencionales.

Los siguientes son algunos de los beneficios mas claros y valiosos que CAE puede traer al diseño:

- Reducción en el uso de prototipos físicos, debido a que se permite realizar pruebas más exhaustivas del diseño.
- Apoya en la toma de decisiones, facilita el estudio de más de una opción de diseño, proporcionando la información para una decisión acertada.
- Ayuda a desarrollar diseño optimizados (ver figura 10), por ejemplo se puede implementar para ver como se comporta el diseño con distintos materiales y elegir el mejor.
- Análisis mecánico del diseño, se puede realizar análisis de tensiones, deformaciones, distribución de temperatura, etc.

- ❷ Disminuir el número de emisiones de cambios de ingeniería.
- ❷ Acortar el ciclo de diseño, esto reduciendo el tiempo que se dedica al análisis y validación del diseño.
- ❷ Fácil uso de los sistemas.

Como principales desventajas de los sistemas CAE se puede enunciar:

- ❷ El costo de un sistema de análisis puede no ser accesible.
- ❷ Muchos sistemas CAD en 3D, disponen de herramientas integradas, pero estas son limitadas.
- ❷ Los sistemas CAE se han vuelto mas fáciles de usar y no requieren de un personal especializado, para su aplicación, pero si de un personal que entienda el fenómeno a estudiar, para así utilizar correctamente las herramientas.
- ❷ Requiere de sistemas y equipo de computo potentes. En algunos casos no son compatibles con sistemas operativos muy recientes (es el caso de Windows Vista).

Figura 10. Un brazo de conexión antes y después de la optimización.



### **3 Capítulo 3. Una nueva forma de maquinar.**

Los sistemas de computación y nuevas tecnologías, son un tema importante en la industria actual, ya que cada vez estos se introducen en más áreas de las empresas; sin embargo en muchas compañías, la manufactura no es tan apoyada, como en otras áreas cuando se trata de implantarlas.

En el caso de los sistemas y tecnologías de manufactura asistida por computadora, el costo de estos resulta prohibitivo para muchas empresas, especialmente las pequeñas y medianas, además de que su relación costo beneficio no siempre es fácil de medir.

Son pocas las empresas que utilizan nuevas tecnologías de manufactura, aun cuando para la planta de producción, existen varias aplicaciones, de las que sobresalen, la robótica, el control numérico, las maquinas herramienta controladas numéricamente, la planeación de procesos por computadora y los sistemas de medición del proceso en tiempo real.

No obstante es un hecho que este tipo de tecnologías y sistemas, ayuda a reducir al máximo errores y retrabajos. De acuerdo a las tendencias actuales del desarrollo del mundo industrial, para que puedan desarrollarse con éxito las empresas mexicanas del siglo XXI, será necesario que analicen estas tecnologías y llevar a cabo una adopción e implantación de acuerdo a sus necesidades.

## 3.1 ¿Que es CAM?

La manufactura asistida por computadora (CAM, del ingles Computer Aided Manufacturing), “... engloba todas las tecnologías y sistemas basados en el computador, utilizados en la planta de producción, desde la robótica, el control numérico, el control de distribución, hasta las aplicaciones de planificación y control de la fabricación” (Capuz, 2001:20).

Su origen data de los desarrollos de maquinas controladas numéricamente (NC, del ingles, Numeric Control), del final de los años cuarentas y principios de los cincuentas.

El termino CAM se utiliza como denominación general, para los procesos de fabricación automáticos, disciplinas y cualquier otra tecnología de fabricación controlada por computadora que pueda surgir.

En general los elementos más importantes de un CAM son:

- ④ Técnicas de programación y fabricación con control numérico computarizado.
- ④ Fabricación y ensamblaje mediante robots controlados por computadora.
- ④ Sistemas de fabricación flexible.
- ④ Técnicas de inspección asistida por computadora.
- ④ Técnicas de ensayo asistidas por computadora.

## 3.2 Los sistemas CAM.

Para efectos del presente trabajo, al referirse a un sistema CAM, se hace referencia concretamente a aquellos sistemas informáticos que pueden ayudar a generar programas de control numérico, que emplean las maquinas herramienta controladas numéricamente.

Hoy en día, en el mercado hay más lanzamientos de sistemas, con un gran número de complementos.

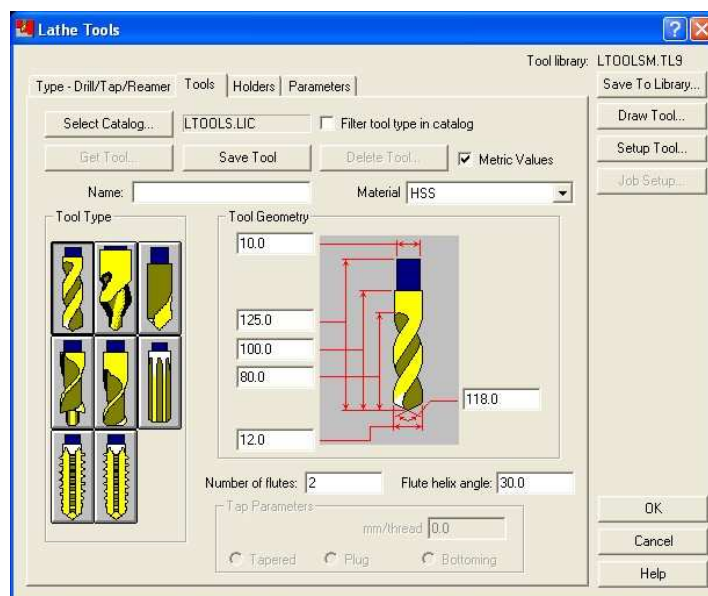
La forma de trabajo en la mayoría de los sistemas es muy similar, por lo regular la mayoría cuentan con módulos de dibujo, que contienen herramientas CAD con las principales entidades de dibujo, con las cuales se pueden diseñar los modelos sólidos de los cuales se realizara un maquinado virtual, o también es posible exportar modelos sólidos de un sistema CAD; lo mas recomendable cuando se trata de un diseño caprichoso, con superficies complicadas, es el exportar el modelo de un sistema CAD a un sistema ya que los sistemas CAD poseen mas herramientas para el modelado.

A partir de la geometría de la pieza, del tipo de operación deseada, de la herramienta empleada y de las condiciones de corte que se den, el sistema calcula las trayectorias de la herramienta para conseguir el mecanizado correcto y a través de un postprocesador genera los programas de control numérico para la programación de maquinas herramientas controladas numéricamente por computadora.

Por lo regular los sistemas CAM, disponen de varios módulos de mecanizado, así disponen de módulos de torneado, fresado barrenado, roscado, modeladores de moldes, procesos de soldadura y el modelado artístico de superficies, son algunos de los módulos mas populares de manufactura.

Los módulos disponen de comandos que permiten definir el tipo de herramienta que va emplear la maquina de control numérico computarizado (ver figura 11), las dimensiones, el tipo de radio de punta, etc. Además que se disponen de bibliotecas con herramientas estándar y algunos sistemas poseen bibliotecas con herramientas exclusivas de proveedores.

Figura 11. Dimensiones de herramienta.



Así, el desarrollo de estos sistemas han ampliado sus capacidades y funcionalidades; existe un gran número de sistemas CAM, pero de los más destacados se encuentran GibbsCAM desarrollado por Gibbs & Associates, EdgeCAM desarrollado por Pathtrance en asociación con Autodesk Inc. Este sistema es un ejemplo de aquellos que cuentan con librerías de herramientas exclusivas ya que permite la simulación del trabajo con insertos Wiper, estos manufacturados por Sandvick Coroban, fabricante de herramientas de corte.

Otro, SurfCAM se caracteriza por ser uno de los sistemas que poseen una completa asociación con sistemas CAD como SolidWorks, Inventor, Unigraphics, Catia y ProEngineer.

MasterCAM, una de las soluciones más completas presenta, presenta el módulo MasterCAM-Art, el cual permite que dibujos en dos dimensiones, fotos y archivos CAD, adquieran relieves y formas en tres dimensiones de manera simple, agilizando la creación de trabajos artísticos mecanizables.

Por último DelCAM, posee un gran número de módulos, PowerMill que es la solución que posee para fresado, PS-Moldmaker un módulo para la fabricación de moldes de inyección y PS-Electrode el cual brinda la posibilidad de diseño de electrodos para procesos de soldadura.

### **3.2.1 Transferencia de archivos CAD, CAM.**

La importación y exportación de archivos CAD es una función fundamental de los sistemas CAM. El comprender la importancia de este proceso es fundamental para la elección de un sistema CAM.

Actualmente los sistemas CAM ofrecen una gran cantidad de nuevas funciones, cada versión nueva trae nuevos beneficios. Pero antes de quedar impresionado por todos los beneficios, hay que asegurarse que puede realizar lo fundamental, y una de las primeras dificultades con las que hay que enfrentarse al emplear un sistema CAM, es la capacidad de poder importar los archivos de CAD.

Pero ¿qué es la importación y exportación de archivos?, por esto se puede entender que es una transferencia de archivos, el cual es un proceso por el cual un formato de datos es convertido en otro.

Una fuente común de errores en archivos de pieza es la recepción incompleta de los diseños, las causas pueden ser varias como la pérdida de información o datos omitidos por el traductor, o que el traductor del sistema CAM no se encuentre totalmente afinado para los formatos específicos de los archivos CAD que este importando. Así se puede ver que el proceso de transferencia de archivos ofrece una gran cantidad de posibilidades de error y de mala comunicación.

Un traductor de CAM bien construido traslada todos los tipos de archivos rápida y de forma precisa. Hay numerosos formatos de archivos en el mercado, como:

- ④ Especificación de intercambio de gráficos inicial (IGES, del inglés, Initial Graphics Exchange Specification)
- ④ Formato de intercambio de dibujos (DXF, del inglés, Drawing Exchange Format),
- ④ [Archivos de esterolitografía](#) (STL),
- ④ Parasolid, (X\_T,)
- ④ Estándar para el intercambio de datos modelo de producto (STEP, del inglés, Standard for the Exchange of Product Model Data).

Además que los fabricantes de sistemas CAD y CAM desarrollan formatos propios para su sistema. Actualmente existen dos tipos básicos de traductores de archivos:

- ④ Neutros.
- ④ Directos.

Los archivos neutros son usados para convertir un formato de datos CAD o CAM de marca, en un tipo de archivo generalmente aceptado como estándar industrial. Los traductores neutros primarios de hoy son el IGES para datos de superficies y el X\_T o SAD, desarrollados para los modelos sólidos.

Así en teoría el utilizar formatos de traductores de archivo neutros es bueno, pero en la realidad cada sistema CAD tiene sus propios y



exclusivos sistemas de almacenamiento de datos geométricos, por ejemplo cada traductor de exportación CAD empezara con un formato neutro, como el IGES al cual adicionara un sello particular, por lo tanto los resultados ya no serán ciertos para todos en la industria. Así un sistema CAM debe interpretar los traductores neutros.

Así han surgido los traductores directos que pueden intercambiar datos usando los formatos de marca de los paquetes de CAD de una forma directa. Con la transferencia directa de archivos se evitan errores de transferencia de datos ya que son eliminados.

Las tendencias futuras en CAM, se dirigen a eliminar un proceso extra de conversión de un estándar neutro a uno mas directo, ya que esta ayuda en el taller a obtener un método mas directo de transferencia de datos.

La Organización Internacional de Estándares (ISO, del inglés, International Standard Organization) ha trabajado con agencias gubernamentales y particulares de todo el mundo para implementar un estándar de transferencia de datos electrónicos llamado STEP. Esencialmente funciona como una plantilla para compartir datos ente múltiples usuarios a través de todas las áreas funcionales.

Hay varias secciones dentro del STEP, llamadas protocolos de aplicación (AP, del inglés, application protocol). Estos AP incluyen definiciones, no solo de elementos típicos de geometría y dibujo, sino también del tipo de datos y procesos para industrias específicas (automotriz, aeroespacial, electrónica, etc.). Pero el AP de uso más corriente es el AP203, que se centro en los elementos geométricos para el CAD mecánico.

Hasta el día de hoy, no hay un estándar definido para la transferencia de datos, por ello en los talleres de manufactura se continua trabajando con varios formatos de CAD, dependiendo de las exigencias del los sistemas CAD de sus clientes y de los propios sistemas CAD y CAM con que se cuenten en el taller.

### 3.3 Control numérico computarizado (CNC).

La evolución del control numérico ha producido la introducción del mismo en grandes empresas, medianas empresas y empresas familiares o pequeñas, lo cual ha generado la necesidad de personal especializado con conocimientos en las técnicas de control numérico computarizado (CNC del inglés, Computer Numerical Control).

Lo anteriormente expuesto es una realidad, por ello es necesario analizar las ventajas e inconvenientes que puede tener el implantar el sistema CNC, así como el conocer que es el CNC. No es objetivo de este tema conocer con detenimiento los sistemas CNC, ya que en sí mismo requiere de un trabajo específico, no obstante cualquier operador y programador en este tipo de tecnología debe de conocer los aspectos básicos de funcionamiento.

¿Qué es CNC? Así como se expone en el título del tema, al mencionar este acrónimo se refiere al control numérico computarizado en una máquina CNC, pero para comprender que es el CNC, hay que entender que es el control numérico.

El control numérico (CN del inglés, Numeric Control), se considera el antecesor del CNC. Así *“se considera al control numérico a todo dispositivo capaz de dirigir posicionamientos de un órgano mecánico móvil, en el que las órdenes relativas a los desplazamientos del móvil son elaboradas en forma totalmente automática a partir de informaciones numéricas definidas, bien manualmente o por medio de un programa”*.

El término “control numérico” se debe a que las órdenes dadas a la máquina son indicadas mediante códigos numéricos.

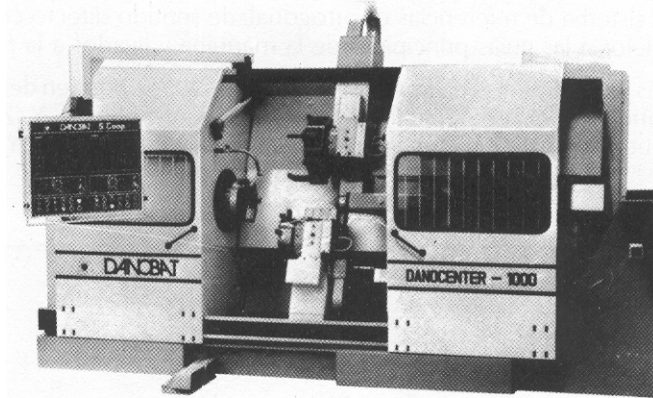
Así el CNC se considera la extensión lógica del control numérico ya que con el avance de la computación, las computadoras, se incluyeron como parte de las máquinas y hoy en día son el corazón del sistema

El CNC tuvo su origen a principios de los años cincuenta en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), en donde se automatizó por primera vez una gran fresadora.

En esta época las computadoras estaban en sus inicios y eran tan grandes que el espacio ocupado por la computadora era mayor que el de la máquina.

Hoy día las computadoras son cada vez más pequeñas y económicas, con lo que el uso del CNC se ha extendido a todo tipo de maquinaria (ver figura 12): tornos, rectificadoras, electroerosionadoras, máquinas de coser, etc.

Figura 12. Centro de maquinado con tecnología de control numérico.



A diferencia de una máquina convencional o manual, la computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto, puede hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales.

Las máquinas CNC son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los tres ejes para ejecutar trayectorias tridimensionales como las que se requieren para el maquinado de complejos moldes y troqueles.

Quizás la primera máquina de control numérico (CN) fue la tejedora de 1752 y después alrededor de 1863, el piano automático (pianola).

Así la máquina tejedora y la pianola, son considerados como los verdaderos precursores del control numérico.

Es conveniente tener en cuenta que el control automático de una fábrica no es más que la última evolución de la revolución industrial que comenzó en Europa hace más de dos siglos y progreso en las siguientes etapas:

- Inicio de la mecanización en 1770 y construcción de máquinas de mecanización simple.

- ④ Mecanismos automáticos permanentes y líneas de transferencia para producción en masa aparecieron a lo largo del siglo.
- ④ Después vino la máquina herramienta con sistemas de control automático simple como los mecanismos que controlan un cabezal porta herramientas.
- ④ En 1942 la Bendix Corporation de los Estados Unidos tuvo problemas con la fabricación de una leva tridimensional para el regulador de una bomba de inyección para motores de avión, perfil imposible de fabricar en máquinas convencionales. Se acordó entonces confiar los cálculos a una máquina automática.
- ④ En 1947 John Parsons, constructor americano de hélices de helicóptero, concibió un mando automático con entrada de información numérica. La idea de utilizar tarjetas perforadas en un lector que permitiera traducir las señales de mando.
- ④ En esta época la fuerza aérea de los Estados Unidos estaba preocupada por la fabricación de piezas difíciles de maquinar por copiado. Gracias a un sistema, Parsons obtuvo un contrato y el apoyo del instituto Tecnológico de Massachussets.
- ④ En 1952 el gobierno americano apoyo la iniciativa para el desarrollo de una fresadora de tres ejes de contorneado mandado por control digital. La introducción del control numérico en este año abrió una nueva era a la automatización.
- ④ En 1953 el ITM utilizó por primera vez el “control numérico”.
- ④ En 1956 la fuerza aérea de los Estados Unidos hace un pedido de 170 máquinas de control numérico a tres grandes compañías:
  1. Cincinnati Milling Machine Company
  2. Giddin & Levis
  3. Kearney & Trecker

### 3.3.1 Ventajas y desventajas en la utilización del CNC.

Los sistemas CNC poseen entre otras las ventajas siguientes:

- ④ Mejora de la precisión, así como el aumento de la calidad de los productos.
- ④ Una mejor uniformidad en la producción.
- ④ Posibilidad de utilización de varias maquinas, simultáneamente por un solo operario.
- ④ Mecanizado de productos de geometría complicada.
- ④ Fácil intercambio de la producción en tiempos cortos.
- ④ Posibilidad de servir productos urgentes.
- ④ Reducción de la fatiga del operario.
- ④ Aumento de los niveles de seguridad en el puesto de trabajo.
- ④ Disminución de tiempos por máquina parada.
- ④ Posibilidad de simulación de los procesos de corte antes de la mecanización definitiva lo que ahorra en piezas defectuosas.

Entre otras se pueden citar las siguientes desventajas:

- ④ Elevada inversión inicial del equipo.
- ④ Necesidad de cálculos, programación y preparación de forma correcta para un eficiente funcionamiento.
- ④ Costos de mantenimiento más elevados, ya que el sistema de control y mantenimiento de los mismos es mas

complicado, lo que genera la necesidad de personal de servicio y mantenimiento con altos niveles de preparación.

- Necesidad de mantener grandes volúmenes de pedidos para una mejor amortización del sistema.
- No es recomendable para pequeñas producciones, es necesario únicamente para producciones en masa.

### **3.3.2 Conocimientos y habilidades para operar los sistemas CNC.**

El amplio uso de las maquinas herramientas de control numérico computarizado y de los sistemas CAM en la industria metalmecánica ha generado una demanda de personas capacitadas en CNC. Las tareas de un operador o un programador varían de un taller a otro, en algunos talleres la persona será responsable, solo de la preparación y operación de la maquina herramienta, en tanto que en otros también puede involucrar la preparación del programa de control numérico que ejecutara la máquina.

A pesar de las cualidades tan avanzadas que puedan poseer los sistemas de control de las máquinas herramienta, en la programación manual surge la necesidad de realizar algunos cálculos matemáticos, bien porque en la fase de diseño no se tuvieron en cuenta las necesidades de programación o bien porque la complejidad de la pieza así lo requiere.

Así en la anterior situación se hace notar claramente que el personal que opere o programe la máquina, debe poseer ciertas habilidades y conocimientos mínimos para poder resolver las dificultades que se le presenten.

Por tanto los operarios de sistemas CNC necesitan disponer de los siguientes conocimientos y habilidades:

- Conocimientos en geometría, algebra y trigonometría.
- Conocimientos de elección y diseño de las diferentes herramientas de corte.

- ④ Conocimientos en los diferentes sistemas de sujeción de las herramientas de corte
- ④ Uso de aparatos de medición y conocimientos de metrología.
- ④ Interpretación de planos.
- ④ Conocimientos de la estructura de la maquina CNC.
- ④ Conocimiento de los diferentes procesos de mecanizado.
- ④ Conocimientos de programación CNC.
- ④ Conocimientos generales de computación.
- ④ Conocimientos de parámetros y condiciones de corte.

## 3.4 Ejes normalizados.

Con el objetivo principal de facilitar la comprensión de la programación en control numérico, es prudente conocer las definiciones que se han dado a los principales movimientos que poseen las maquinas herramientas y en el caso particular de este trabajo el torno.

Para el estudio de programación de las maquinas de control numérico computarizado, los eje de movimiento de estas maquinas se han normalizado, las siguientes definiciones se pueden consultar en la norma ISO 841.

En las maquinas de control numérico se aplica el concepto eje, a las direcciones de los diferentes desplazamientos de las partes como la mesa porta piezas, el carro transversal, el carro longitudinal, etc. Así los ejes son paralelos a los elementos deslizantes de la maquina.

El sistema en que se referencian los ejes, esta ligado a la pieza colocada en la máquina y se le designa por las letras X, Y, Z, carentes del signo ('). El sentido positivo del movimiento de un carro de la maquina es el que da origen a un aumento de la coordenada correspondiente de la pieza.

En las maquinas, los ejes se designan por letras dotadas del signo (') cuando hay desplazamientos de la pieza (herramienta fija). El

sentido positivo de este movimiento es opuesto al designado por la letra no dotada de signo (').

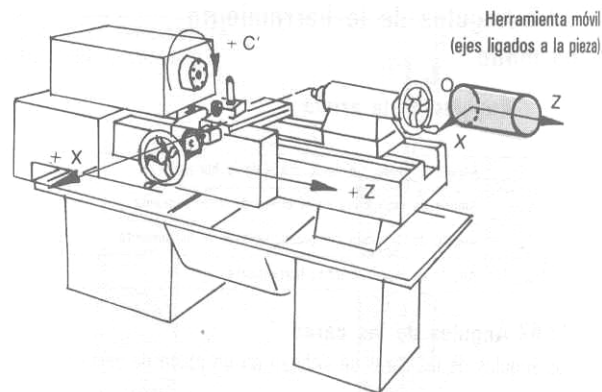
El eje Z, es el eje del husillo que hace gira la herramienta o pieza, en el torno el eje Z es el que realiza el movimiento longitudinal en sentido del eje principal de la máquina.

Para las máquinas que tiene varios husillos, se escoge uno de ellos como husillo principal.

Para las máquinas que no tiene husillo (mortajas horizontales, cepillos, etc.), el eje Z es perpendicular a la superficie de la mesa.

El eje X, es un eje correspondiente a un movimiento de la máquina; es perpendicular al eje Z. En el torno el eje X es el que realiza el movimiento transversal perpendicular al eje de la máquina (ver figura 13)

Figura 13.  
Desplazamientos de ejes en el torno.



El eje Y, es el eje que forma con los ejes X y Z un triedro de sentido directo. Los tornos no poseen este eje.

Las máquinas herramientas de control numérico disponen de diferentes órganos de movimiento lineal para poder programar el movimiento de estos se les ha asignado una letra como se ha mencionado, que será la que después se emplee en la programación, esta asignación de letras esta normalizada no pudiendo ser modificada en ningún caso.

Los signos "+" y "-" no tienen un sentido matemático, sino de dirección.

En los tornos los ejes X y Z se asocian al desplazamiento del carro transversal y carro principal respectivamente, mediante la combinación de movimientos simultáneos de ambos se pueden describir trayectorias oblicuas o curvas (interpolaciones).



Los tornos disponen de un mínimo de dos ejes, pero en trabajos de mecanizado sofisticados se requiere que este dotado de más ejes de desplazamiento la disposición de los carros móviles puede variar; la denominación de un torno según su capacidad de interpolación se describe en la siguiente tabla:

Ejes reales	Ejes interpolados	Denominación CNC
2	2	2 ejes
3	2	2 ejes ½
3	3	3 ejes
4	3	3 ejes ½
4	4	4 ejes
5	4	4 ejes ½
5	5	5 ejes

### 3.5 Programación CNC.

Es cierto que hoy existen programas de CAM, muy versátiles, como se ha mencionado, pero a pesar de ello, el poder realizar una pequeña modificación a pie de máquina siempre será más rápido que tener que retocar el proceso desde la computadora, naturalmente cualquier operario que desconozca el lenguaje de programación de su máquina no podrá realizarlo. Este conocimiento es imprescindible, pues muchos ajustes del programa CAM se tienen que basar en el conocimiento del lenguaje de programación de control numérico.

En la actualidad no es menos cierto que son varios los talleres que programan a pie de máquina, bien porque no disponen de oficinas técnicas adecuadas, o bien porque desde las oficinas técnicas solo se elaboran aquellos programas que requieren ineludiblemente el proceso CAM, por la complejidad o el tamaño del programa de control numérico.

Así la programación es la base del control numérico, conocer y manejar dicha programación es imprescindible para cualquier operario que intervenga en el proceso constructivo, ya sea desde la oficina técnica, hasta el mecanizado a pie de máquina.

Por programa desde un sentido literal entenderemos que no es nada más que una sucesión de órdenes y procesos correlativos,

que tienen que realizarse en el orden lógico establecido y no en otro.

Por ejemplo, cuando alguien decide organizar unas vacaciones, si es previsor y ordenado, realizara un programa de las diferentes actividades a realizar y los lugares que visitara, en un orden adecuado y lógico. Naturalmente siempre existe la posibilidad de viajar sin ninguna previsión y orden.

Así como en los viajes el programador puede escoger la forma en que piensa programar, en los sistemas de programación informáticos, es absolutamente imprescindible tener un orden adecuado e introducir la información correctamente.

Para comprender la programación en control numérico, hay que analizar los diferentes sistemas y estructuras de programación.

En cualquier programa de control numérico, se distinguen siempre dos grandes grupos de información, los cuales son:

- ④ Datos geométricos, los cuales pueden ser, datos dimensionales del contorno final, descripción de los movimientos de la herramienta y posicionamiento en el área de trabajo del cero y puntos de referencia necesarios.
- ④ Datos tecnológicos, los cuales pueden ser; datos de la herramienta, condiciones de corte (velocidad, avance, etc.) y funciones auxiliares de máquina (refrigerante, giros, etc.)

La programación según el tipo de estructura puede dividirse en:

- ④ Programación estructural.
- ④ Programación abierta.

La programación estructural, es aquella que por lo regular se utiliza siguiendo una tabla o estructura de forma más o menos cerrada. Este sistema de programación se utiliza poco, pero algunos de los fabricantes de controles mas importantes han optado por este sistema, por lo cual es necesario conocerlo.

En la figura 14 se puede apreciar la tabla que utiliza el fabricante de controles EMCO, se puede observar en la tabla como las líneas están perfectamente estructuradas y aunque falte algún dato en alguna de las líneas, la casilla se tiene que respetar.

Figura 14. Programación estructural.

N	G	X	Y	Z	M
001	00	200	120		
002	01	210	140		03
003	90				
004	01	210	140	-12	05

La programación abierta es el sistema mas empleado por los principales fabricantes de controles, este es un sistema abierto, esto quiere decir que puede describir líneas con dos caracteres o líneas con hasta 250 caracteres, pero con unas normas imprescindibles a respetar y en el orden de escritura predeterminado.

En la figura 15 se puede apreciar un ejemplo de programación abierta, se puede apreciar la diferencia entre el tamaño de las diferentes líneas e incluso la estructura misma.

Figura 15. Programación abierta.

N100 G90 G01 X20 Y16 Z30 F120 S1200 T2.2 M12
N110 X22 M03
N120 Y5 M5
N130 M30

Según la forma en que se introduzcan los datos se puede dividir en:

- ☑ Programación estándar.
- ☑ Programación conversacional.
- ☑ Programación mixta.

La programación estándar es la forma más habitual, pensada para la programación directa, es el que necesita un mejor conocimiento de las órdenes de programación y la estructura de la misma, por lo tanto requiere de un operario o técnico programador con un buen conocimiento.

La programación conversacional, tal como se puede entender por su nombre, se mantiene una conversación con el control, según la orden que se haya indicado, el control preguntara por lo diferentes datos que se requieran. Así por ejemplo si de programar una interpolación circular (realizar un arco), el control preguntará el sentido en que tienen que girar el arco, e indicara cual es la tecla que tiene que ser pulsada para el sentido escogido.

Este sistema, aparentemente, es en principio el más indicado para programar a pie de maquina o para operarios con poca experiencia en programación, pero una vez que se adquiere la

experiencia, este sistema resulta lento a comparación de la programación estándar.

Por ultimo la programación mixta, es una mezcla de ambas. En la actualidad existen controles que permiten actuar de una manera u otra según la interfase que decida el operario o programador de la maquina.

Según el sistema de escritura del programa se puede dividir en:

- ④ Programación manual a pie de máquina.
- ④ Manual desde el ordenador.
- ④ Realización con sistema CAM.

La programación manual a pie de maquina, es el sistema mas empleado hasta ahora. El operario a partir de plano del diseño escribe el programa directamente en el control. Actualmente es aconsejable realizar la programación a pie de maquina, solamente de aquellos programas que por su sencillez no ofrecen ningún tipo de dificultad, que al operario le resulte fácil de resolver y que no sean muy extensos.

La mayoría de los controles modernos, permiten las simulaciones graficas a pie de máquina, lo que puede facilitar la programación a pie de maquina.

La programación manual desde ordenador, permite la creación de los programas de control numérico de forma totalmente aislada del operario de maquina, en el caso de que el programador no sea el operario. Los programas se escriben a mano tal como se haría a pie de máquina, pero en este caso desde una computadora.

Esto permite tener ciertas ventajas, ya que deja en un solo técnico la programación de varias máquinas simultáneamente, dejando al operario de maquina mucha más movilidad para controlar el proceso de mecanizado, tanto en el ámbito de preparación y gestión de herramientas, preparación de materiales para el siguiente proceso, así como el control directo del mismo.

La realización de los programas con un sistema CAM, es el más potente de los procesos de elaboración de programas CNC y posiblemente es hacia donde se están inclinadas todas las técnicas.

Desde el punto de vista teórico, todo programa se tendría que realizar desde un sistema CAM, pero en la práctica no se demuestra

así, pues existe gran variedad de programas que por su simplicidad generarían pérdida de tiempo creándolos desde un sistema CAM. Donde no existe ninguna duda de la aplicación de un sistema CAM es en la creación de programas de grandes dimensiones o de formas y geometrías muy complejas que resultarían muy difíciles o imposible realizar a mano. Este es caso del mecanizado de 5 ejes y el de alta velocidad, en los cuales se hace imprescindible el uso de un sistema CAM.

### 3.5.1 Sistemas de coordenadas.

Los sistemas de coordenadas se emplean en infinidad de actividades, su finalidad es la de situar un punto de manera concreta o precisa a lo largo de un escenario concreto y perfectamente definido.

En CN, encontramos la misma situación, hay que indicarle a la herramienta las posiciones a alcanzar, dentro del plano definido. En todos los sistemas de coordenadas, es imprescindible marcar un origen con puntos de partida para tener referencias claras, en el CN no es la excepción, por lo que uno de los datos imprescindibles, será definir ese punto.

En los sistemas de CN se utilizan dos tipos fundamentales de coordenadas:

- Coordenadas cartesianas o rectangulares.
- Coordenadas polares.

Dentro de los sistemas de coordenadas rectangulares de CN se distinguen dos tipos:

- Coordenadas 2D (en un plano).
- Coordenadas 3D (en el espacio).

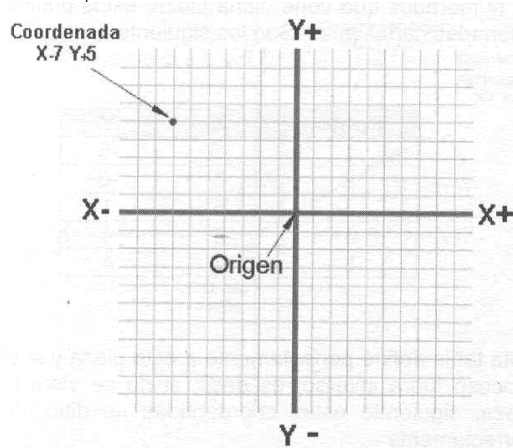
Las coordenadas 2D se emplean fundamentalmente en el torno, pues dispone solo de un plano de trabajo en el que se pueda mover la herramienta.

Las coordenadas 3D quedan exclusivamente para máquinas con mas de dos ejes de trabajo simultáneos, como es el caso de la

fresadora y siempre que el movimiento realizado, se de en los tres ejes.

Las coordenadas 2D o de dos ejes son las que se representan en la figura 16 y tal como se puede apreciar se tienen un punto de partida que se conoce como origen, en el se cruzan los dos ejes, indicando con el signo la dirección de la misma. Es importante recordar que los signo matemáticos + y - no tienen un sentido positivo o negativo sino de dirección, los ejes están graduados para poder determinar un punto concreto.

Figura 16. Coordenadas rectangulares

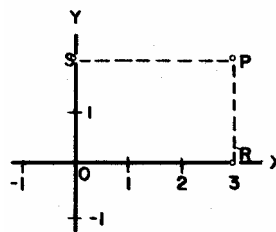


En las coordenadas rectangulares a cada punto en un plano le asociamos una pareja de números, llamados coordenadas, estas coordenadas son simplemente las distancias dirigidas desde un punto a dos rectas fijas, una de ellas horizontal llamada eje x, y la otra vertical, llamada eje y.

Así sea P cualquier punto en el plano y sean R y S las proyecciones de P sobre los ejes x y y respectivamente (ver figura 17). Así la distancia dirigida SP, o bien OR, puesto que son iguales se les conoce como la abscisa o coordenada X del punto P. En forma análoga vemos que la ordenada o coordenada Y del punto P es RP, o bien OS.

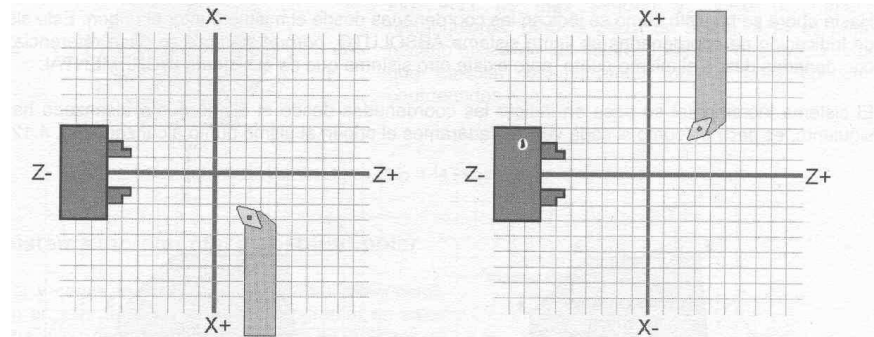
Así la notación X,Y significa que la abscisa del punto P es el numero X y que su ordenada es Y.

Figura 17. Proyección de las distancias de un punto en los ejes.



En caso del torno se da la característica, que dependiendo de la estructura de la máquina, el eje X cambia su sentido de dirección. Esta situación se debe a que el eje X es quien define los diámetros o radios de la pieza si la herramienta se encuentra estructuralmente situada al lado del operario, el signo + se sitúa en este mismo lado, si la herramienta esta situada del lado contrario, el signo más también se sitúa en ese mismo lado (ver figura 18).

Figura 18. Cambio del sentido de dirección del eje X debido a la herramienta

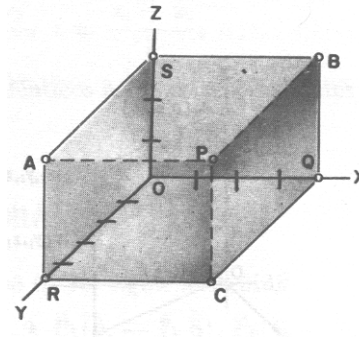


Las coordenadas 3D o de tres ejes, son aquellas que se trabajan a diferencia de las 2D en el espacio y no en un plano, para fijar la posición de un punto en el espacio, se especifican sus distancias dirigidas a tres planos coordenados mutuamente perpendiculares, uno de ellos es horizontal y los otros dos verticales. Estos tres planos se cortan por pares formando tres ejes coordenados, mutuamente perpendiculares, uno vertical el eje Z, y los otros dos horizontales: el eje x y el eje y. Los planos coordenados se designan por los ejes que contienen, así el plano que contiene al eje x y al eje y se llama plano xy.

El punto de intersección de los ejes es el origen.

Así sea P cualquier punto en el espacio y sean A, B, C sus proyecciones sobre los planos YZ, XZ y XY, respectivamente (ver figura 19). En este caso la distancia dirigida AP o bien OQ, es la coordenada x de P. Análogamente la coordenada y del punto P es BP o bien OR; la coordenada z del punto P es CP o bien OS. La notación X,Y,Z es semejante a la empleada en el plano.

Figura 19. Proyecciones de un punto P cualquiera sobre los planos.



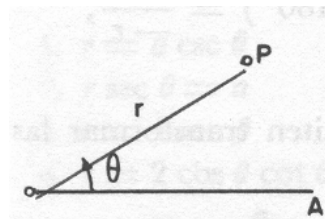
Como se mencionó anteriormente en CN se emplean las coordenadas polares como otro sistema, para situar un punto.

Así se emplean coordenadas rectangulares, un punto queda determinado por las distancias que lo separan de dos rectas perpendiculares, pero la posición de un punto también se puede especificar mediante su distancia y dirección a un punto fijo.

Sea O un punto fijo y OA una semirrecta, que servirá como lado inicial de un ángulo (ver figura 20). Sea P un punto cualquiera, entonces si  $r = OP$  y  $\theta = \text{ángulo AOP}$ ,  $r$  y  $\theta$  son las coordenadas polares del punto P y se emplea la notación  $r, \theta$ . El punto fijo se llama origen o polo.

Así mismo, OP es el radio vector y  $\theta$  es el ángulo vectorial para el punto P.

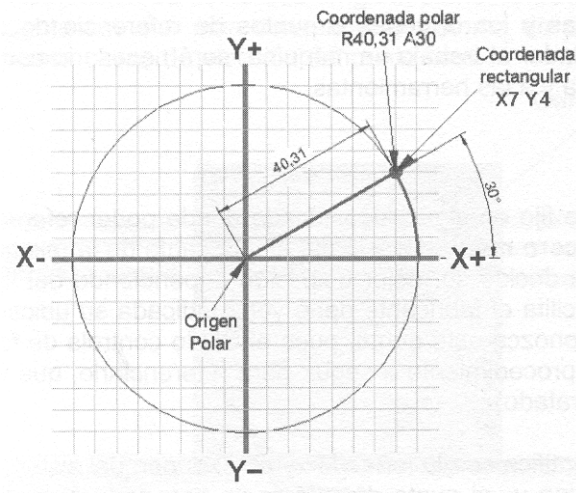
Figura 20. Coordenadas polares.



Las coordenadas polares, no definen puntos diferentes a las rectangulares, lo que hacen es definir el mismo punto usando otros datos (ver figura 21), definen el punto utilizando la apertura de un ángulo con centro en el origen y la longitud del radio que parte del mismo punto.



Figura 21. Definición del mismo punto empleando coordenadas rectangulares y polares.



Las coordenadas rectangulares y las polares se usan para facilitar la programación y no para complicarla, es decir el programador escogerá la que le permita facilitar la tarea de programación.

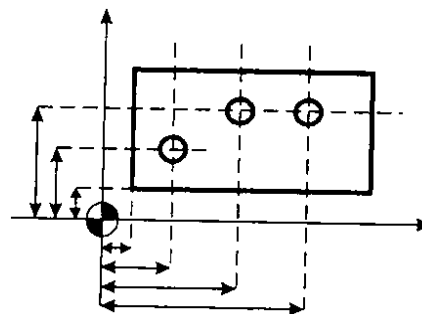
### 3.5.2 Sistema incremental y absoluto.

Ahora que se ha explicado la forma en que se indican las coordenadas es apropiado explicar que en CN hay dos formas de hacer referencia entre las coordenadas:

- ④ Sistema incremental.
- ④ Sistema absoluto.

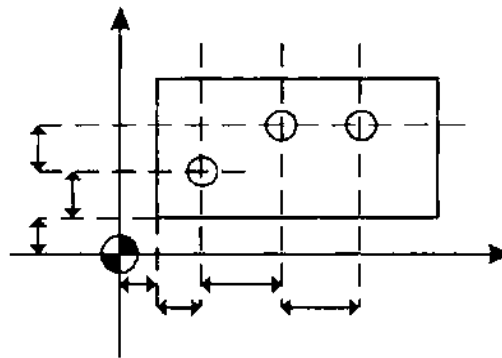
El sistema absoluto, es un sistema de programación en el cual al conjunto de cotas de la pieza por fabricar, parten de un mismo origen, de aquí que todas las cotas partan de un punto de referencia absoluto (ver figura 22).

Figura 22. Sistema absoluto.



El sistema incremental, es un sistema de programación en el cual al conjunto de cotas de la pieza por fabricar se siguen una después de otra. Este sistema se basa en indicar las coordenadas desde el ultimo punto alcanzado hasta el siguiente, es decir es como si cada vez trasladáramos el origen al ultimo punto alcanzado (ver figura 23).

Figura 23. Sistema incremental.



### 3.5.3 Puntos de origen.

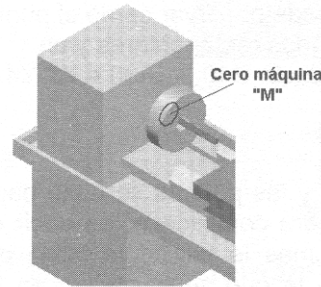
Hasta este momento se han visto los sistemas de coordenadas y los sistemas de referencia, por así decirlo, sobre el papel. Pero cuando hay que comenzar el trabajo en la máquina, es necesario conocer donde esta ubicada la pieza con respecto a la máquina.

Origen maquina o cero máquina, es la denominación que se le proporciona a un punto fijo que es fijado por el fabricante de la máquina herramienta.

El origen máquina se identifica por lo regular con la letra M y es el origen del sistema de coordenadas de la maquina y el punto de referencia para todo el resto de sistemas de coordenadas.

En los tornos suele colocarse en la base interior del plato (ver figura 24) esta suele ser la posición cero del eje z.

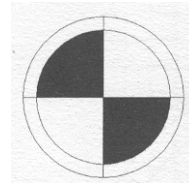
Figura 24. Por lo general el cero máquina en los tornos se ubica en el interior del plato.



Al iniciar la programación de una pieza, el programador debe conocer desde donde referencia todas las medidas de la pieza a diseñar. Ese punto de referencia se denomina cero pieza y es el programador quien decide la ubicación de este punto, por lo tanto lo que debe hacer al iniciar un proceso de programación y mecanización es determinar este punto.

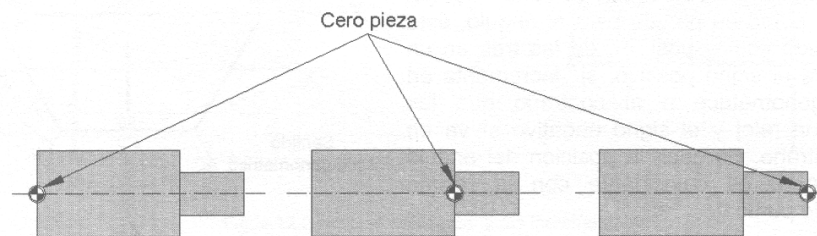
Por lo regular los planos que acompañan a la pieza en su proceso de mecanizado deben tener perfectamente indicado donde esta el origen pieza. Este punto se suele identificar con la letra W (ver figura 25).

Figura 25. Símbolo empleado para identificar, el cero pieza.



En las piezas de torno o 2D, solo es necesario indicarlo en la vista de planta (ver figura 26), en los planos de fabricación, pero en las piezas 3D es necesario indicarlo en dos vistas.

Figura 26. Una misma pieza de torno, pero con diferentes ubicaciones del punto cero.



El programador u operador, debe basar la ubicación del cero pieza en base a la lógica, dependiendo del tipo de pieza, de la distribución de las cotas que tenga el plano de trabajo, así también es apropiado adaptarse al sistema de acotación que más convenga al sistema de programación.

No obstante, el criterio queda definitivamente a elección del programador, así algunos prefieren, en piezas de torno, colocar el cero pieza en la nariz de la pieza, con lo que se consigue, que

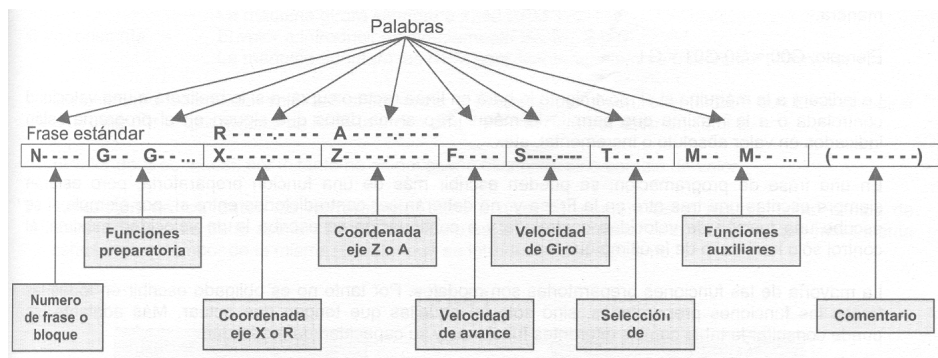
todas las cotas en el eje Z con signo negativo se encuentren dentro del material, en cambio hay quienes prefieren colocar el cero en la testa de la pieza, con lo que se consigue que todas las medidas en Z correspondan a las del plano de trabajo.

### 3.5.4 Estructura de los bloques de programación.

En la actualidad hay una gran cantidad de fabricantes de sistemas y máquinas que emplean el CN. Cada uno de ellos tiene diferentes estructuras de programación, e incluso dentro del mismo fabricante, dependiendo del modelo tienen estructuras diferentes.

En todos los sistemas CN a las líneas o renglones de los programas habitualmente se les conoce como frases o bloques, para este trabajo a cada línea de un programa de CN se les denominara como bloques, independientemente si ocupan una o mas líneas ortográficas.

Figura 27. Estructura de bloque de programación.



En la figura 27, se muestra un ejemplo de un bloque de programación. Existe un gran número de tipos de bloques de programación.

Como se observa el bloque contiene varias letras, las cuales son datos e información para ejecutar alguna acción en el programa.

Los sistemas CNC emplean una estructura de programación para transmitir información del programa a fin de ejecutar los movimientos necesarios para la fabricación de una pieza. En CNC se emplean códigos, estos códigos se reúnen en una secuencia lógica conocida como bloque.

Así como se ha mencionado, existe un gran número de estructura de programación, cada una determinada por el fabricante, pero comúnmente se emplea una estructura de bloques variables que usa palabras (letras). Cada palabra de instrucción está formada por un carácter de dirección, como S, X, Y, T, F, M. Este carácter alfabético antecede datos numéricos utilizados para identificar una función específica de un grupo de palabras, o para dar un valor de distancia o velocidad de avance.

En las frases de programación existen datos conocidos como modales, los cuales una vez activados, es decir escritos, no es necesario repetirlos, solo hasta que sea necesario cambiar el dato, como se aprecia en la figura 28, la estructura superior es correcta, en la estructura inferior se ve el mismo programa pero sin escribir los datos modales.

Figura 28. La primera estructura es correcta pero no es necesario escribir los datos repetidos que son modales.

```
N50 G01 X14 Z27 F120 M3
N60 G01 X14 Z30 F120 M3

N50 G01 X14 Z27 F120 M3
N60 Z30
```

Así es conveniente describir las letras más comúnmente empleadas en la programación:

- Ⓔ N, por lo regular este carácter, indica el número de bloque, por lo regular es obligatorio indicarlo, el número que se le asigna puede ser a capricho del diseñador pero hay que tener en cuenta, que el orden de ejecución se realizara en sentido numérico ascendente.
- Ⓔ G, este carácter representa a los códigos más comunes utilizados en la programación, las funciones preparatorias, son junto con los sistemas de coordenadas, los datos más importantes que se introducen en un bloque. Indica al control todos los datos que utilizara el mismo, para realizar los movimientos de los carros, de todos los sistemas geométricos ordenados. La mayoría de estas funciones son modales.
- Ⓔ X, este carácter representa a las coordenadas x, que en el torno definen la posición de radios y diámetros del mecanizado. El valor de X es un dato modal.

- Z, este carácter representa a las coordenadas y, que en el torno definen la posición de longitudes del mecanizado. El valor de Z es un dato modal.
- F, se emplea para indicar al control a que velocidad de avance deben desplazarse los carros, cuando estén mecanizando a velocidad controlada. Tal como se ha explicado anteriormente existen dos formatos de velocidad de avance, mm/min o mm/rev. El valor de F es un valor modal.
- S, se emplea para indicar la velocidad de giro del plato, indica a cuantas RPM debe comenzar a girar el plato. Este valor como antes se ha mencionado tiene dos formatos, el introducir directamente las RPM o ingresar el valor de Vc que se desea trabaje la máquina. El valor de S es modal.
- T, este carácter se emplea para indicar los datos de herramienta. Desde este dato se tiene la posibilidad de ordenar a la maquina que herramienta cambiar. T es un valor modal.
- M, este carácter se utiliza para las funciones auxiliares. Estas son las encargadas de controlar todos los aspectos auxiliares del mecanizado, tales como la puesta en marcha del cabezal, la marcha de los sistemas de refrigeración, etc. Son junto con las funciones preparatorias las más importantes de la programación. Las funciones auxiliares son modales.

## 3.6 Robótica.

La palabra robot, debido a la ciencia ficción, sugiere la imagen de una máquina de forma parecida a un hombre, que como él puede moverse y ejecutar toda clase de trabajos, dotada de la suficiente inteligencia para responder a condiciones y estímulos de su medio ambiente y actuar en consecuencia.

El robot industrial dista mucho de esta imagen popularizada en la literatura y en los medios de comunicación. Según definición de la RIA (del inglés, Robot Institute of America), un robot industrial es un manipulador reprogramable y multifuncional, diseñado para mover materiales, piezas mecánicas o dispositivos especiales, según varias

trayectorias, programado para realizar tareas variadas de forma automática.

Es decir el robot industrial es una máquina dotada de un elemento móvil que pueden acoplarse distintas herramientas que pueda situar en distintos puntos de trabajo, recorriendo un camino y ejecutar unas operaciones que previamente se han programado e introducido en su memoria. Cambiando el programa se pueden obtener distintos recorridos para realizar otras operaciones en puntos diferentes.

En su concepción actual el robot industrial nace, en su aspecto mecánico, con los telemanipuladores, desarrollados después de la segunda guerra mundial, primeros años 50, para la operación de materiales radioactivos. Se diseñan unos brazos articulados capaces de situarse en distintos puntos del espacio y de llevar acabo diferentes operaciones industriales. Pero son operados manualmente y no disponen de memoria y por tanto de programas de trabajo. Simplemente repiten las acciones que ejecuta el operador.

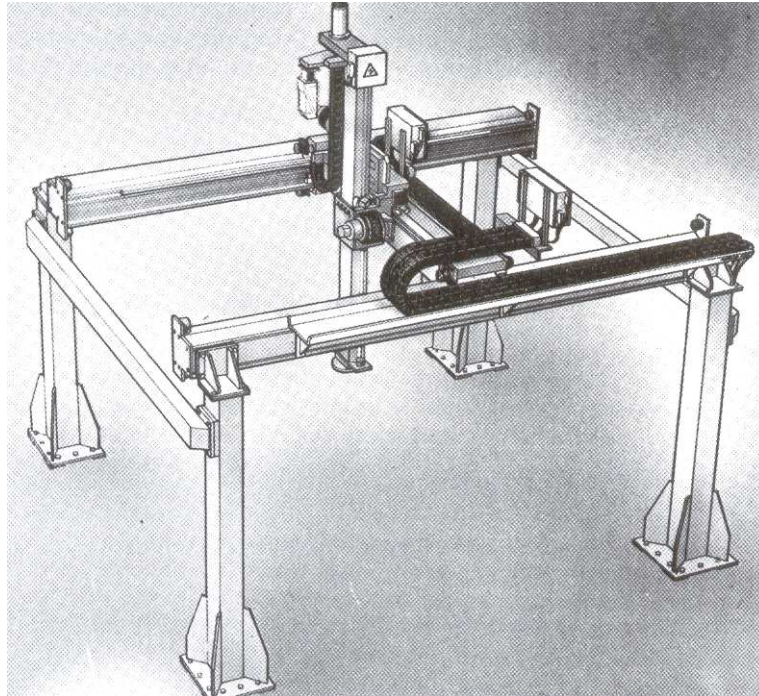
Posteriormente la unión mecánica con los dispositivos que maneja el operador y el que realiza la acción se sustituye por un enlace eléctrico que mediante señales acciona los servomotores del manipulador. El movimiento del brazo pasa a ser controlado según principios del control numérico en las maquinas herramienta y se incorpora el ordenador como un elemento de control. Es principio de los 70.

La incorporación de la electrónica e informática para el gobierno del brazo articulado conforma ya el robot industrial. De mano del desarrollo de la microelectrónica y con incorporación de sensores, se fabrican los primeros robots inteligentes, en el sentido que son capaces de reaccionar según programas a unas ciertas condiciones de entorno. Son finales de la década de los 70.

El desarrollo actual de la tecnología de robots tiende a conseguir:

- ④ Sensores que permitan percibir el entorno a semejanza de los sentidos humanos, especialmente la vista y el tacto. (Ver figura 29)
- ④ Disponer de un nivel de inteligencia artificial que le permita interpretar las señales enviadas por los sensores y adaptar su trabajo a los mismos.

Figura 29. Robot dotado de visión artificial.



### 3.6.1 Requerimientos de los robots industriales.

Para que alcance un robot industrial su mayor efectividad, debe llenar tres criterios: ser flexible para muchas aplicaciones, ser confiable y ser fácil de enseñar.

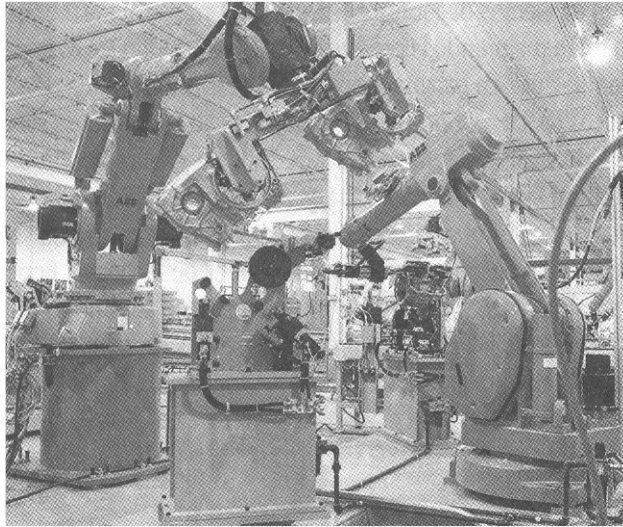
Flexibilidad de aplicaciones. El robot industrial ideal debe ser capaz de llevar a cabo muchas operaciones diferentes. Existen dos clases de aplicaciones donde los robots tienen un uso extenso: aplicaciones de manejo y de procesador.

Para el manejo de aplicaciones los robots deben de estar equipados con algún tipo de dispositivo, como por ejemplo unas tenazas provistas de dedos.

En las aplicaciones de procesamiento los robots ejecutan operaciones como soldadura de puntos, soldadura de costura, limpieza, corte con chorro de agua. O cualquier otra operación donde el robot pueda operar una herramienta para llevar a cabo un proceso de manufactura. (Ver figura 30).



Figura 30. Robots para el manejo y eliminación de rebabas.



Confiabilidad. El robot industrial debe ser muy confiable puesto que va a trabajar en conjunción con maquinaria sensible que se quedaría ociosa si fallara el robot. El robot no solo debe ser confiable sino que también debe tener la capacidad de diagnosticar un problema con rapidez cuando este ocurre, y de ser posible tomar acción correctiva.

Facilidad de enseñanza. Un robot industrial es capacitado por un operador, que debe programarlo o enseñarle a través de la secuencia de pasos o de operaciones necesarias para cada aplicación específica. Esta rutina programada de enseñanza, es necesaria para enseñarle al robot a tomar decisiones lógicas con base en la información generada.

Los robots que son fáciles de enseñar requieren que el operador sepa como programarlos, pero este último no necesita saber como funciona su sistema de control.

## 3.6.2 Aplicaciones industriales para los robots.

Como se menciono con anterioridad el robot industrial esta encontrando muchas aplicaciones donde las tareas son monótonas, físicamente difíciles o ecológicamente desagradables para el ser humano.

Las aplicaciones robóticas más comunes son:

- ④ Carga y descarga de maquinas herramienta (ver figura 31).
- ④ Soldadura. Los robots industriales controlados por computadora pueden hacer soldadura de puntos en carrocerías de automóvil (ver figura 32).
- ④ Mover piezas pesadas.
- ④ Pintura. La pintura de carrocería de automóvil es un ejemplo de una tarea que resultaría ecológicamente desagradable para el ser humano.
- ④ Ensamble. Esta es una tarea muy monótona en la cual los robots tienen gran aplicación.
- ④ Operaciones de maquinado. Algunas operaciones de maquinado repetitivas son ideales para el robot industrial controlado por computadora.

Figura 31. Robot utilizado para cargar y descargar maquinas herramienta.

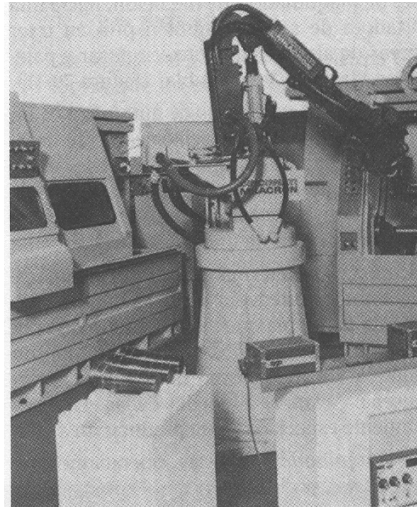
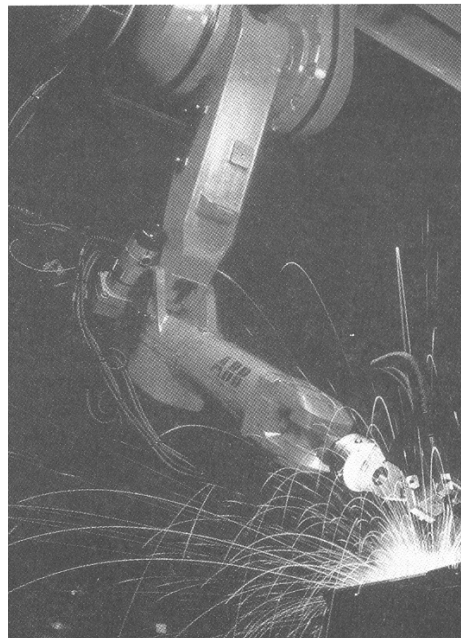


Figura 32. Robot aplicando soldadura.



### 3.6.3 Beneficios de los robots industriales controlados por computadora.

Los robots industriales controlados por computadora ofrecen muchas ventajas y características que los convierten en una herramienta de manufactura industrial muy importante:

- ④ El robot se le puede enseñar con facilidad porque puede ser movido en los distintos sistemas de coordenadas.
- ④ La computadora puede almacenar software de sistema y se le pueden enseñar datos en su memoria. Esto permite una facilidad de edición de programa.
- ④ El robot puede ser puesto en interfaz con otro equipo y puede recibir e interpretar señales de varios dispositivos sensores. También puede proporcionar datos valiosos a una computadora de nivel superior.
- ④ El sistema puede fácilmente modificarse para adecuarse a los cambios de producción.
- ④ La computadora monitorea al robot y al equipo que sirve y en la pantalla aparecen mensajes de diagnóstico para indicar varias situaciones de error. De ser necesario la computadora puede indicarle al robot que detenga la operación.

## 4 Capítulo 4. Proceso de manufactura de superficies de revolución.

En muchas ocasiones se dice que para ser un buen operador y programador de una máquina herramienta de control numérico, antes se tuvo que ser un buen operador de una máquina herramienta convencional. Pero el ser un buen operador de una máquina herramienta, no precisamente quiere decir que lo sea en una máquina herramienta de CNC.

Aun así el tener un antecedente de cómo se realizan las distintas operaciones, se vuelve un gran ayuda.

El conocer las operaciones de una máquina y en el caso de este trabajo, las del torno; puede volverse sin duda una ventaja y la diferencia, desde explotar las capacidades de la máquina al máximo, aumentar la velocidad de manufactura de una pieza o el limitar la creatividad en el diseño.

Históricamente, el torno es considerado el precursor de todas las máquinas herramientas. Es una de las máquinas herramientas más versátiles y posiblemente la más empleada en la industria, *“a mediados de los años 60 se hicieron amplios estudios que demostraron que aproximadamente el 40% de todas las operaciones de corte de metales se llevaban a cabo en los tornos”* (Krar Steve 2005: 335).

Así los cuerpos con superficies de revolución, constituyen partes importantes de máquinas y aparatos, ya sean como tornillos, ejes, poleas, etc. Piezas como estas pueden ser creadas mediante el torno, he de ahí que muchos consideren al cuerpo con superficie de revolución, piezas torneadas.

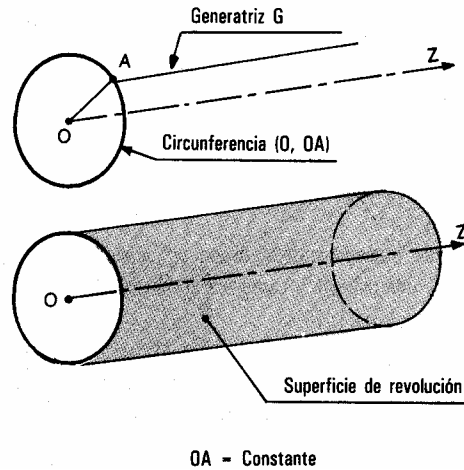
El tener una clara visión de cómo se ejecuta una pieza con superficie de revolución se vuelve una ventaja clara para el programador u operador.

## 4.1 Superficies de revolución.

Al hablar de superficies de revolución, se pueden manejar enfoques tan complejos, como los que se manejan en geometría analítica, los cuales describen las superficies a través de ecuaciones, pero para nuestro interés es conveniente limitarnos a un concepto más sencillo y apropiado a la manufactura, así por superficies de revolución entenderemos como “aquella que es generada por una línea  $G$  (generatriz) que gira alrededor de un eje  $OZ$  al cual esta inevitablemente ligada” (Chevalier, A 2004: 147).

Todo punto en la generatriz describe una circunferencia que tiene su centro en el eje y cuyo plano es perpendicular al eje (ver figura 33).

Figura 33. Principio de superficie de revolución.



## 4.2 Obtención de superficies de revolución.

Sin duda las superficies de revolución tanto interiores como exteriores, se pueden obtener por distintos procesos de manufactura y con máquinas distintas, y es que la diversidad de máquinas que existen, las cuales permiten realizar distintas operaciones es grande, no se diga los centros de maquinado de control numérico que poseen un gran número de herramientas.

Como se ha mencionado a lo largo de este trabajo, para el interés del mismo, el torneado es el procedimiento de mecanizado, por el cual podemos obtener superficies de revolución.

Así en base a la definición que se ha adoptado para superficie de revolución se puede describir dos condiciones para la obtención de la misma, en base a la forma de la herramienta, que la genera.

Existe un gran número de herramientas para el torneado de superficies, y por lo cual también varias formas de clasificarlas, como la geometría, el material con que fueron fabricadas o en función a la operación que pueden efectuar.

Así para poder describir la obtención de las superficies de revolución es conveniente adoptar una clasificación más práctica, en la cual solo tendremos dos tipos de herramientas, de forma y envolvente.

Entenderemos por herramientas de forma, toda aquella que por la forma, las características geométricas y la posición de las aristas cortantes, condicionan el mecanizado que pueden realizar, a solo la forma que poseen (como las herramientas para ranurar). Estas son muy comunes cuando es necesario hacer formas o contornos irregulares en una pieza de trabajo.

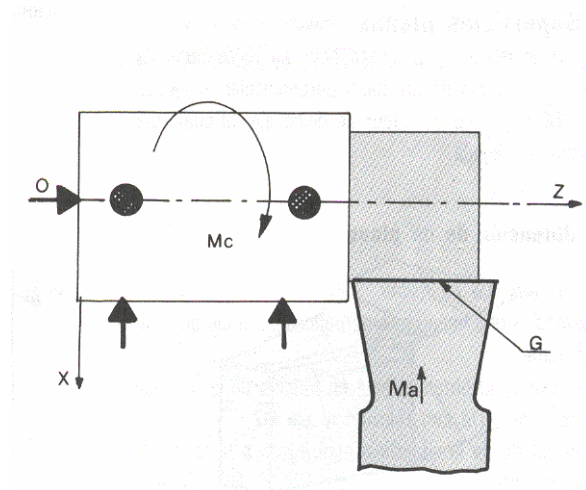
Por las herramientas de envolvente, entenderemos aquellas que por sus características geométricas y forma, están condicionadas para un propósito general y no particular de mecanizado, consiguiendo por su forma, generar un gran número de contornos (como las herramientas para cilindrar).

Empleando esta clasificación, hablaremos de las condiciones de obtención de superficies de revolución.

#### Obtención de superficies de revolución por generatriz rectilínea.

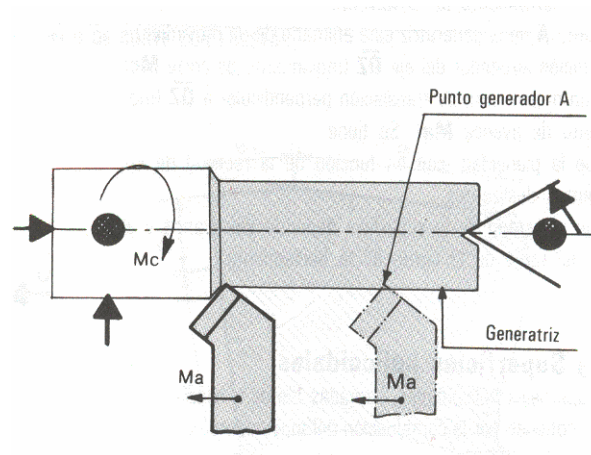
Cuando se emplea una herramienta de forma, se tiene que la generatriz es una recta paralela al eje de rotación, y como características se tienen que la redondez obtenida esta en función de la posición de la arista de corte con relación al eje OZ, y que el estado de la superficie mecanizada esta en función de la arista cortante (ver figura 34).

Figura 34. Utilización de una herramienta de forma.



Cuando se emplea una herramienta envolvente, un punto A de la generatriz esta animado por un movimiento de rotación alrededor del eje OZ (movimiento de corte  $M_c$ ) y de un movimiento de traslación paralelo a OZ (movimiento de avance  $M_a$ ). Así se tiene que la redondez esta en función de la rectitud de los elementos deslizantes y que el estado de la superficie es influido por el avance y el valor del radio de punta de la herramienta (ver figura 35).

Figura 35. Utilización de una herramienta de envolvente.



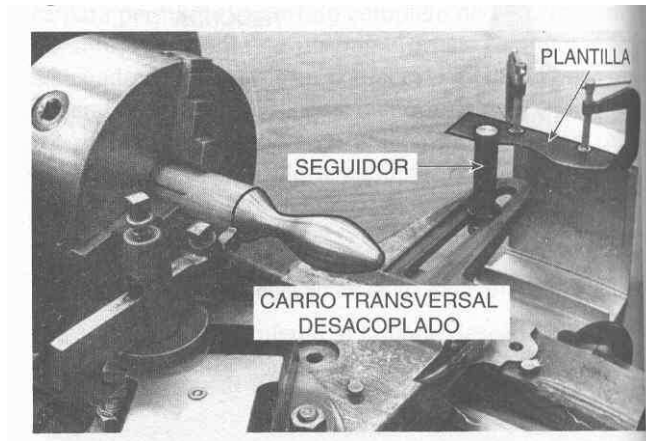
#### Obtención de superficies de revolución con generatriz no rectilínea.

Cuando se emplea una herramienta de forma, se tiene que la forma de la superficie es dada por la misma herramienta, el caso mas común son las herramientas de moleteado, la cual es una operación que imprime un patrón de líneas rectas o en forma de diamante en la superficie de la pieza mecanizada.



Para el caso de emplear una herramienta de envolvente, las formas de este tipo se pueden obtener por medio de dispositivos particulares, tales como el control numérico, en el cual la herramienta genera el perfil a partir de información obtenida a través de una serie de códigos y ordenes. Otra forma es el copiado, procedimiento en el cual un palpador sigue el contorno de una plantilla y comunica el movimiento a la herramienta (ver figura 36).

Figura 36. Por medio de la plantilla se produce una forma especial.



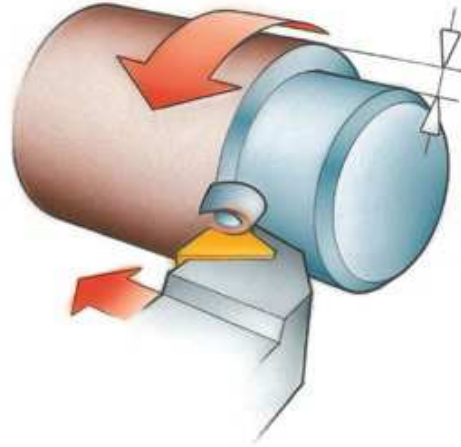
## 4.3 Torneado.

Como se menciona en el nombre de este trabajo de tesis, el torneado es la operación de mecanizado en la cual se centra este capítulo, por lo cual conocer la definición del mismo es importante, así en adelante entenderemos por que el torneado *“es una operación mecánica que consiste en labrar una gran variedad de cuerpos de revolución (cilindros, conos, esferas, etc.), así como filetes de cualquier perfil en una maquina especial llamada torno”* (Lorenz Enrique 1979: 5).

Este trabajo mecánico se efectúa mediante herramientas de corte cuya posición en la maquina es fija verticalmente y cuya posibilidad de desplazamiento lateral les permite separar viruta.

El corte se efectúa gracias a una muy fuerte presión de la arista cortante sobre la superficie trabajada, mientras la pieza esta siempre, animada por un movimiento de rotación (ver figura 37).

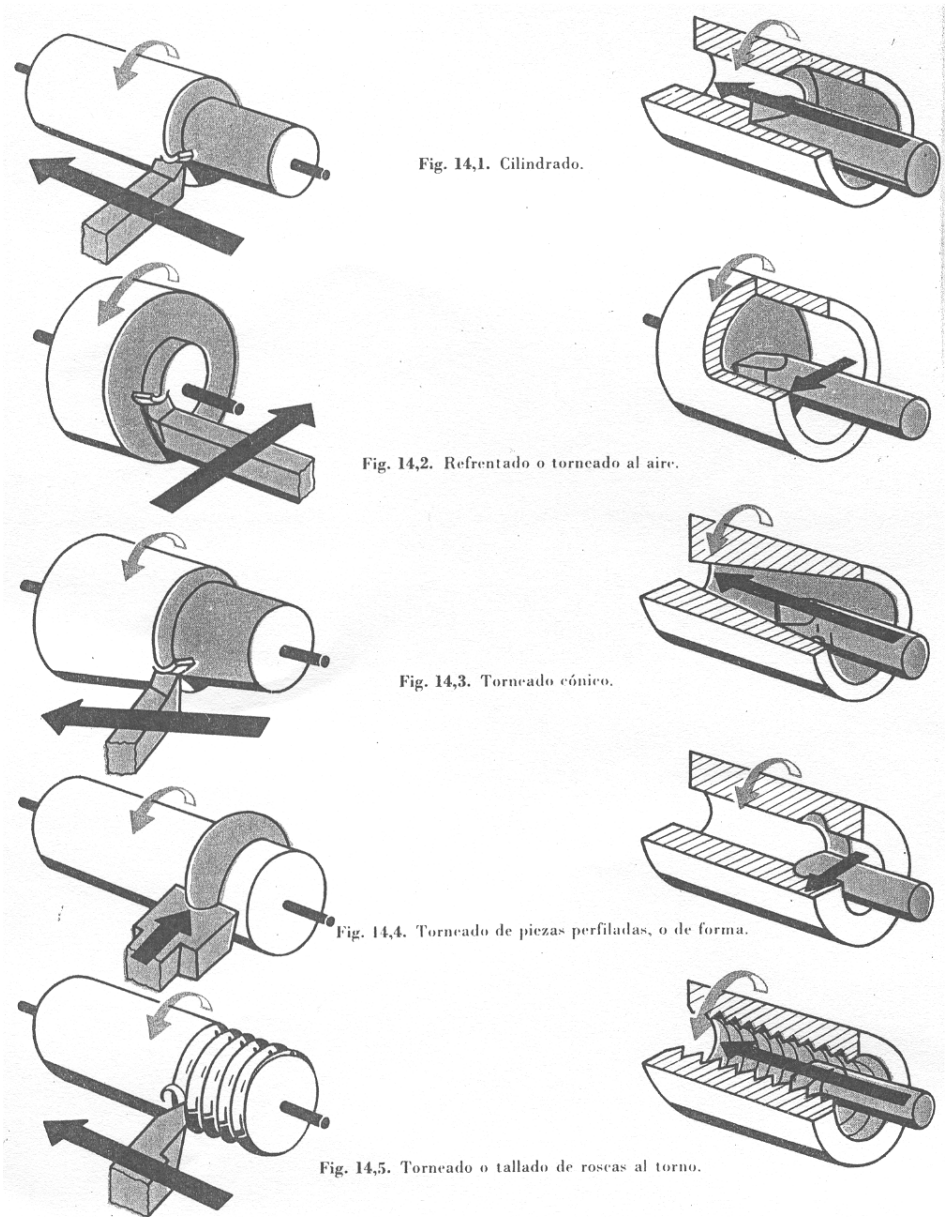
Figura 37. Proceso de torneado



## 4.4 Operaciones de maquinado en el torno.

La diversidad de formas de las piezas de revolución se obtienen mediante distintos procedimientos de torneado. Según que las piezas sean trabajadas exterior o interiormente se habla de *torneado exterior* o de *torneado interior*. Las piezas cilíndricas se obtienen mediante torneado longitudinal o de *cilindrado*, las superficies planas mediante *refrentado* o torneado al aire, los conos mediante torneado *cónico*, las piezas perfiladas, o de forma, mediante torneado de forma, las roscas mediante *roscado* o tallado de roscas al torno. (Ver figura 38).

Figura 38. Procedimientos de torneado.



### 4.4.1 Careado o refrentado.

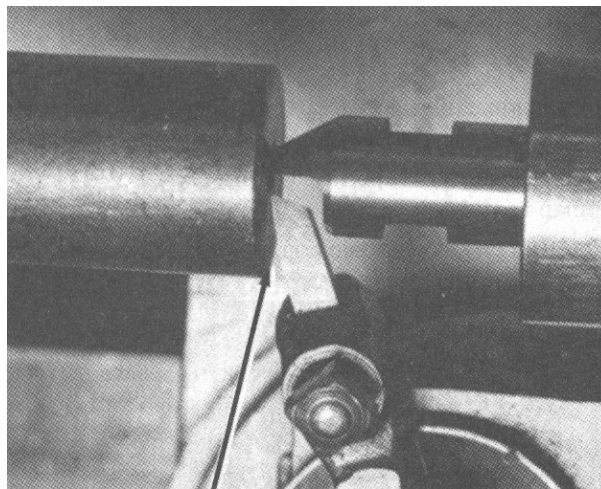
El careado entre centros es una de las operaciones mas importantes en un taller de maquinado.

Las piezas de trabajo que deben maquinarse por lo general se cortan un poco mas largas de lo necesario y después se carean en los extremos. El careado es la operación de maquinar los extremos de una pieza de trabajo en ángulo recto con respecto a su propio eje. Para producir una superficie plana y escuadrada.

Los propósitos del careado son:

- ④ Proporcionar una superficie recta y plana a escuadra con respecto al eje de la pieza (ver figura 39).
- ④ Proporcionar una superficie precisa a partir de las cuales tomar medidas.
- ④ Cortar la pieza de trabajo a la longitud requerida.

Figura 39. Careado.



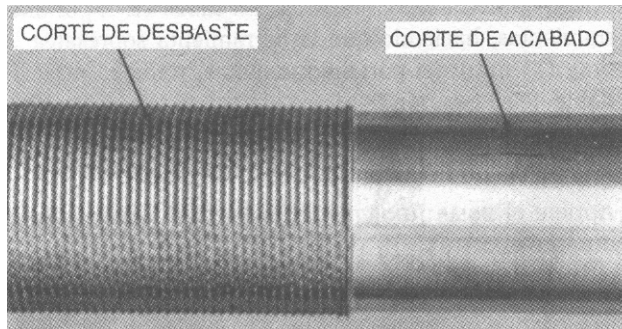
## 4.4.2 Torneado paralelo o cilindrado.

Por lo general, la pieza de trabajo se maquina en el torno por dos razones: para cortarlo al tamaño y para producir un diámetro preciso. Una pieza de trabajo que debe cortarse al tamaño y tener un mismo diámetro a lo largo de toda la pieza involucra la operación de torneado paralelo. Muchos factores determinan la cantidad de material que puede eliminarse con el torno de una sola vez. Siempre que sea posible el diámetro debe cortarse a su tamaño en dos pasadas: un corte de desbaste y un corte de acabado. (Ver figura 40).

- ④ Torneado de desbaste. Este elimina tanto metal como sea posible en el periodo de tiempo más corto. La precisión y el acabado superficial no son importantes en esta operación.

- Torneado de acabado. El torneado de acabado que siguen al torneado de desbaste, produce una superficie lisa y corta la pieza de trabajo al tamaño preciso. Factores como el estado de la herramienta de trabajo, y las velocidades y avance del torno afectan el tipo de acabado superficial producido.

Figura 40. Corte de desbaste y corte de acabado.

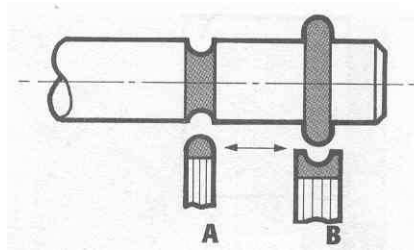


### 4.4.3 Torneado de formas.

A menudo es necesario hacer formas o contornos irregulares en una pieza de trabajo. El torneado de forma puede realizarse en un torno mediante varios métodos:

- A manos libres. El torneado de forma a manos libres probablemente representa el mayor problema para el operador de torno principiante. Se requiere de la coordinación de las dos manos y la práctica es importante para dominar esta actividad.
- Con una herramienta de torneado de forma. Los radios y contornos más pequeños se forman de manera conveniente en la pieza de trabajo mediante una herramienta de corte de formas (ver figura 41). La herramienta del torno se afila al radio deseado y se utiliza para formar el contorno sobre la pieza. Las herramientas también pueden afilarse para producir un radio cóncavo. Este método para formar radios y contornos elimina la necesidad de verificar con un calibrador o plantilla una vez afilada a la forma deseada.

Figura 41. Torneado mediante una herramienta de forma.



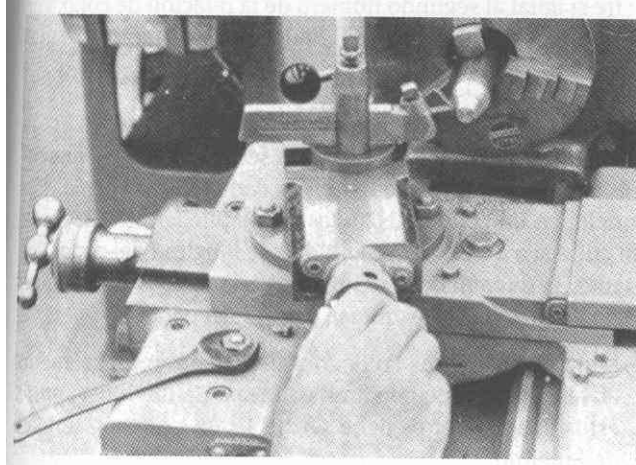
Para producir un buen acabado superficial mediante este método, la pieza de trabajo debe girar lentamente. La herramienta debe avanzar lentamente hacia la pieza de trabajo mientras se aplica aceite de corte.

#### 4.4.4 Torneado de conos.

El torneado de conos en un torno puede realizarse con la pieza sostenida entre centros o con el mandril del torno. Existen tres métodos para producir conos:

- Desplazando el contrapunto. En general este método se utiliza para tornear un cono cuando no hay un aditamento para conos disponible. Implica mover el centro del contrapunto fuera de línea en relación con el centro del cabezal. Sin embargo la distancia a la que puede desplazarse el contrapunto es limitada. Este método no permite que se torneen conos de gran pendiente o conos estándar en el extremo de piezas de trabajo largas.
- Utilizando el aditamento para conos. El uso de un aditamento para conos para el torneado de conos proporciona ventajas como en que la longitud de la pieza de trabajo no importa ya que pueden tornearse conos de cualquier longitud y además pueden producirse conos internos mediante este método. Existen dos clases de aditamentos para conos, el aditamento simple y el telescópico.
- Utilizando el carro auxiliar. Para producir conos cortos o de gran pendiente medidos en grados, se utiliza este método. La herramienta debe ser avanzada a mano, utilizando la manivela de avance del carro auxiliar (ver figura 42).

Figura 42. Torneado cónico utilizando en carro auxiliar.



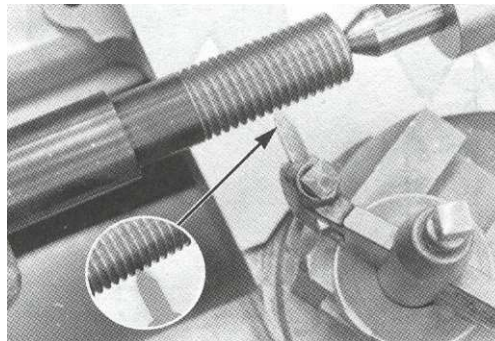
## 4.4.5 Torneado de roscas.

El corte de roscas es una de las operaciones más interesantes que se realizan en el torno. Involucra la manipulación de las partes del torno, la coordinación de las manos y una estricta atención a la operación (ver figura 43).

Es un proceso que produce una cresta helicoidal de sección uniforme sobre una pieza de trabajo. Se lleva a cabo haciendo cortes sucesivos con una herramienta de roscado, con la misma forma de la rosca requerida.

Las piezas que se van a roscar pueden sostenerse entre centros o en un mandril. Si la pieza se sostiene en un mandril debe tornearse al tamaño y roscarse, antes de retirar la pieza.

Figura 43. Corte de una rosca.





## 4.4.6 Torneado interior o mandrinado.

El torneado de interiores es la operación de agrandar y rectificar una perforación taladrada o colada utilizando una herramienta de corte de una sola punta (ver figura 44). Se pueden producir perforaciones de diámetro especial, para los cuales no hay brocas disponibles.

Los diámetros interiores se pueden efectuar en un torno; sin embargo, estas perforaciones generalmente no se consideran precisas, aun cuando la broca se halla iniciado en línea recta. Durante el proceso de taladrado la broca puede desafilarse o puede encontrarse con una zona dura o con un poro en el metal lo que causa que la broca se desvíe o se salga del centro. Si esta operación se rima, la rima o escariador seguirá la perforación taladrada y, como resultado la perforación no será en línea recta. Por lo tanto si es importante que una perforación rimada sea recta y correcta, la perforación debe primero taladrarse, después tornearse internamente y a continuación rimarse.

Figura 44. Torneado interior.



## 4.5 Parámetros tecnológicos del mecanizado.

Es fundamental conocer los factores y condiciones tecnológicas que afectan al mecanizado, ya que es fundamental para poder operar una maquina herramienta de forma eficiente, sin importar que esta sea convencional o de control numérico.

Para efectos de este trabajo de tesis, solo se trataran los factores y condiciones de mecanizado para el proceso de torneado, procurando describir como afectan, al mecanizado en las maquinas herramientas de control numérico, ya que como se ha



ido viendo a través de los temas, este trabajo está inclinado hacia el uso de tecnologías actuales.

Antes de realizar un programa para el mecanizado de alguna pieza, es importante tener en cuenta varias condiciones, he introducirlas correctamente en los programas de control numérico.

Así los factores a tener en cuenta son los siguientes:

- ④ Capacidad de la máquina.
- ④ Prestaciones de la herramienta.
- ④ Uso de refrigerante.
- ④ Características del material a mecanizar.
- ④ Acabado superficial.
- ④ Presión.

Los parámetros tecnológicos necesarios son:

- ④ Velocidad de giro del cabezal o husillo.
- ④ Velocidad de corte.
- ④ Velocidad de avance.
- ④ Profundidad de corte.
- ④ Sistema de sujeción de la pieza.
- ④ Sistema de cambio de herramientas.

Los mencionados anteriormente son los principales puntos a tener en cuenta antes de comenzar a trabajar, los cuales siempre deben ser contemplados por el diseñador o ingeniero, ya que serán las limitantes para la fabricación de cualquier diseño.

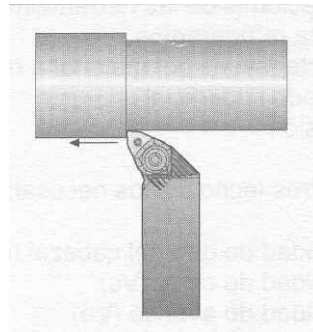
La mayoría de los factores mencionados, son aspectos con los cuales el diseñador de una pieza no tiene que involucrarse profundamente, a menos que el también sea el programador de la máquina, ya que corresponden más al operador, por lo cual no se explicaran.

Con esto no se debe entender que el diseñador no los debe conocer, de hecho el debe tenerlos siempre presentes, sin duda ahorrara muchos cambios a futuro en el diseño.

## 4.5.1 Velocidad de avance.

La velocidad de avance ( $V_a$ ) en el torneado corresponde al desplazamiento de la herramienta en la dirección del mecanizado (ver figura 45), en el control numérico se puede expresar de dos formas para la programación, milímetros por minuto (mm/min) y milímetros por revolución (mm/rev).

Figura 45. Velocidad de avance.



Así la programación por control numérico permite, que la velocidad de avance se pueda trabajar de estas dos formas. Normalmente es común, trabajar la velocidad de avance en mm/min, debido a que en el momento de mecanizar una pieza, permite variar este valor o el de las revoluciones por minuto, con lo que se puede aumentar o disminuir la pasada por vuelta, esto beneficia a la herramienta o a el acabado de la pieza.

Esta se calcula, condicionada por el avance de la herramienta, dependiendo esta del material a cortar, acabado de la pieza y tipo de herramienta a utilizar.

En el caso que dispongamos del valor de la velocidad de avance en mm/rev de la herramienta y la velocidad de giro del husillo, podemos recurrir a la siguiente formula para obtener el dato en mm/min,

$$Va(\frac{mm}{min}) = Va(\frac{mm}{rev}) \times rpm$$

El formato de mm/rev, en realidad se emplea poco, debido a que no permite variar durante el mecanizado la pasada por vuelta, pues si se varían la rpm, también variara en la misma proporción la  $V_a$ . Este formato se emplea fundamentalmente en series largas donde

la experimentación en el mecanizado esta suficientemente contrastada.

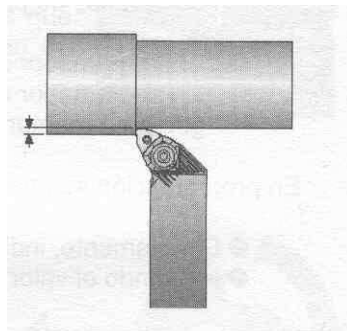
Aun así, si la información se proporciona en mm/min y, si la programación hay que realizarla en mm/rev se puede recurrir a la siguiente formula inversa a la anterior:

$$Va(\text{mm/rev}) = \frac{Va(\text{mm/min})}{rpm}$$

## 4.5.2 Profundidad de corte.

Es la distancia que hay desde la punta de la herramienta hasta el limite superior de la zona de la pieza donde se este mecanizando, formando siempre una perpendicular con el eje de trabajo (ver figura 46).

Figura 46. Profundidad de corte.



Si se realiza la pasada longitudinalmente (de forma horizontal), este parámetro equivale a la diferencia entre la coordenada vertical del punto cero herramienta y el tamaño de la pieza después del corte.

Los fabricantes de herramientas de corte recomiendan las profundidades adecuadas de pasada máxima aconsejable que se debe emplear en cada tipo de herramienta. Por lo que nunca es aconsejable superar este valor, así también se puede dar el caso donde se recomienda un mínimo de pasada.

Siempre es recomendable en un mecanizado de desbaste, repartir equitativamente el número de pasadas a realizar.

También si el material que se tiene que mecanizar presenta dificultades, por su constitución o por ser un material de poco índice de maquinabilidad, la profundidad de corte no debe ser excesiva a fin de no generar fuerzas de corte elevadas que generen altas temperaturas o superen las posibilidades del motor.

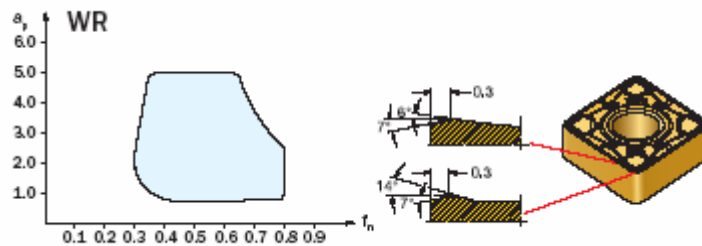
### 4.5.3 Velocidad de corte y velocidad de husillo.

La velocidad de corte o velocidad tangencial, es la velocidad que existe en el punto de contacto entre la herramienta y la pieza de trabajo, por así decirlo es el movimiento principal y es la velocidad con que se mueve la pieza contra la arista cortante de la herramienta de corte.

La velocidad de corte influye directamente en la vida útil de la herramienta y los acabados superficiales. Si la  $V_c$  es demasiado elevada, el filo de la herramienta de corte se romperá o desgastará más rápido y con una  $V_c$  demasiado reducida, se perderá tiempo en la operación de maquinado, lo que producirá velocidades de producción bajas.

Es el factor más importante a tener en cuenta en el momento de realizar los cálculos necesarios, por lo que dicho factor está muy bien definido por los fabricantes de herramientas (ver figura 47). Por suerte en base a investigación y pruebas los fabricantes de herramientas de corte, recomiendan las  $V_c$  para los distintos tipos de herramientas, estas velocidades varían dependiendo el tipo de material y tipo de herramienta.

Figura 47. Zona recomendada por fabricante de herramientas.



El valor que tenga  $V_c$ , define el número de revoluciones a aplicar en la pieza.

Existen dos formas de programar las velocidades de corte en el programa de control numérico. El programador determina la velocidad de giro (en rpm), más favorable para cada diámetro, o el programador establece una velocidad de corte constante en mm/min, el programa calcula y ajusta la velocidad de giro del husillo para mantenerla estable en los diferentes diámetros de la pieza.

La velocidad de giro del plato es un aspecto importante a controlar y ligado a la velocidad de corte, para ello en la programación por control numérico se puede expresar de dos formas, la primera es indicando directamente el valor en rpm en el programa, la segunda forma, es conociendo la velocidad de corte e indicar este valor en el programa, el control calculara en cada momento las rpm.

Como se puede apreciar, estas velocidades están ligadas dependiendo una de la otra, así las relaciones entre velocidad de giro del cabezal y la velocidad de corte se establece mediante las siguientes ecuaciones:

$$V_c = \frac{\pi \times D \times N}{1000} \quad \text{Calculo de la velocidad de corte.}$$

$$N = \frac{1000 \times V_c}{\pi \times D} \quad \text{Calculo del número de revoluciones.}$$

Siendo:

$V_c$  = Velocidad de corte, mm/min.

$N$  = Velocidad de giro del cabezal, rpm.

$D$  = Diámetro de torneado, mm.

## **5 Capítulo 5. Integración CAD, CAM, CAE, soluciones de alto nivel.**

Actualmente se están dando una serie de cambios, en la industria que obligan a las empresas a buscar diferentes alternativas, tanto administrativas, humanas y tecnológicas, que les permitan ganar ventajas competitivas y facilitar su permanencia en el mercado.

Esta tendencia exige a los manufactureros a trabajar con procesos más flexibles, para introducir cada día más y mejores productos. De esta manera si las compañías quieren competir en un ambiente cada vez más dinámico, se verán presionadas tarde o temprano a adoptar nuevas tecnologías.

Por lo regular el adquirir una nueva tecnología implica con frecuencia la incorporación de nuevas filosofías de operación, mismas que mejoren la cultura y la eficiencia del trabajo.

Las tecnologías CAD, CAE y CAM, son un ejemplo de cómo la renovación de las tecnologías, ayuda a garantizar la calidad del producto, a mejorar la flexibilidad y productividad, a hacer mas eficiente la comunicación y a incrementar la velocidad de acceso y procesamiento de la información.

Por ello el presente capítulo a sido elaborado para presentar la forma en que las técnicas CAD, CAE y CAM se integran para favorecer al diseño y la manufactura de piezas de superficie de revolución. Específicamente al proceso de torneado, ya que la información recabada en este trabajo se ha enfocado hacia dicho proceso de manufactura.

Así en este capítulo se pretende a través de un ejemplo describir como se emplean las distintas técnicas descritas en este trabajo para lograr simular virtualmente la manufactura de una pieza de superficie de revolución.

## 5.1 Integración CAD.

En este capítulo se propone el diseño de una manija, un elemento de maniobra, que se emplea por lo general en los volantes de distintas maquinas para transmitir movimiento.

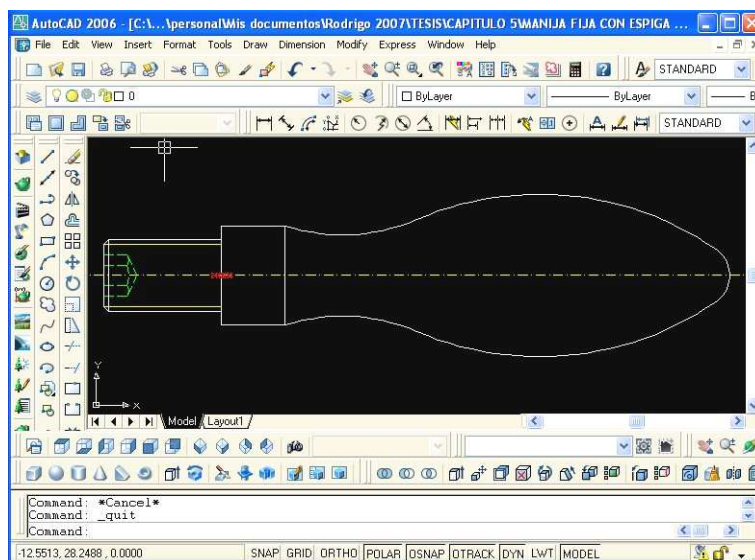
La elección de este producto viene determinada por ser un elemento el cual tiene una superficie de revolución por lo cual puede ser fácilmente mecanizado en un torno, es un elemento destinado a proporcionar movimiento, por tanto sometido a cargas, el cual se puede analizar de forma sencilla.

Expuesto el problema hay que comenzar con la integración. Por integración puede entenderse que el sistema sea capaz de leer archivos nativos y convertirlos a un formato que sea compatible.

Para comenzar, se tiene el diseño de la manija en un sistema CAD 2D, en este caso AutoCAD (ver figura 48), el diseño es un dibujo bidimensional, del cual se aprovechara la información, para exportarlo aun un sistema 3D, en este caso se empleara SolidWorks.

En muchas empresas existe el temor de que ya no se puedan emplear los datos de diseños anteriores con eficacia, por ello es importante verificar la plena integración que tenga el sistema 3D con el anterior sistema 2D. En este caso SolidWorks es un una solución para diseño con la capacidad de importar los archivos de AutoCAD.

Figura 48. Diseño de la manija en AutoCAD.



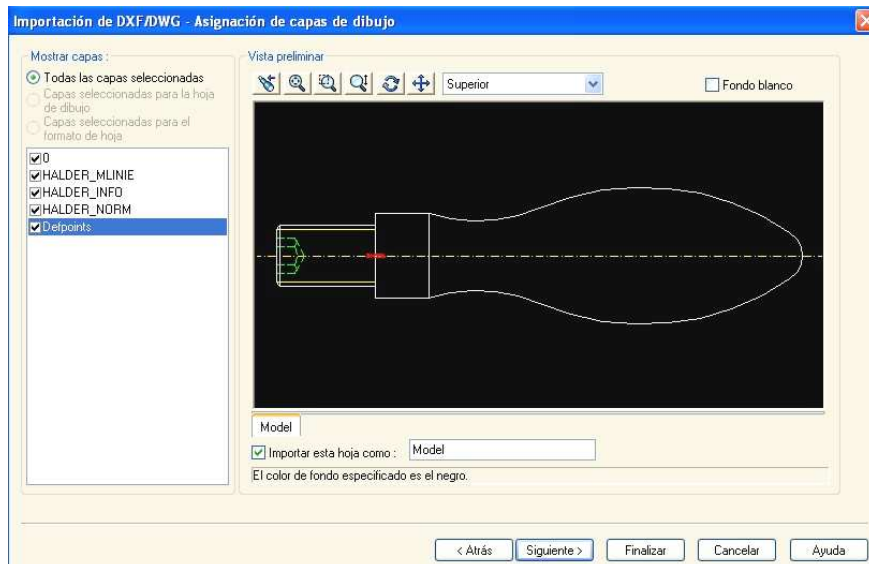
SolidWorks es un programa de modelado en 3D, el cual posee una amplia asociatividad e integración con otros programas. Este cuenta con un modulo para la importación de archivos DWG y DXF. En la figura 49 siguiente se aprecia una ventana en la cual se ingresa la opción de importar una pieza.

Figura 49. Ventana para la importación de dibujos 2D o sólidos 3D.



En la figura 50 se observa como se seleccionan las capas o elementos que se importaran, por lo general en AutoCAD a las entidades de dibujo como líneas, círculos, etc., adquieren propiedades al asignarles una capa, así seleccionando las capas adecuadas se importan los elementos deseados.

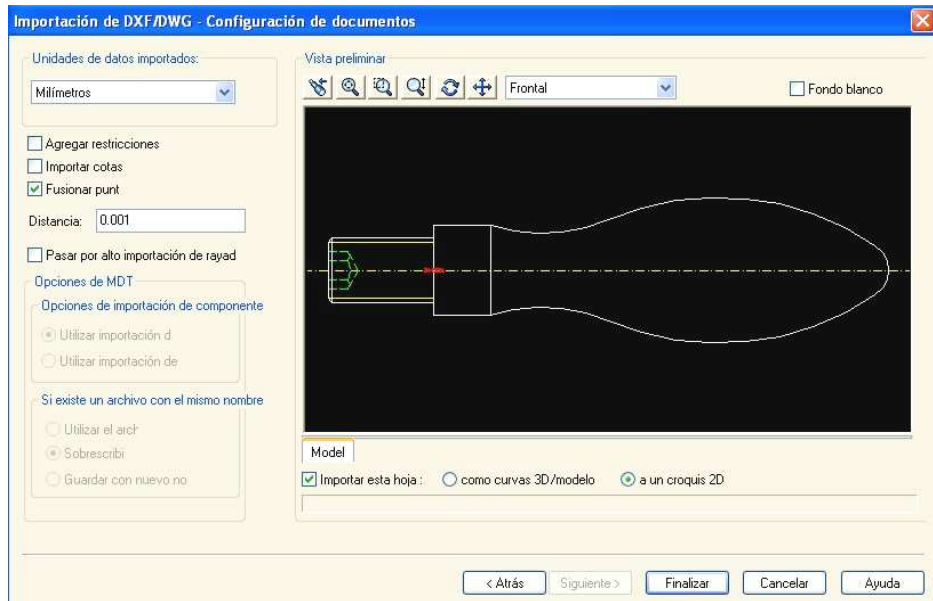
Figura 50. Ventana para la importación de capas del dibujo en 2D.





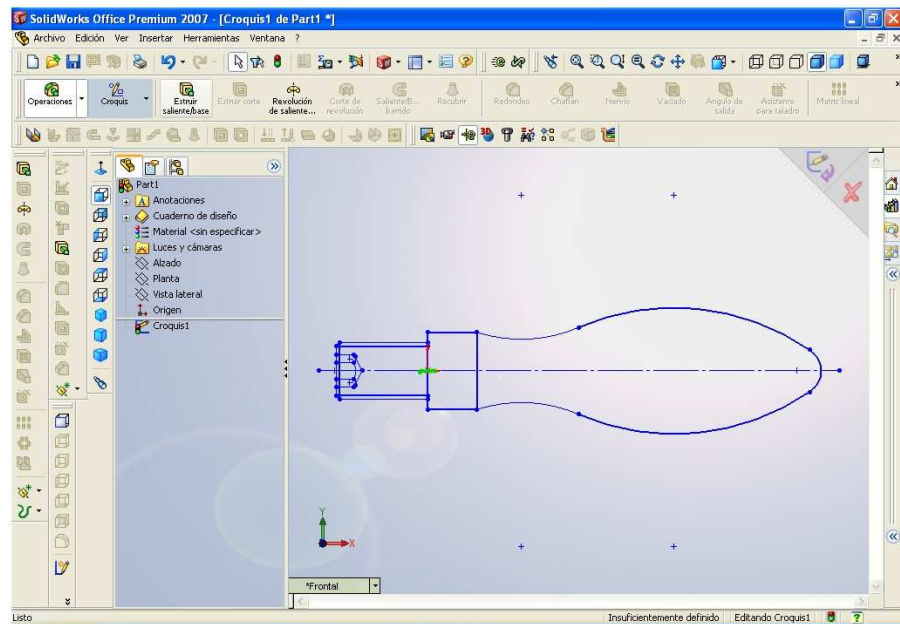
Continuando con el proceso de importación en la imagen 51, se aprecia una ventana en la cual se plantean las opciones para importar la información, como unidades de datos, el tipo de importación sea un croquis o un modelo tridimensional, importación de cotas, etc.

Figura 51. Ventana para la importación de dibujos 2D o sólidos 3D.



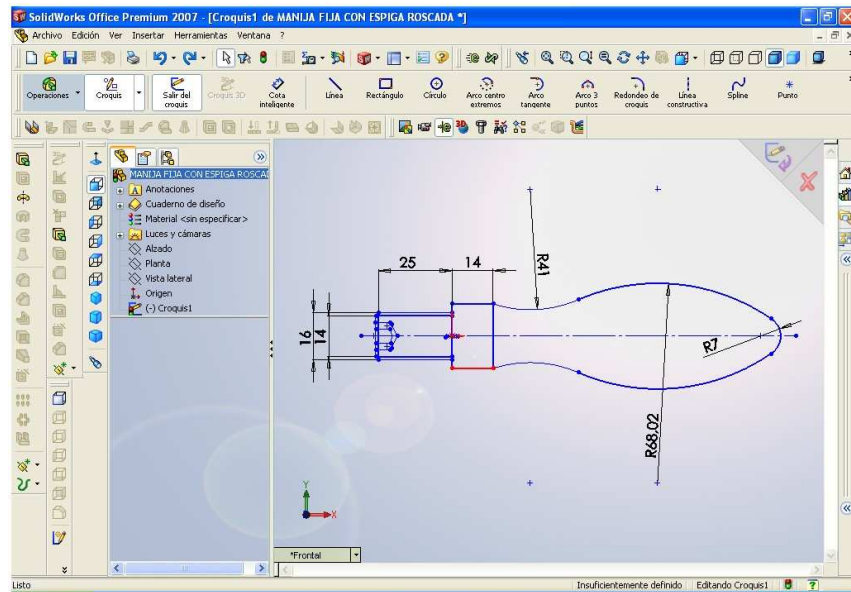
Una vez terminada la importación, la información del diseño se ha exportado, como un croquis (ver figura 52). Con esta información se puede realizar la transición del 2D al 3D, editando la información importada.

Figura 52. Entidades importadas de AutoCAD a SolidWorks.



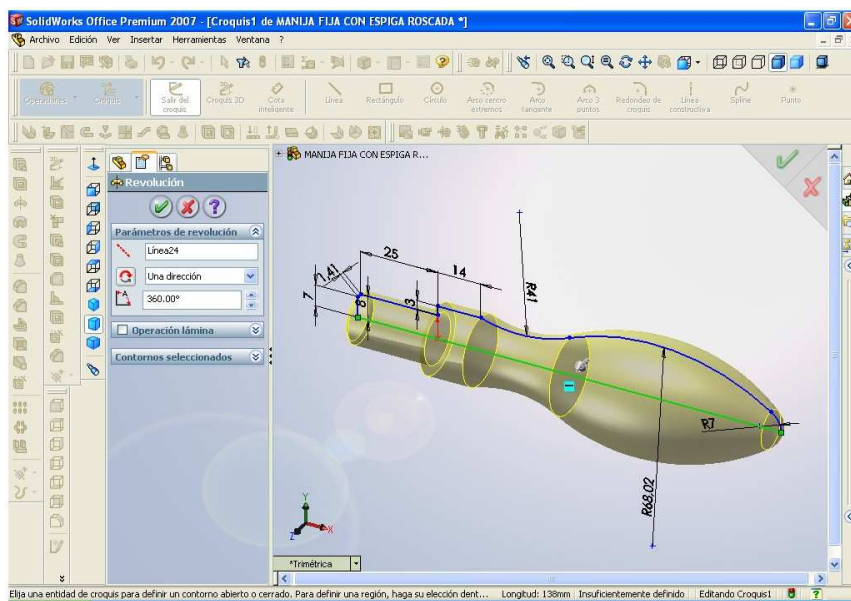
SolidWorks es un sistema que incorpora la filosofía del diseño paramétrico y variacional, como se explico en el capítulo uno, al croquis se le asignan parámetros y relaciones a cada característica (ver figura 53). Esto con el fin de establecer los parámetros fundamentales que son aquellos que fijan la forma y características básicas del diseño de la manija.

Figura 53. Empleando el diseño paramétrico se asignan parámetros, como por ejemplo los radios.



Una vez establecidos los parámetros y las relaciones entre ellos se edita el croquis para emplear una herramienta de edición de sólidos, llamada revolver. Esta herramienta a partir del croquis y un eje (en este caso una línea) crea una geometría de revolución (ver figura 54).

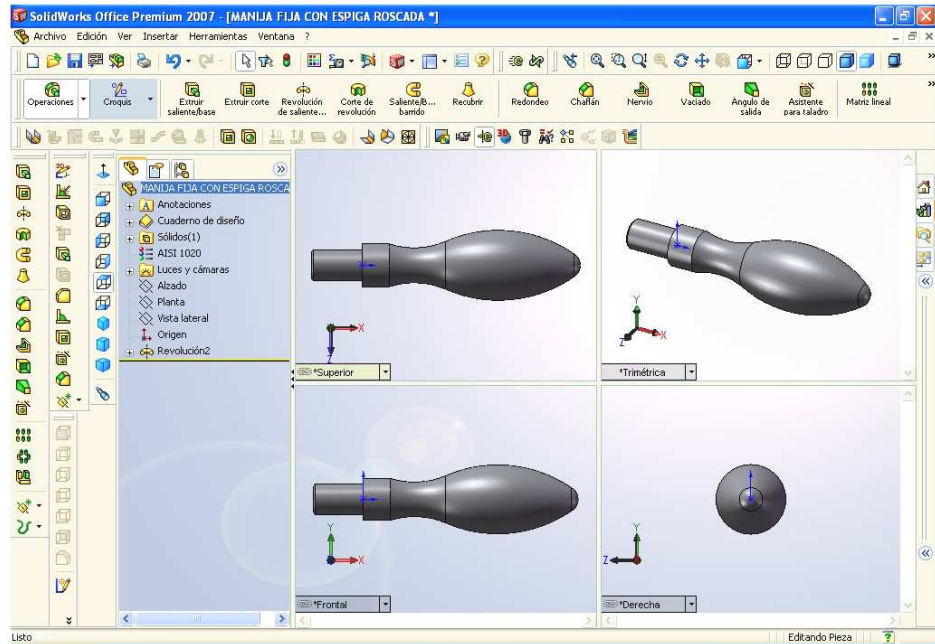
Figura 54. Así se crea el sólido con la herramienta revolver.



A partir de un croquis 2D se ha creado un sólido tridimensional, en la figura 55 se puede apreciar en diferentes proyecciones.

A partir de este sólido se habrá la puerta, para la integración con las técnicas CAE y CAM.

Figura 55. Diferentes vistas (superior, frontal, lateral e isométrica) de la manija.



## 5.2 Integración CAE.

El realizar el análisis y simulación del diseño, en esta fase inicial del diseño, es considerado como el mejor momento, ya que a medida que el diseño avanza tiende a ser cada vez mas complejo y los cambios resultan más difíciles de evaluar e implantar.

A llegado el momento de pasar al análisis del diseño, en términos sencillos se empleara una potente tecnología para la simulación del comportamiento físico del producto. La aplicación del análisis ayuda a comprobar posibles áreas de fallo del diseño, y llevar al diseño a la optimización.

En muchas ocasiones, es posible que los productos diseñados para funcionar en las peores situaciones, no sean los mejor diseñados,

ya que por cumplir con requisitos de seguridad y fuerza es posible que sean diseñados con exceso de material.

En esta fase conceptual del diseño, el ingeniero o diseñador puede optimizar el diseño básico para asegurarse que se tengan, los materiales, rigidez, el espesor de pared adecuado, ¿pero que se entiende por optimización?

La optimización desde el punto de vista matemático, es la búsqueda del máximo y el mínimo en una función, pero en ingeniería tiene mas sentido describirlo como el cálculo de varios objetivos, los cuales pueden ser el peso, el esfuerzo, el costo, que dependen de variables como las dimensiones, los materiales y otras restricciones. Y maximizar o minimizar el objetivo, cambiando las variables.

La optimización presenta un propósito por el cual se realiza, por ejemplo si estudios demuestran que una empresa obtendrá una ventaja competitiva produciendo un producto más ligero, entonces reducir el peso se convierte en el objetivo de optimización. En este caso solo se optimiza un objetivo, pero en la vida real el diseñador se enfrenta con optimizaciones de varios objetivos y una gran cantidad de restricciones en el diseño.

Entonces para poder mejorar el diseño los diseñadores deben cambiar los parámetros de diseño para encontrar la mejor configuración del diseño tales como dimensiones, propiedades mecánicas o cualquier aspecto del diseño que pueda tener una mejor consideración.

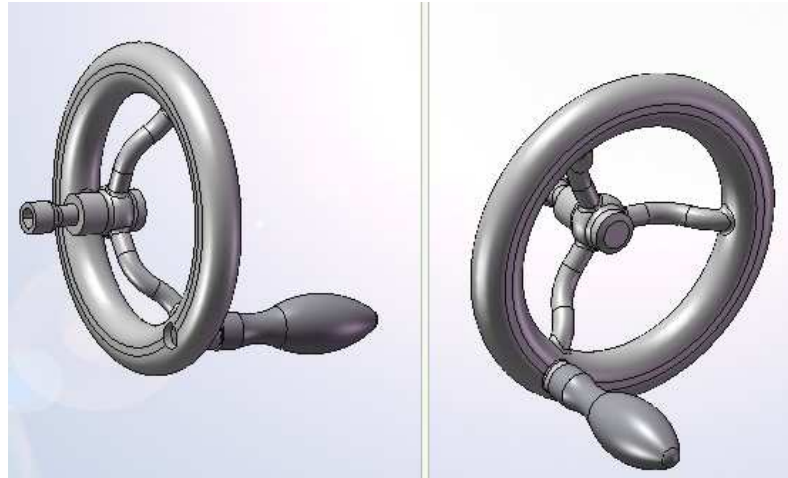
Para realizar el análisis del diseño se empleara COSMOSXpress la cual es una herramienta para el análisis de esfuerzos, plenamente integrada con SolidWorks.

COSMOSXpress requiere información para analizar el diseño, la cual es: el material, restricciones y cargas.

Considerando el ejemplo manejado en este capítulo, la manija es un elemento de maniobra el cual por lo general permite girar un volante. La manija se encuentra sujeta al volante y no puede moverse, esto representa una restricción de movimiento. Cuando se aplica una fuerza sobre la manija para hacer girar el volante, esta se le conoce como una carga (ver figura 56).

Ahora que pasara con la manija, ¿se doblara?, ¿se fracturara? Esto depende del esfuerzo que soporta el material con que esta hecha la manija, de las dimensiones físicas y del tamaño de la carga.

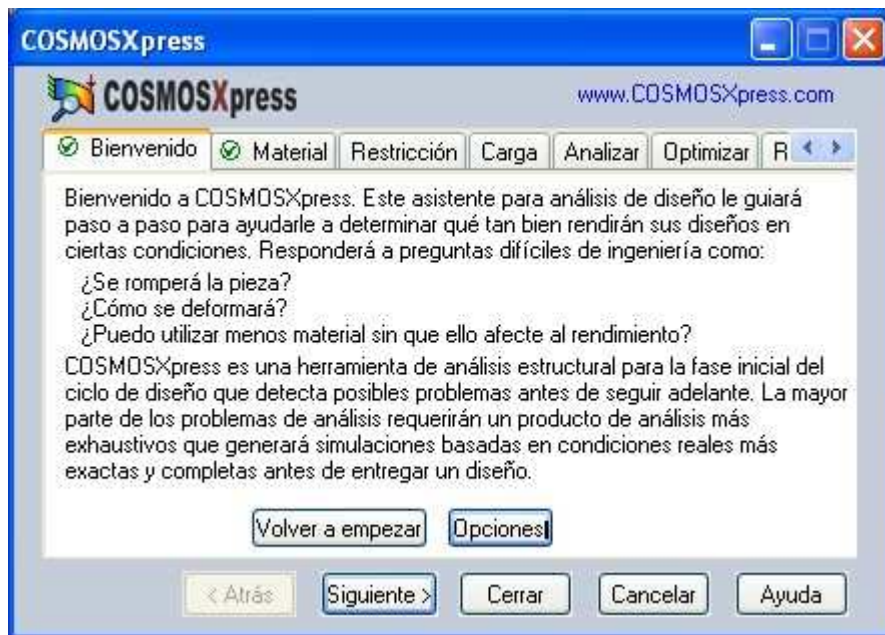
Figura 56. Manija con volante.



El objetivo a optimizar en este caso será asegurar que la manija sea lo suficientemente fuerte como para soportar una carga de servicio sin sufrir deformaciones y tensiones excesivas.

El primer paso es iniciar COSMOSXpress (ver figura 57). En este paso se pide establecer el sistema de unidades que se empleara, la ubicación de los archivos y mostrar anotaciones de máximos y mínimos de esfuerzo.

Figura 57. Ventana de bienvenida para iniciar COSMOSXpress.



En el siguiente paso se requiere establecer el tipo de material, el cual se puede elegir de una lista de materiales o editar (ver imagen



58). Esto es muy importante ya que a partir de la información de las propiedades mecánicas y físicas del material se realizarán los cálculos. En este caso se ha seleccionado una aleación de aluminio 6061, la cual es muy comercial y de la que están hechos la mayoría de los redondos comerciales.

Figura 58. Selección de material.



En la siguiente ventana de dialogo se pide establecer las restricciones (ver figura 59).

Figura 59. Ventana para comenzar a fijar restricciones.



Las restricciones son usadas para fijar las caras del modelo que no deben moverse durante el análisis (ver figura 60). Estas funcionan como limitantes de movimiento ya que eliminan el movimiento de rotación o translación que pueda tener la pieza como sería en circunstancias reales. En este caso la espiga de la manija es la parte de la pieza que se encuentra fija al volante y de la cual hay que restringir su movimiento (ver figura 61).

Figura 60. Estableciendo restricciones en caras.

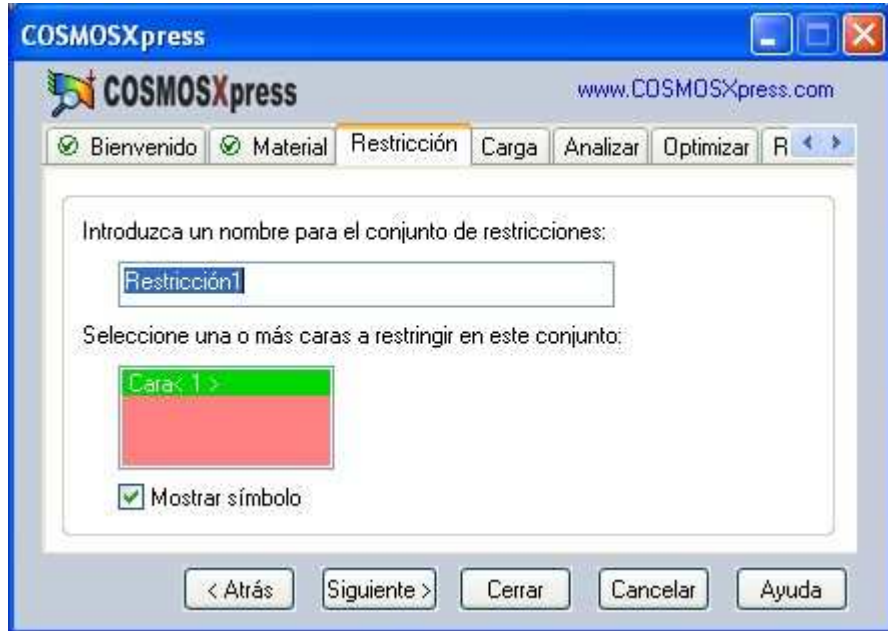
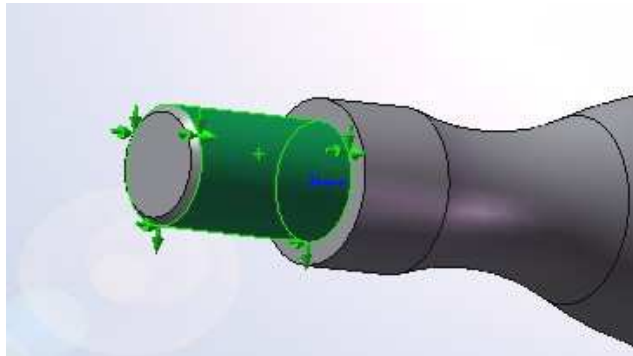
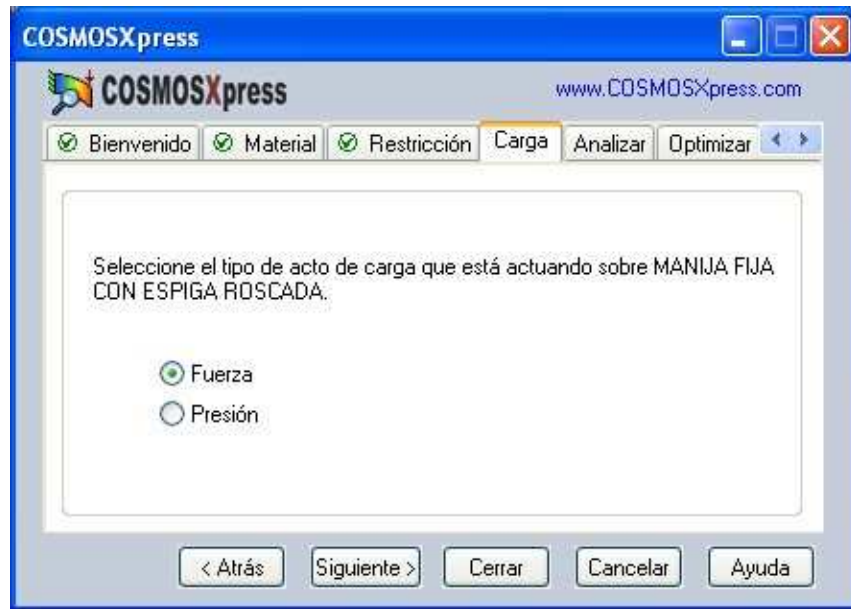


Figura 61. La espiga de la manija es sometida a una restricción.



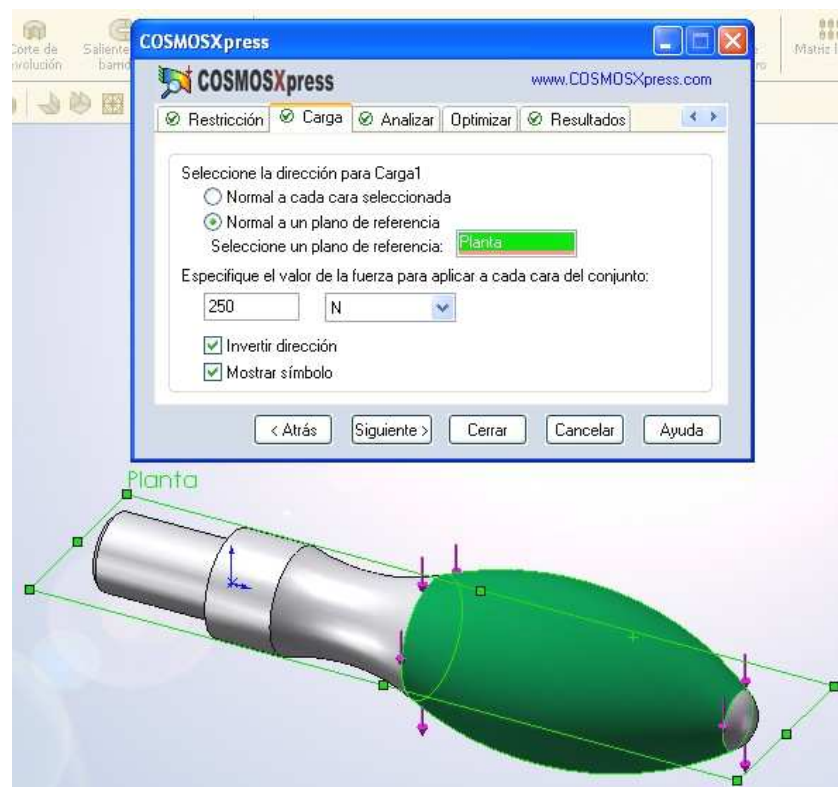
Después de establecer las restricciones, se requiere establecer las cargas. Las cargas se emplean como fuerzas o presiones externas las cuales inducen el esfuerzo y la deformación en el modelo. Se tiene que elegir el tipo de carga, para este análisis se requiere de una fuerza la cual es aplicada en una de las caras del modelo (ver figura 62).

Figura 62. En este caso el tipo de carga elegida es una fuerza.



En la siguiente figura (ver figura 63) se pide especificar la dirección de la carga y el valor de la misma. Se aplicara una carga de 250 N en dirección normal al plano inferior o planta.

Figura 63. Aplicación de una fuerza de 250 N.



Ahora que se ha completado el apartado para las cargas, se ha preparado el modelo para el análisis que calculara el



desplazamiento, las tensiones y la deformación. La información requerida se ha provisto y el análisis puede iniciar (ver figura 64).

Figura 64. Comienza el proceso de solución por medio del análisis por elementos finitos.



Después del análisis, sigue la fase de los resultados, por medio de COSMOSXpress, se obtienen diferentes resultados el primero de ellos es el factor de seguridad, FOS (del inglés, Factor of Safety) el cual compara el esfuerzo de cedencia del material con la actual tensión.

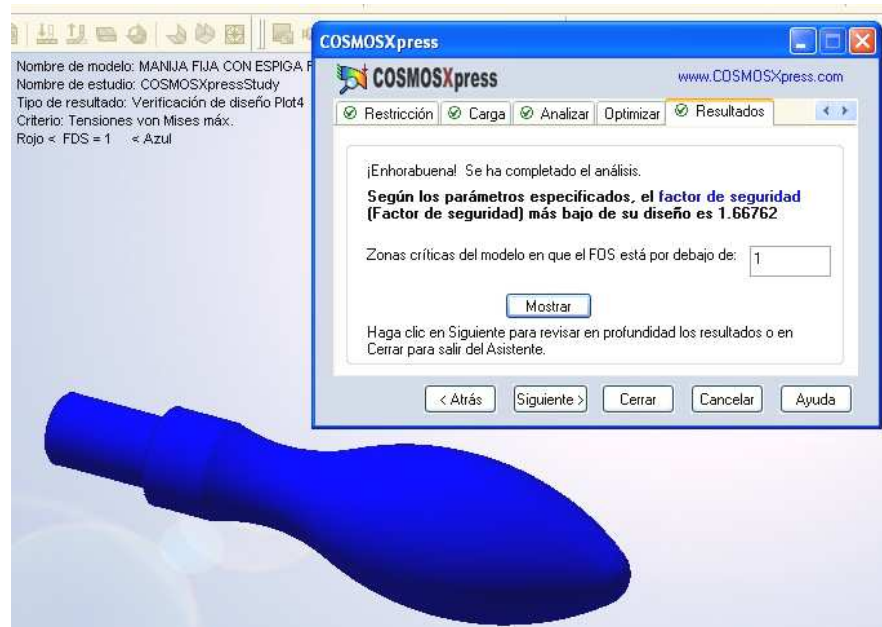
COSMOSXpress emplea el criterio de la tensión máxima de Von Mises, para calcular la distribución del factor de seguridad. Este criterio dice que un material dúctil comienza a ceder o fluir cuando la tensión alcanza el esfuerzo de cedencia del material. El esfuerzo de cedencia es definido como una propiedad del material. COSMOSXpress calcula el FOS en un punto, dividiendo el esfuerzo de cedencia por la tensión equivalente en este punto

En cualquier lugar el factor de seguridad que es:

- Ⓒ Menor que 1.0 indica que el material en esta localización tiene fluencia y el diseño no es seguro.
- Ⓒ Igual a 1.0 indica que el material en esta localización comienza a fluir.
- Ⓒ Mayor que 1.0 indica que el material en esta localización no tiene fluencia.

Para este caso en la figura 65 se observa el valor de FOS calculado para la manija el cual es mayor que 1. Esto indica que la manija no tiene sobretensión, por lo cual no habrá una falla.

Figura 65. El valor de FOS calculado es de 1.667 por lo cual el diseño es valido.



Además del calculo del FOS, también se muestran los resultados de la distribución de las tensiones en el solidó (ver figura 66), la distribución del desplazamiento en el solidó (ver figura 67) y el aspecto de la deformación del cuerpo la cual puede ser elástica o plástica (ver figura 68).

Figura 66. La tensión en el solidó es mayor en la sección transversal mas pequeña.

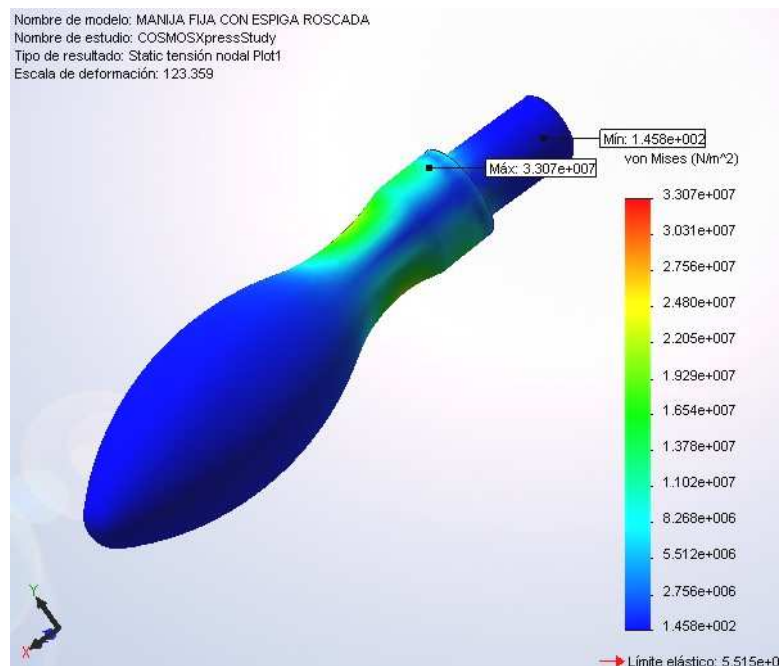


Figura 67. El punto que más se desplaza debido a la tensión es la punta de la manija.

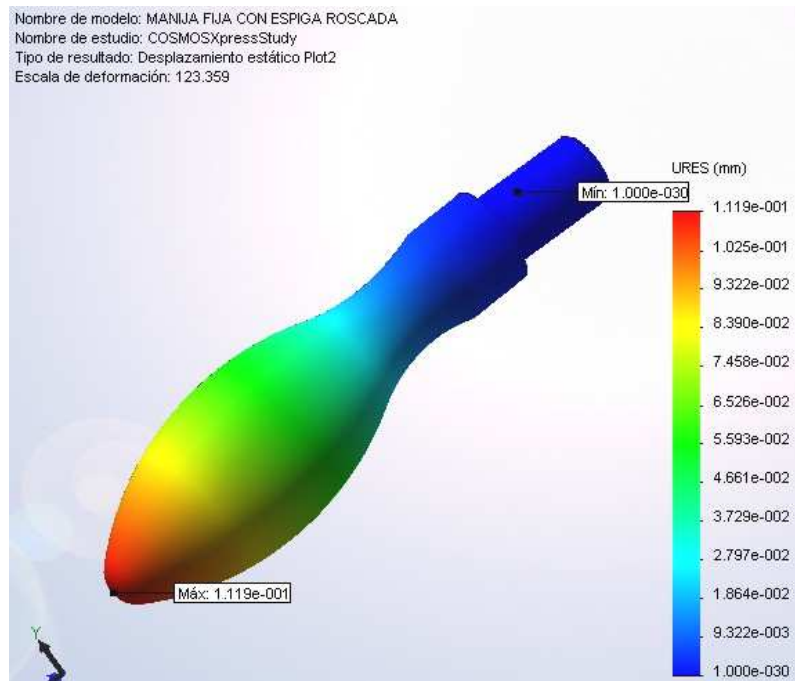
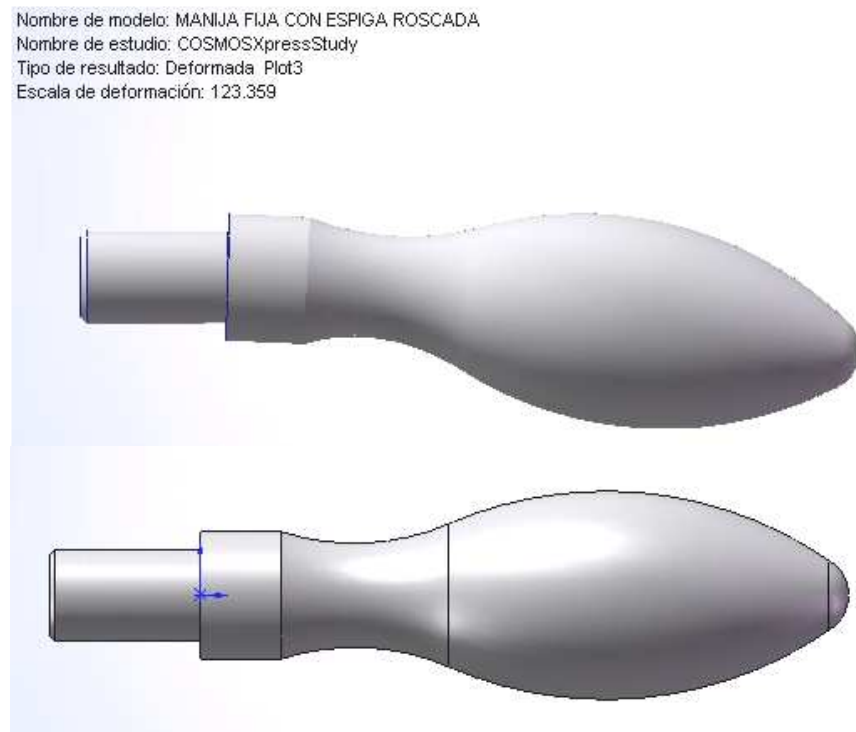


Figura 68. Comparación del aspecto a escala de cómo se deforma elásticamente la manija



Los resultados del análisis, verifican que el diseño soportara la tensión a la cual será sometido sin llegar a deformarse. De esta forma y rápidamente se ha evaluado el diseño en el aspecto estructural, sin haber tenido que realizar un prototipo y someterlo a pruebas.

Ahora es momento de pasar a la fase de simulación del maquinado, utilizando el mismo sólido creado en la fase de diseño CAD, el cual ha sido validado con una herramienta CAE.

## 5.3 Integración CAM.

CAM ha revolucionando el diseño y los procesos de producción. Ya no hay necesidad de complicados cálculos para resolver problemas de intersecciones, tangencias, posiciones de centros o superficies complejas. Empleando la computadora y los sistemas CAM se obtienen resultados inmediatos.

Hasta este punto se han empleado las herramientas CAD y CAE para favorecer al diseño, ahora es momento de ir directamente a la fase de simulación de la manufactura de la manija. Empleando el mismo sólido que se creó en la fase de diseño y el cual fue analizado.

El sistema CAM que se utilizara es MasterCAM, una aplicación muy popular para la manufactura asistida por ordenador, la cual es una herramienta enteramente integrada con el sistema CAD. MasterCAM tiene la posibilidad de resolver problemas de diseño geométrico como la parte de fabricación de los productos.

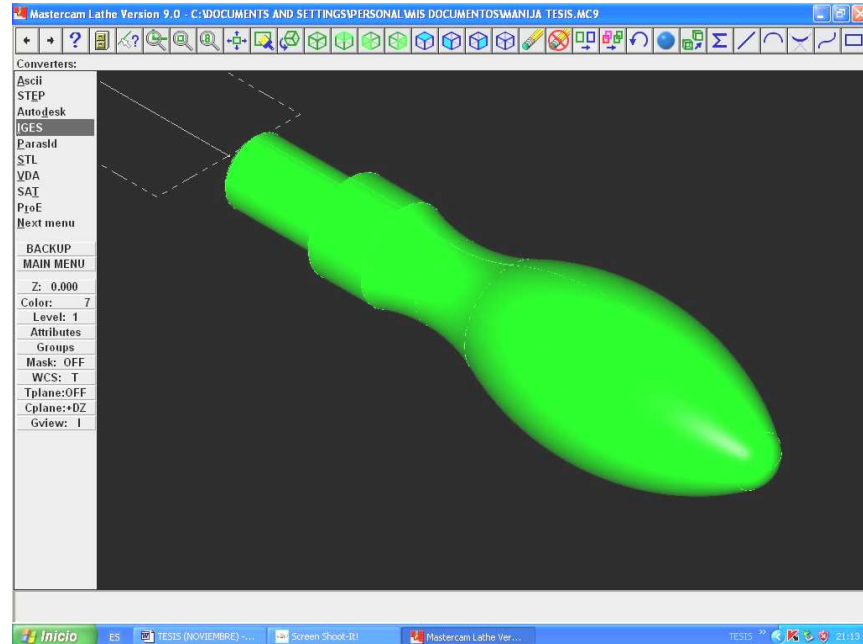
MasterCAM no es un solo sistema, es una serie de herramientas específicas, para cada aplicación en especial como el fresado, el punzonado, electroeroción por hilo, el laser, etc.

Para comenzar con la integración hay que emplear el módulo correspondiente al torneado, que es la solución específica para programar tornos de control numérico.

Como se ha mencionado un sistema CAD plenamente integrado con el sistema CAM, da la posibilidad de ir a la fase de fabricación utilizando el mismo sólido creado en el sistema CAD, esto evita problemas en la conversión de datos. Para este ejemplo se ha

guardado el archivo nativo creado en SolidWorks en un formato IGES, para poder ser importado por MasterCAM. En la figura 69 se observa como el modelo ha exportado al ambiente del sistema CAM.

Figura 69. Sólido importado en formato IGES.



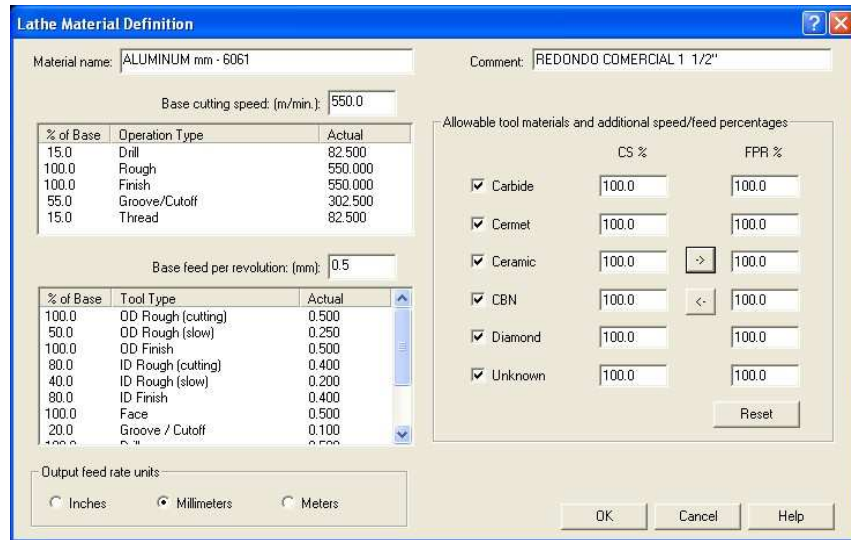
Una vez obtenido la geometría, hay que proceder a la preparación del trabajo.

Así como en las maquinas herramientas convencionales, antes de comenzar a trabajar se tiene que prepara el equipo, el material y las herramientas. Al comenzar a trabajar en un sistema CAD hay que definir los parámetros para que el sistema pueda programar las rutas y operaciones a realizar. De esta forma mientras mas información real se le de al sistema este podrá simular mejor el mecanizado.

Para preparar el trabajo se puede comenzar definiendo las dimensiones de la materia prima, las herramientas o los parámetros de corte, para este ejemplo primero se definirán datos de la materia prima.

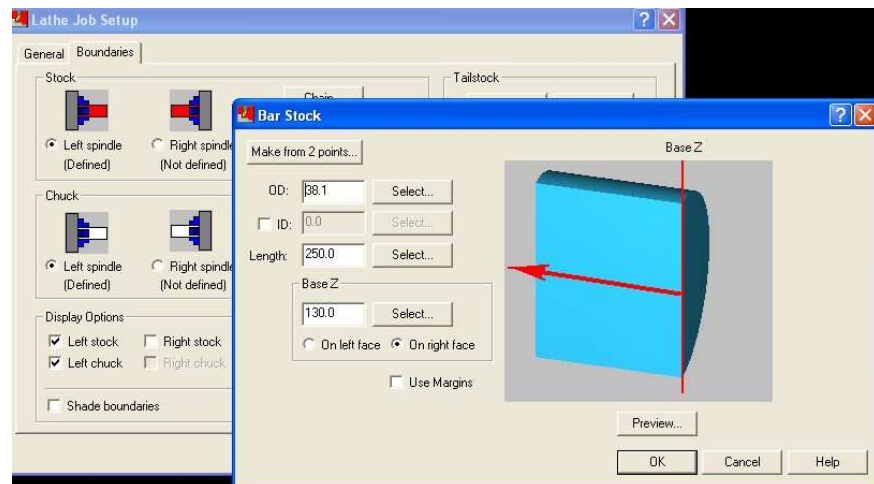
Para este caso y concordando con el análisis realizado en la fase CAE se selecciona una aleación de aluminio 6061(ver figura 70). Ingresando el tipo de material el sistema calcula las velocidades de corte requeridas en cada operación.

Figura 70. Aluminio 6061 y sus porcentajes de corte dependiendo el tipo de herramienta.



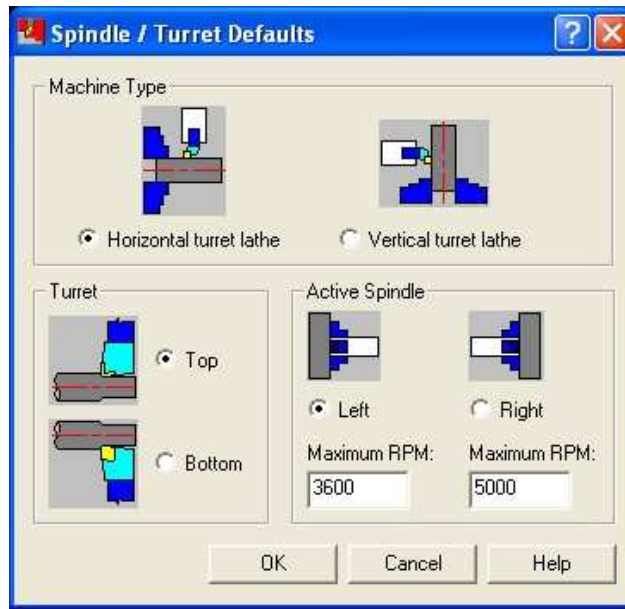
Después se procede a definir la forma y las dimensiones las cuales corresponden a las de un redondo comercial de 1 ½ pulg. de diámetro (ver figura 71).

Figura 71. Definiendo las dimensiones del stock o material.



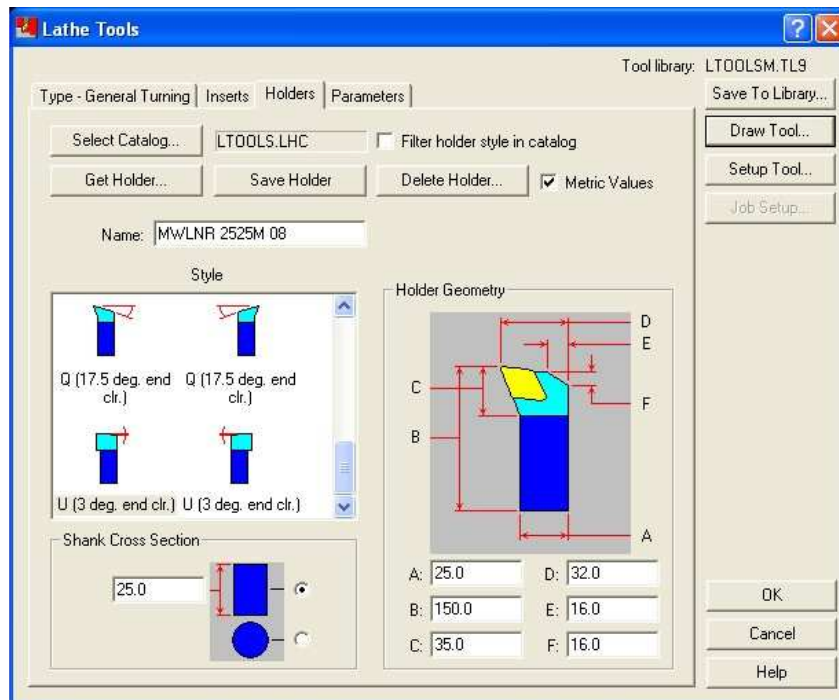
Al preparar las condiciones de la materia prima es conveniente definir los parámetros de corte (ver figura 72), como la posición del mandril del torno (izquierda o derecha) en caso de que el torno posea 2 husillos, la velocidad de giro máxima de este, definir la posición de la torre donde se ubican la herramientas (superior o inferior).

Figura 72. Localización de las torretas y velocidades de giro en husillo.



El siguiente paso es la selección de las herramientas, MasterCAM posee un administrador de herramientas en el cual se encuentran almacenadas las geometrías y parámetros de corte sobre herramientas de varios fabricantes. Pero también existe la posibilidad de crear herramientas, esto incluye definir el tipo de herramienta de acuerdo a la operación a realizar, seleccionar el tipo de inserto, definir el porta herramienta, así como los parámetros de corte y el archivo nci el cual es empleado para generar el archivo NC (ver figura 73).

Figura 73. Definiendo las características del portaherramientas.

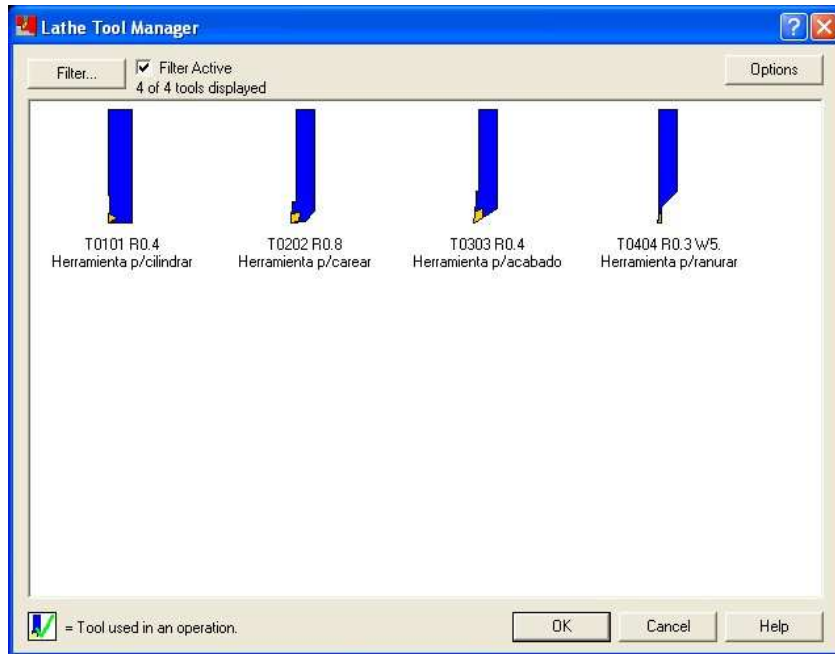




Para el mecanizado de la manija se han creado algunas herramientas de acuerdo a las operaciones que se requieren, así se tienen herramientas para desbaste cilíndrico, acabado, ranurado y careado o refrentado.

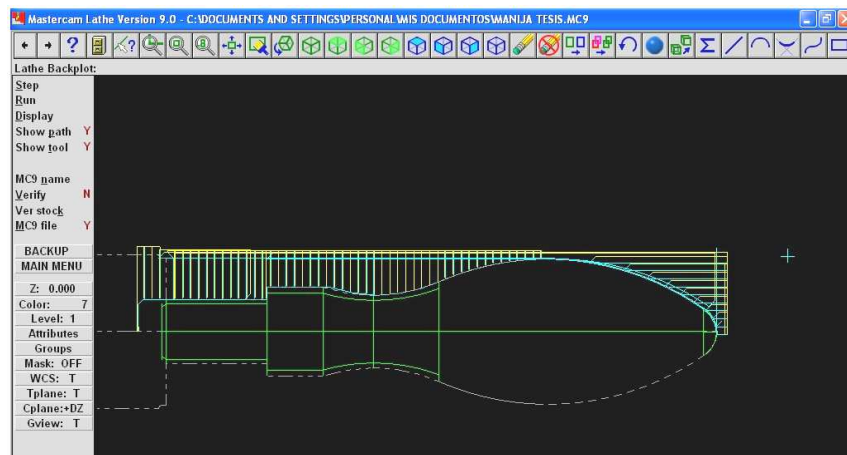
Todas estas herramientas se han cargado en el administrador de herramientas (ver figura 74).

Figura 74. Herramientas configuradas para el mecanizado.



Teniendo listas las condiciones para comenzar se proceden a generar las rutas de mecanizado. En la figura 75 se aprecian una líneas horizontales las cuales representan la ruta de la herramienta para generar un desbaste, el movimiento básico de la herramienta es una trayectoria que sigue el contorno seleccionado esto empleando la geometría del sólido.

Figura 75. Las líneas en el contorno de la figura muestran la ruta de la herramienta durante el mecanizado.





Así seleccionando apropiadamente las entidades del sólido, el sistema CAM genera las rutas de mecanizado.

MasterCAM posee un administrador de operaciones el cual es una herramienta que permite gestionar las operaciones, esta muestra las operaciones programadas en las cuales se describen los componentes para dicha operación que son la herramienta empleada, la geometría seleccionada y los parámetros de mecanizado. A través de esta se pueden ver las operaciones realizadas para el mecanizado (ver figura 76).

Figura 76. En esta ventana se gestionan las operaciones creadas para el mecanizado.



Cuando se han completado el mecanizado, las rutas son correctas y se ha verificado que no hay colisiones es momento de continuar con el postprocesamiento, este es el proceso por medio del cual se genera el archivo NC, que es el listado de instrucciones proporcionadas a la maquina de control numérico para realizar una pieza

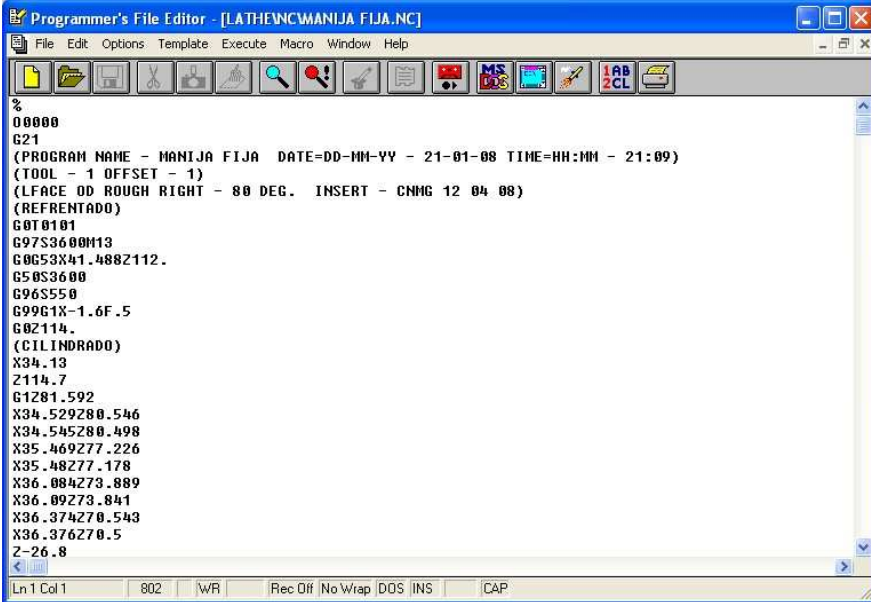
La estructura del programa NC en cuanto a la utilización de los diferentes caracteres para la programación se encuentra estandarizada por ISO. Aunque existen algunas variantes de acuerdo al fabricante de la maquina herramienta los principales y de uso común se encuentran en la norma EIA RS-274D, esta es emitida por el EIA (del inglés, Electronic Institute American).

Así cada maquina herramienta dependiendo del fabricante emplea diferentes ciclos de programación por lo cual el programa que realiza esta traducción debe ser adecuado al tipo de maquina que se va a utilizar.

MasterCAM posee almacenados varios postprocesadores de diferentes tornos, para este ejemplo la selección de cualquiera de ellos será útil para generar el programa NC.

A continuación se selecciona el archivo, una vez escogido se realiza el postprocesado y el resultado se presenta en un editor de textos predefinido (ver figura 77).

Figura 77. Programa NC para el mecanizado de la manija.



```
Programmer's File Editor - [LATHENCMANIJA FIJA.NC]
File Edit Options Template Execute Macro Window Help
%
00000
G21
(PROGRAM NAME - MANIJA FIJA DATE=DD-MM-YY - 21-01-08 TIME=HH:MM - 21:09)
(TOOL - 1 OFFSET - 1)
(LFACE OD ROUGH RIGHT - 80 DEG. INSERT - CNMG 12 04 08)
(REFRENTADO)
(REFRENTADO)
G0T0101
G97S3600M13
G0G53X41.488Z112.
G50S3600
G96S550
G99G1X-1.6F.5
G0Z114.
(CILINDRADO)
X34.13
Z114.7
G1Z81.592
X34.529Z80.546
X34.545Z80.498
X35.469Z77.226
X35.482Z77.178
X36.084Z73.889
X36.092Z73.841
X36.374Z70.543
X36.376Z70.5
Z-26.8
Ln 1 Col 1 802 WR Rec Off No Wrap DOS INS CAP
```

Una vez obtenido el programa NC y poseyendo el equipo adecuado es posible mecanizar la pieza con una gran precisión, cualquier cantidad de veces que se requiera.

Así las técnicas que se han descrito a lo largo de este trabajo y la integración de ellas, en apoyo al diseño han permitido generar la simulación virtual y el programa de CNC para la manufactura de este diseño.

Así en definitiva no solo se obtuvo el programa para el mecanizado, las herramientas CAD, CAE y CAM, enriquecieron el proceso de diseño desde mejorar las características geométricas de la pieza y el análisis de la misma.

## Conclusiones.

La tecnología hace más productivo al hombre, la información oportuna la vuelve más certera. La manufactura enfrenta un dilema trillado pero siempre vigente: renovarse o morir.

La forma en que las nuevas tecnologías están cambiando nuestro entorno es cada vez más evidente y con una mayor velocidad. Las empresas de hoy poseen problemas de todo tipo, pero el rezago tecnológico es posiblemente uno que comparte la mayoría.

Muchas son las limitantes para que las pequeñas y medianas empresas puedan tener acceso a estas tecnologías que solo las grandes empresas pueden tener y que muchas veces ni ellas poseen.

Aun cuando la desventaja económica es un factor importante para la adopción de una nueva tecnología, factores culturales y sociales lo hacen aun más difícil y en algunas ocasiones pueden pesar más que el factor económico, así como el hecho que muchas empresas e ingenieros creen que no lo necesitan o simplemente desconocen de ellas.

Las nuevas tecnologías y herramientas para la manufactura están creciendo a una velocidad acelerada, mas rápido de lo que podría parecer.

La forma de manufacturar esta cambiando, las nuevas herramientas y los cambios en la cultura empresarial que llegan en conjunto con ellas, hacen ver la necesidad que tiene el sector manufacturero de renovar los aspectos tecnológicos y continuar buscando diferentes alternativas para ser competitivos.

Si bien es cierto que las empresas deben buscar la forma de actualizarse, los planteles e instituciones de educación superior y educación técnica deben reforzar en sus planes de estudio en tecnologías y filosofías actuales, no haciendo a un lado las antiguas ya que son la base de las actuales y aun son las más empleadas en la industria.

La escasez de capital humano con habilidades en tecnologías como el CAD, CAE y CAM es evidente, siendo aun que estas no son tan jóvenes y los pocos profesionales que existen no dominan a profundidad las técnicas, esto debido a factores como la falta de

bibliografía técnica, a la escasez de trabajo en estas áreas y tal vez en su formación profesional no se disponía de equipos adecuados para complementar la teoría.

Personalmente he experimentado el uso de forma profesional de tecnologías como el CAD y el CAE, he comprobado sus ventajas y desventajas; estoy convencido que las ventajas son mayores y que su uso realmente puede hacer mas competitivo a todo aquel que las emplee.

Hoy en día no basta con que las empresas se den a la tarea de renovarse, los ingenieros, diseñadores y profesionales de la manufactura, también deben renovar sus habilidades con el uso de nuevas tecnologías que los hagan más competitivos. Pero como se ha mencionado en este trabajo no todas las empresas ni todos los ingenieros las requieren, solo las circunstancias de su trabajo les pueden permitir decidir la adopción de una nueva tecnología.

## Apéndice.

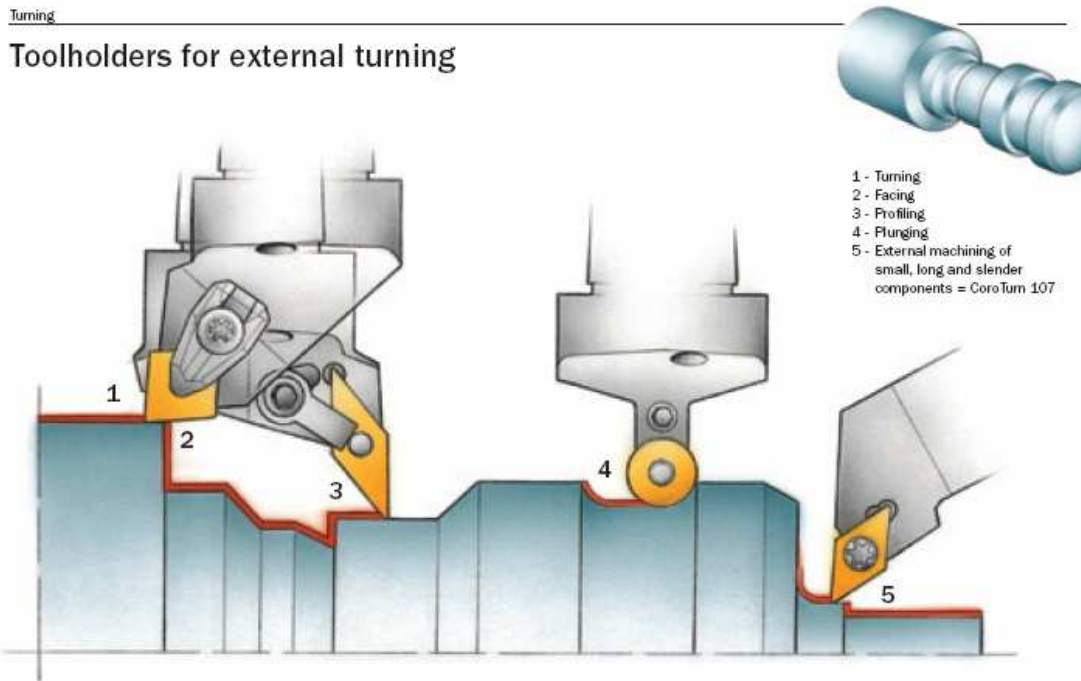
Códigos G preparatorios de uso común para centros de torneado, de acuerdo a la norma EIA-274D.

















Código G	Función
G00	Posicionamiento rápido
G01	Interpolación lineal
G02	Interpolación circular en el sentido contrario de las manecillas del reloj
G03	Interpolación circular en el sentido de las manecillas del reloj
G04	Descanso
G20	Entrada de datos en pulgadas
G21	Entrada de datos métricos
G27	Verificación de regreso a cero
G28	Regreso a cero
G29	Regreso desde cero
G32	Corte de rosca
G34	Corte de rosca variable
G40	Cancelación de la compensación de radio de punta de herramienta
G41	Compensación de radio de punta de herramienta derecha
G42	Compensación de radio de punta de herramienta izquierda
G50	Preajuste de coordenadas absolutas
G70	Ciclo terminado
G71	Ciclo de corte desbaste diámetro exterior diámetro interior
G72	Ciclo de corte desbaste de superficie del extremo
G73	Ciclo de corte en lazo cerrado
G74	Ciclo de corte de superficie del extremo
G75	Ciclo de corte de diámetro exterior y diámetro interior
G76	Ciclo de corte de rosca
G90	Posicionamiento absoluto
G92	Posicionamiento incremental
G94	
G96	Velocidad superficial constante
G97	Cancelación de la velocidad superficial constante
G98	Avance por tiempo
G99	Avance por rotación de husillo

Códigos M micelaneos de uso común para centros de torneado, de acuerdo a la norma EIA-274D.

Código M	Función
M00	Paro de programa
M01	Paro opcional
M02	Fin de programa
M03	Rotación del husillo CW
M04	Rotación del husillo CCW
M05	Paro de husillo
M06	Cambio de herramienta
M08	Activación de refrigerante
M09	Paro de refrigerante
M13	Husillo del contrapunto adentro
M17	Rotación del poste porta herramientas normal
M18	Rotación del poste porta herramientas reversa
M21	Contrapunta hacia delante
M22	Contrapunta hacia atrás
M23	Activación de achaflanado
M24	Desactivación de achaflanado
M30	Fin de programa y reembobinado
M98	Llamada a subprograma
M99	Fin de subprograma

Tabla para elección del porta herramienta según la operación a realizar.



	Negative inserts			Positive inserts	Ceramic and CBN inserts	
	CoroTurn RC	T-MAX P		CoroTurn 107	CoroTurn RC	T-MAX
<b>Tooling system</b>						
<b>Clamping system</b>	 Rigid clamp design	 Lever design	 Wedge clamp design	 Screw clamp design	 Rigid clamp design	 Top clamp design
						
<b>Operation</b>						
 Longitudinal turning/facing	●●	●	●	●	●●	●
 Profiling	●●	●	●	●●	●●	●
 Facing	●●	●	●	●	●●	●
 Plunging		●		●●		●●

●● = Recommended toolholder system  
● = Alternative

Tabla para elección de la forma del inserto según la operación a realizar.

Turning

### Insert shape depending on operation

External machining	80° 	55° 	- 	90° 	60° 	80° 	35° 	55° 
	●●	●	●	●	●	●		●
		●●	●		●		●	●
	●	●	●	●●	●	●		●
			●●		●			

Internal machining	80° 	55° 	- 	90° 	60° 	80° 	35° 	
	●	●	●	●	●●	●		
		●●			●		●	
	●●	●	●		●	●		

●● = Recommended insert shape

● = Alternative insert shape



Dimensiones para manija con espiga lisa.



### Elementos de maniobra

EH 2445.  
Manillas fijas  
DIN 39  
con espiga lisa forma D (croquis 1)

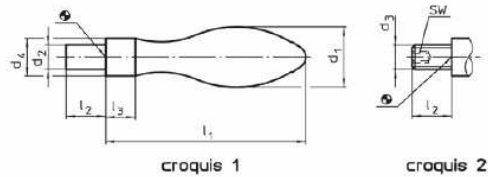


#### Material:

- Acero torneado, pulido

con espiga lisa forma D (croquis 1)

Referencia	d <sub>1</sub>	d <sub>2</sub> h8	d <sub>3</sub>	d <sub>4</sub> h13	l <sub>1</sub> ~	l <sub>2</sub>	l <sub>3</sub>	SW	peso g
2445.036	36	16	-	22	112	26	14	8	510



## Fuentes consultadas.

- Ⓒ Alcalde Marzal y otros (2004), *Diseño de producto, métodos y técnicas*. México. Alfaomega/Universidad Politécnica de Valencia.
- Ⓒ Bednarek Mauriuz. *Herramientas para los nuevos bríos*. Manufactura, año 9, numero 87, septiembre 2002.
- Ⓒ Capuz Rizo Salvador (2001). *Introducción al proyecto de producción, ingeniería concurrente para el diseño de producto*. México. Alfaomega/ Universidad Politécnica de Valencia.
- Ⓒ Chevalier A. (2004). *Dibujo industrial*. México. Limusa, Noriega Editores.
- Ⓒ Chevalier A. (2004). *Tecnología del diseño y fabricación de piezas metálicas*. México. Limusa, Noriega Editores.
- Ⓒ Cruz Teruel Francisco (2007). *Control numérico y programación. Curso practico*. México. Alfaomega
- Ⓒ Ferre Masip Rafael (1988). *Diseño industrial por computador*. España. Marcombo.
- Ⓒ Gutiérrez Ferney Eduardo (2007). *AutoCad 2007, 2 y 3 dimensiones*. México. Alfaomega.
- Ⓒ Hawkes Barry (1989). *CAD/CAM*. España. Paraninfosa S.A.
- Ⓒ Krar Steve F. (2005). *Tecnología de las máquinas herramienta*. México. Alfaomega.
- Ⓒ Lorenz Meler Enrique (1979). *El torno y la fresadora*. España. Editorial Gustavo Gil S.A.
- Ⓒ *Pasar al análisis, una guía del fabricante para aprovechar los beneficios en productividad del análisis de elementos finitos (FEA)*. (2006). Publicado por SolidWorks Corporation y COSMOS.
- Ⓒ *Metalcutting technical guide (A) general turning*. Sandvick Coromant Catalogo general
- Ⓒ Pacheco Bolivar Jovanny(2001). *Cómo usar Mastercam: manual practico de Mastercam design, mill y lathe*. Colombia. Ediciones Uninorte
- Ⓒ Quintero José. *Ingeniería virtual. 3D la siguiente fase del diseño*. Manufactura, año 12, numero 128, enero 2006.

- ④ Steen Frederick H. (1999). *Geometría analítica*. México. Publicaciones Cultural.
- ④ *SolidWorks 2006 Training manual, SolidWorks Essentials:Parts and assemblies*. SolidWoks Corporation. 2006
- ④ Schmitz Barb. *Adopción de solución es en 3D: referencia básica para usuarios de CAD en 2D*. (2006). Machine Design.
- ④ [www.soliworks.com.es](http://www.soliworks.com.es)
- ④ [www.manufacturaweb.com](http://www.manufacturaweb.com)
- ④ <http://www.gestiopolis.com/recursos/documentos/fulldocs/ger1/macives.html>
- ④ <http://webs.uvigo.es/disenoiustrial/cad.html>
- ④ [www.emastercam.com/info/g-codes.html](http://www.emastercam.com/info/g-codes.html)
- ④ [www.metalmecanica.com/mm/secciones/MM/ES/MAIN/ARTICULOS.html](http://www.metalmecanica.com/mm/secciones/MM/ES/MAIN/ARTICULOS.html)
- ④ [www.mastercam.com.es](http://www.mastercam.com.es)