

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**

ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

MAESTRÍA EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO



ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**FABRICACIÓN DE MOLDES EN UN CENTRO DE MAQUINADO
VERTICAL CNC**

**INGENIERO MECANICO
VICTOR MANUEL RUIZ HERNANDEZ**

Guatemala, mayo de 2007

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



ESCUELA DE ESTUDIOS DE POSTGRADO

ESTUDIO ESPECIAL DE GRADUACIÓN

**FABRICACIÓN DE MOLDES EN UN CENTRO DE MAQUINADO
VERTICAL CNC**

POR

**INGENIERO MECÁNICO
VICTOR MANUEL RUIZ HERNANDEZ**

**AL CONFERÍRSELE EL TÍTULO DE
MAESTRO EN ARTES EN INGENIERÍA DE MANTENIMIENTO**

Guatemala, mayo de 2007

**UNIVERSIDAD DE SAN CARLOS DE GUATEMALA
FACULTAD DE INGENIERÍA**



NÓMINA DE JUNTA DIRECTIVA

DECANO:	Ing.	Murphy Olympo Paiz Recinos
VOCAL I:	Inga.	Glenda Patricia García Soria
VOCAL II:	Inga.	Alba Maritza Guerrero de López
VOCAL III:	Ing.	Miguel Ángel Dávila Calderón
VOCAL IV:	Br.	Kenneth Issur Estrada Ruiz
VOCAL V:	Br.	Elisa Yazminda Vides Leiva
SECRETARIA:	Inga.	Marcia Ivónne Véliz Vargas

TRIBUNAL QUE PRACTICÓ EL EXAMEN GENERAL PRIVADO

DECANO:	Ing.	Murphy Olympo Paiz Recinos
EXAMINADOR:	Ing.	Carlos Humberto Pérez Rodríguez
EXAMINADOR:	Ing.	José Arturo Estrada Martínez
EXAMINADOR:	Ing.	Otto Fernando Andrino González
SECRETARIA:	Inga.	Marcia Ivónne Véliz Vargas

HONORABLE TRIBUNAL EXAMINADOR

Cumpliendo con los preceptos que establece la ley de la Universidad de San Carlos de Guatemala, presento a su consideración mi trabajo de graduación titulado:

**FABRICACIÓN DE MOLDES EN UN CENTRO DE MAQUINADO
VERTICAL CNC**

tema que me fuera asignado por la Dirección de la Escuela de Estudios de Postgrado, con fecha de 26 de septiembre de 2006

Ing. Victor Manuel Ruiz Hernández

ÍNDICE

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES	iii
INDICE DE TABLAS	iii
GLOSARIO	iv
RESUMEN	vi
INTRODUCCIÓN	1
1. ASPECTOS GENERALES	3
1.1 Planteamiento	3
1.2 Justificación	3
1.3 Objetivos	4
1.4 Alcance del trabajo	4
2 MARCO TEÓRICO	5
2.1 Centro de Maquinado Vertical	5
2.2 CNC	7
2.3 Fresadoras Convencionales	10
2.4 Tipo de Herramientas utilizadas en la Fresadora	12
2.4.1 Fresa de corte Lateral	12
2.4.2 Fresa Cortadora de Engranés	13
2.4.3 Fresa Escariadora con dientes Integrales	14
2.4.4 Sierra para cortar Metales	14
2.5 Comparación entre una fresadora convencional y un centro de Mecanizado vertical (VMC)	15
2.6 Factores que influyen en la maquinabilidad de un material	19
2.7 Tipos de Operaciones principales y más comunes en la fabricación De moldes	19
2.8 Herramientas que se utiliza en este tipo de operaciones	20
2.9 Pasos en el maquinado con fresas	21
3. FABRICACIÓN DE MOLDE OCTOGONAL EN LAS DIFERENTES MÁQUINAS	23
3.1 Fabricación de un molde octogonal en una fresadora Convencional	23
3.2 Fabricación de un molde octogonal en un centro de mecanizado	

Vertical (VMC)	25
3.3 Tiempo de fabricación entre producir en una VMC vrs Fresadora Convencional.	32
3.4 Comparación de costos entre una maquina VMC vrs Fresadora Convencional	32
3.5 Discusión de resultados	34
CONCLUSIONES	36
RECOMENDACIONES	37
BIBLIOGRAFÍA	38

ÍNDICE DE ILUSTRACIONES

FIGURAS

1.	Centro de maquinado vertical	6
2.	Un centro de Maquinado vertical haciendo un maquinado	7
3.	Diseño de una pieza de trabajo en un programa de computadora	8
4.	Fresadora convencional	12
5.	Fresa de corte lateral	13
6.	Fresa cortadora de engranes	13
7.	Fresa escariadora	14
8.	Fresa Sierra	14
9.	Comparación entre una fresadora convencional y VMC	18
10.	Fresa vertical	24
11.	Dibujo del molde octogonal en un programa CAD	25
12.	Envío del dibujo al programa CAM	25
13.	Trayectorias de la herramienta en el programa CAM	26
14.	Selección de la herramienta	26
15.	Simulación del programa	27
16.	VMC, Bridgerport 2216	31

ÍNDICE DE TABLAS

1.	Comparación entre una fresadora convencional y VMC	15
2.	Comparación de tiempos entre una maquina VMC vrs Fresadora	32
3.	Comparación de costos entre una maquina VMC vrs Fresadora	32

GLOSARIO

CIM	Computer Integrated Manufacturing o Manufactura Integrada por computador Interconectado. Desde el Diseño, pasando por el proyecto y la planificación, la preparación del trabajo y el suministro del material, hasta la fabricación, se unen todos los departamentos de una empresa en una interconexión de datos integrada.
NC	Numerical Control o Control Numérico, es decir, control mediante números. Con ayuda de los datos introducidos como combinaciones de números, el NC controla una máquina herramienta.
CNC	Computer Numerical Control o Control Numérico Computarizado, es el mismo NC que se amplía además con un módulo inteligente. El CNC con los datos introducidos, puede realizar, además, cálculos, con cuyos resultados se controla a continuación la máquina herramienta.
CAE	Computer Aided Engineering o Cálculo Asistido por Computador.
CAD	Computer Aided Design o Diseño Asistido por Computador.

CAM

Computer Aided manufacturing o
Manufactura Asistida por Computador

CND

Direct Numerical Control o Control
Numérico Directo, administración y
distribución de programas de CNC. Es el
puente entre el puesto de trabajo de CAM y
la máquina de CNC.

RESUMEN

La automatización del Control Numérico Computarizado se logra aplicar con éxito a Máquinas de Herramientas de Control Numérico como Fresadoras CNC, Tornos CNC, Máquinas de Electro erosionado, Máquinas de Corte por Hilo. El control numérico es una técnica que tiene la característica de recibir órdenes codificadas por medio de un programa que controla el funcionamiento de una máquina específica, de manera numérica introduciendo los valores en la máquina.

En una máquina de Control Numérico Computarizado, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que son accionados con los ejes de la máquina. Debido a esta característica, se pueden hacer movimientos que no se pueden hacer manualmente, como círculos, diagonales y figuras difíciles de maniobrar.

Cuando se utiliza una máquina CNC, sus dispositivos de control mecánico, permiten ejecutar trayectorias tridimensionales logrando así maquinar moldes y troqueles complejos.

Para operar una maquina CNC, es necesario que el operador tenga conocimientos de programación de computadoras personales, mantenimiento, métodos de sujeción, medidores y metrología, interpretación de planos, estructura de la máquina CNC, transformación mecánica, etc. Y son muchas las ventajas de operar una maquina que contenga el control computarizado.

El elemento de control numérico computarizado contiene la información de las acciones a ejecutar como por ejemplo, el programa de acciones a ejecutar, el programa interpreta las acciones a ejecutar, las convierte a señales correspondientes y luego se acciona la máquina para comprobar los resultados, luego la maquina ejecuta las operaciones previstas.

Se realizara los pasos de fabricación de un molde octogonal en la máquina CNC, de la Escuela de Mecánica, para comparar con la fabricación en una fresadora convencional en términos de tiempo y costo.

Es de gran importancia que el futuro profesional tenga conocimiento de los procesos de manufactura de mayor aplicación para la fabricación de piezas y materiales, así como de los procesos industriales básicos, ya que con la numerosa incorporación de empresas pequeñas y medianas basadas en procesos de manufactura y la incorporación de tecnología de punta para mantener o aumentar sus índices de competitividad se hace necesario que los conocimientos adquiridos sean llevados a la práctica con la elaboración de trabajos como este.

INTRODUCCIÓN

Los procesos de manufactura son la forma de transformar la materia prima que hallamos, para darle un uso práctico en nuestra sociedad y así disfrutar la vida con mayor comodidad.

Con el rápido desarrollo de nuevos materiales, los procesos de fabricación se están haciendo cada vez más complejos, de ahí nace la importancia de conocer los diversos procesos de manufactura mediante los cuales pueden procesarse los materiales. La industria requiere actualmente de tales conocimientos y es por eso que el presente trabajo pretende que nosotros apliquemos los conocimientos adquiridos en la materia de Manufactura Industrial.

El CNC tuvo su origen a principios de los años cincuenta en el Instituto de Tecnología de Massachussets (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.

CNC “**control numérico computarizado**”. En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. 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.

En una máquina CNC una computadora controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo. Una vez programada la máquina, ésta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador esté manejándola.

También se emplean sistemas CAD/CAM que generan el programa de maquinado de forma automática. En el sistema **CAD** (*diseño asistido por computadora*) la pieza que se desea maquinar se diseña en la computadora con herramientas de dibujo y modelado sólido. Posteriormente el sistema **CAM** (*manufactura asistida por computadora*) toma la información del diseño y genera la ruta de corte que tiene que seguir la herramienta para fabricar la pieza deseada; a partir de esta ruta de corte se crea automáticamente el programa de maquinado, el cual puede ser introducido a la máquina mediante un disco o enviado electrónicamente.

1. ASPECTOS GENERALES

1.1 Planteamiento:

Experiencia en la fabricación de un molde para hacer octogonales en un Centro de maquinado Vertical (VMC) comparado con la fabricación en una fresadora normal.

1.2 Justificación:

Ninguna otra invención desde la revolución industrial ha tenido un impacto semejante en la sociedad que la computadora. Se han aplicado simples programas y control de las operaciones de las maquinas. Estos dispositivos han ido mejorando poco a poco de manera continua hasta hoy día son unidades altamente complejas capaces de controlar completamente por programación, mantenimiento, solución de problemas y la operación de una sola máquina o de un grupo de máquinas.

En la actualidad, aquí en la industria existen empresas que cuentan con máquinas VMC, por lo tanto ya se pueden realizar moldes de octogonales para electricidad. Estos moldes se realizan con máquinas fresadoras convencionales y esto se hace solo con la habilidad del operador y esto conlleva errores y tiempo extensos en la fabricación.

Poder demostrar que la nueva tecnología en máquinas herramientas puede mejorar la calidad y rapidez en fabricación de moldes que una fresadora normal.

Se debe tener un análisis de costos sobre la fabricación del molde y compararlo entre las fresadoras y así resultara una mejor justificación del tipo de máquina que puede ser mejor en la fabricación de este molde.

Esta experiencia ayudara a Ingenieros, encargados de talleres, empresarios, estudiantes de la carrera de Ingeniera mecánica.

1.3 OBJETIVOS:

1.3.1 Generales:

Obtener de las experiencias en fabricación de moldes para mejorar los procesos en la industria.

1.3.2 Específicos:

- Experiencias en la fabricación de moldes en una fresadora Normal.
- Experiencias de la manufactura de moldes octogonales
- Experiencias en la fabricación de moldes en una maquina VMC.
- Experiencia en la estimación de tiempos y costos en la fabricación de moldes octogonales.

1.4 Alcance del trabajo

Este trabajo se alcanzara el objetivo de demostrar la comparación entre escoger la fabricación de un molde tipo hexagonal en una maquina CNC y un procesos manual. Para comparar entre tiempo y costo del trabajo de fabricación de un molde, esto se hará con una guía de entrevista y con la experiencia obtenida y solo se hará los pasos a realizar en la maquina, el programa sin llegar a realizarlo en una pieza real.

2. MARCO TEORICO

2.1 CENTRO DE MAQUINADO VERTICAL

Los centros de maquinado son máquinas de control numérico diseñadas para producción de lotes pequeños y medianos. El término “*CENTRO DE MAQUINADO*” fue desconocido antes del control numérico. Un centro de maquinado puede referirse a una o más máquinas de CN que tiene capacidad de maquinado de múltiples propósitos. Es incorrecto asumir que estas máquinas pueden hacer solamente operaciones de fresado. En los centros de maquinado se pueden hacer operaciones de:

- Fresado
- Taladrado
- Mandrinado
- Rimado y
- Machuelazo.

Pudiéndose llevar a cabo con la ayuda de accesorios. Dependiendo del tipo de máquina, en los centros de maquinado la parada y puesta en marcha de la máquina de cambio y selección de las herramientas, el contorneado en dos o tres direcciones empleando interpolación lineal y otro tipo de interpolación técnica, avance en uno o múltiplo de dos o tres ejes(2.4 a 2400 mm/min), posicionamiento en cualquier eje con desplazamiento rápido alrededor de (10m/min), marcha o parada del árbol a una velocidad y sentido de rotación programada, colocación de la mesa a la posición determinada, paro y circulación del refrigerante. Aunque estas máquinas son versátiles, las diferentes características son opcionales dependiendo del costo.

Fig. 2.1. Centro de maquinado vertical



Las máquinas muy costosas pueden sustituirse por otras diferentes. El control numérico ha tenido poco impacto en el maquinado efectivo, su contribución en la economía depende de las funciones auxiliares que lo apoyen, para maximizar toda economía práctica de esta versátil manufactura técnica, la pieza hasta donde sea posible debe quedar completamente maquinada en un solo montaje sin transferirla a otras diferentes máquinas.

Un cambiador automático de herramientas hace el cambio en 4 o más segundos y cortador por cortador el tiempo es de 8 a 10 segundos. Un almacén de herramientas puede tener desde 8 hasta 90 o más herramienta almacenada permanente o semípermanentemente según el trabajo lo requiera. Para la precisión deseada en la profundidad, es posible controlarla al hacer tocar por medio de un volante la punta de la herramienta en la superficie de la pieza; esta información es grabada sin la necesidad de la unidad de control conmutador capaz de recibir la programación en pulgadas o en sistema métrico.

El rendimiento de estas máquinas en volumen de virutas es de $115 \text{ cm}^3/\text{min}$ para el acero, y $230 \text{ cm}^3/\text{min}$ para el hierro colado. Las tolerancias para el mandrinado son $\pm 0.005 \text{ mm}$ para posicionamientos $\pm 0.003 \text{ mm}$ y profundidad de $\pm 0.003 \text{ mm}$. Dado que las múltiples operaciones son realizadas en un solo montaje de la pieza, la interrelación de las dimensiones se obtiene con mayor facilidad.

El aumento de herramientas en el almacén se puede hacer en una forma retroalimentadora.

Una maquina perfiladora de control numérico computado que tiene cabezales gemelos de 4kW y engranes reductores; está máquina usa fuera de ella paletas para cargar y descargar la máquina durante el fresado. Cada árbol ejecuta la misma operación. La máquina CNC es capaz de operar en unidades inglesas o métricas.

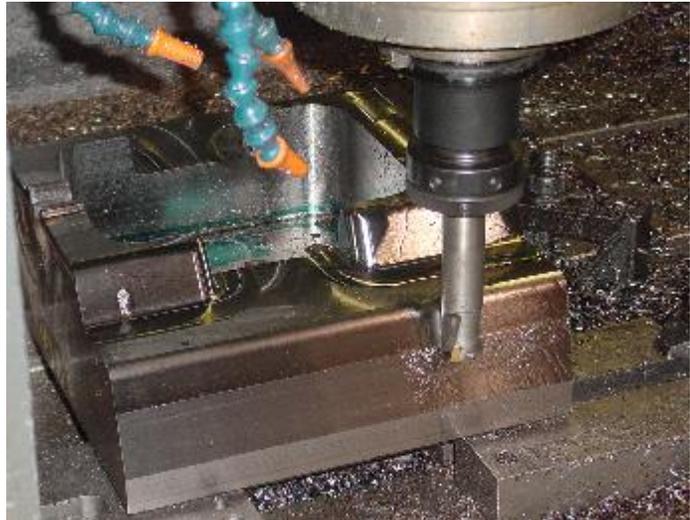


Fig. 2.2 Una centro de maquinado vertical haciendo un maquinado en una pieza de trabajo.

2.2 CNC significa "control numérico computarizado".

En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una 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 como se muestra en la imagen.

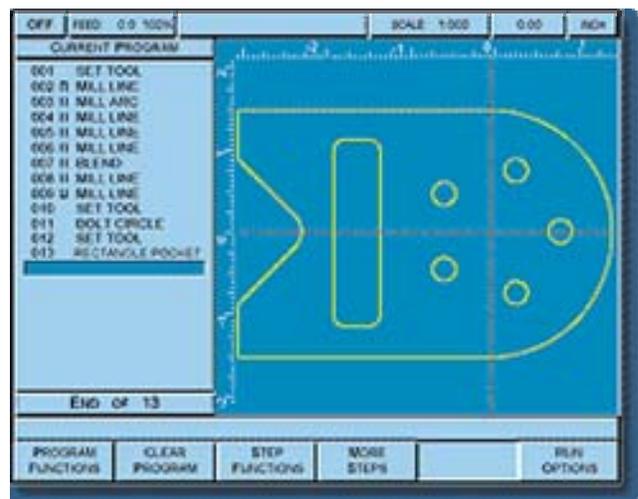
En una máquina CNC una computadora controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo. Una vez programada la máquina, ésta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador esté manejándola. Esto permite aprovechar mejor el tiempo del personal para que sea más productivo.

El término “control numérico” se debe a que las órdenes dadas a la máquina son indicadas mediante códigos numéricos. Por ejemplo, para indicarle a la máquina que mueva la herramienta describiendo un cuadrado de 10 mm por lado se le darían los siguientes códigos:

```
G90 G71  
G00 X0.0 Y0.0  
G01 X10.0  
G01 Y10.0  
G01 X0.0  
G01 Y0.0
```

Un conjunto de órdenes que siguen una secuencia lógica constituyen un **programa de maquinado**. Dándole las órdenes o instrucciones adecuadas a la máquina, ésta es capaz de maquinar una simple ranura, una cavidad irregular, la cara de una persona en altorrelieve o bajorrelieve, un grabado artístico un molde de inyección de una cuchara o una botella... lo que se quiera.

Fig. 2.3 diseño de una pieza de trabajo en un programa de computadora (CAD)



Al principio hacer un programa de maquinado era muy difícil y tedioso, pues había que planear e indicarle manualmente a la máquina cada uno de los movimientos que tenía que hacer. Era un proceso que podía durar horas, días, semanas. Aún así era un ahorro de tiempo comparado con los métodos convencionales.

Actualmente muchas de las máquinas modernas trabajan con lo que se conoce como “**lenguaje conversacional**” en el que el programador escoge la operación que desea y la máquina le pregunta los datos que se requieren. Cada instrucción de este lenguaje conversacional puede representar decenas de códigos numéricos.

Por ejemplo, el maquinado de una cavidad completa se puede hacer con una sola instrucción que especifica el largo, alto, profundidad, posición, radios de las esquinas, etc. Algunos controles incluso cuentan con graficación en pantalla y funciones de ayuda geométrica. Todo esto hace la programación mucho más rápida y sencilla.

También se emplean sistemas CAD/CAM que generan el programa de maquinado de forma automática. En el sistema *CAD (diseño asistido por computadora)* la pieza que se desea maquinar se diseña en la computadora con herramientas de dibujo y modelado sólido. Posteriormente el sistema *CAM (manufactura asistida por computadora)* toma la información del diseño y genera la ruta de corte que tiene que seguir la herramienta para fabricar la pieza deseada; a partir de esta ruta de corte se crea automáticamente el programa de maquinado, el cual puede ser introducido a la máquina mediante un disco o enviado electrónicamente.

Hoy día los equipos CNC con la ayuda de los lenguajes conversacionales y los sistemas CAD/CAM, permiten a las empresas producir con mucha mayor rapidez y calidad sin necesidad de tener personal altamente especializado.

En la manufacturación especializada en la utilización de Centros de Maquinado Vertical y productos rotativos enfocados a la producción de altos niveles de calidad para la Industria

del Maquinado de los metales. Si el cortado de metales es parte vital y estético en un trabajo, debemos de saber que el corte de calidad provee un alto valor.

2.3 FRESADORAS CONVENCIONALES

El diseño adecuado de las estructuras de las maquinas y herramientas requieren el análisis de factores como la forma, materiales de las estructuras, esfuerzos, peso, consideraciones de fabricación y rendimiento. El mejor enfoque para obtener lo ultimo en exactitud de las maquinas y herramientas es el empleo de las mejoras en la rigidez estructural y la compensación de las deflexiones con el uso de controles especiales. La estructura del bastidor en "C" sé a utilizado desde hace mucho tiempo por que permite fácil acceso a la zona de trabajo de la máquina. Con la aparición del control numérico, sé a vuelto practico el bastidor del tipo caja, que tiene una rigidez estática mucho mejor, por que se reduce mucho la necesidad de tener acceso manual de la zona de trabajo. El empleo de una estructura del tipo caja con paredes delgadas puede proporcionar bajo peso para una rigidez dada. El principio del diseño con peso ligero ofrece alta rigidez dinámica por que suministra una alta frecuencia natural de la estructura mediante la combinación de una elevada resistencia estática con un peso reducido, en vez de emplear una masa grande, esto es para las herramientas y el centro de control numérico.

En las fresadoras se emplean cortadores con dientes múltiples conocidos como fresas. El fresado suele ser de corte o periférico. El filo sé enfría en forma intermitente, por que los cortes no son continuos. Las bocas de los huesillos y portaherramientas estándar de las fresadoras permiten intercambiar portaherramientas y fresas para fresado de frente, sin que importen la construcción o el tamaño de la máquina.

La clasificación de las fresadoras se basa en su diseño, operación o finalidad. Las fresadoras del tipo columna y cartela tiene la mesa y el caballete soportado sobre la cartela

ajustable verticalmente que está acuñada a la cara de la columna. La mesa se avanza en forma longitudinal sobre el caballete y este en forma transversal sobre la cartela para dar tres movimientos de avance.

Las máquinas de bancada fija son de construcción sencilla y rígida, su empleo principal es el trabajo de alto volumen de producción. Estas fresadoras suelen venir equipadas con aditamentos para sujetar con facilidad la pieza de trabajo y pueden construirse como de husillo sencillo o múltiple, sencillo o duplas.

En general se considera que dos clases de fresado representan todas las formas de estos procesos: periféricos y de frente. Cada uno tiene sus ventajas y la elección depende de numerosos factores, como el tipo y condición del equipo, duración de las herramientas, acabado superficial y parámetros del maquinado.

Descripción y partes de la fresadora

El fresado consiste en una herramienta rotatoria con múltiples filos cortantes que se mueve lentamente sobre el material para generar un plano o superficie recta. La dirección del movimiento de avance es perpendicular al eje de rotación. El movimiento de velocidad lo proporciona la fresa rotatoria.

Las partes principales de la fresadora universal son las siguientes:

- 1. CABEZAL.** Esta parte tiene como función la de sostener la herramienta que se desea utilizar, además de transmitir la potencia que viene del motor, esta parte puede ser sustituida por un árbol de transmisión.
- 2. MESA.** Esta descansa en correderas en el carro soporte y tiene movimiento longitudinal en el plano horizontal, sobre la mesa se coloca la pieza que se desea maquinar.

3. **COLUMNA.** Es la parte más grande de la máquina y esta montada en la base, es el apoyo de la mesa.
4. **VOLANTE AVANCE HORIZONTAL.** Este sirve para mover la mesa de izquierda a derecha y viceversa.
5. **VOLANTE AVANCE VERTICAL.** Este volante es el que permite desplazar la mesa de arriba hacia abajo y viceversa.
6. **VOLANTE AVANCE TRANSVERSAL.** Este dispositivo mueve el cabezal en una dirección perpendicular al desplazamiento horizontal de la mesa.

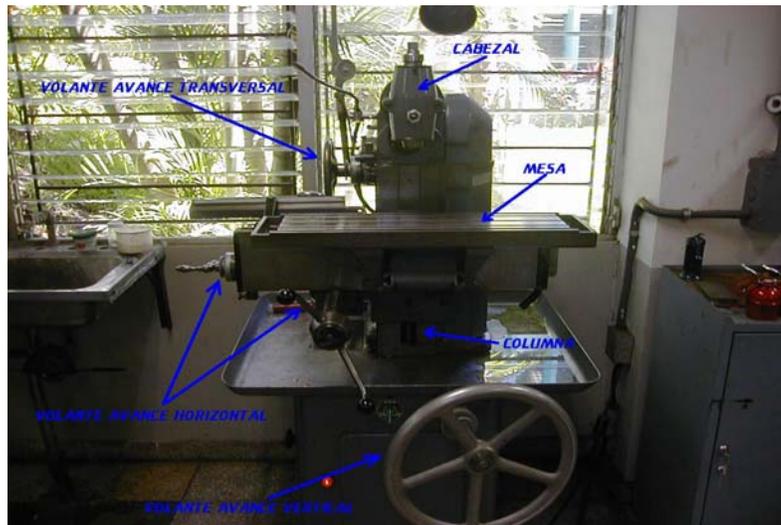


Fig.2.4 Fresadora convencional

2.4 TIPO DE HERRAMIENTAS UTILIZADAS EN LA FRESADORA

2.4.1 FRESA DE CORTE LATERAL

Este tipo de fresas son estrechas, cilíndricas y con dientes en cada lado y en la periferia se utilizan para cortar ranuras y caras verticales.

En este caso es una fresa de dientes rectos, y su montaje en la máquina se lleva a cabo mediante el uso de un árbol, que se coloca con su respectivo soporte en ves del cabezal.

Fig. 2.5 Fresa de corte lateral



2.4.2 FRESA CORTADORA DE ENGRANES.

Este tipo de fresadora esta dentro del grupo de *fresas perfiladas*, las cuales tienen la forma o perfil exactos de la pieza que se va a producir y permiten la reproducción exacta de piezas de forma irregular a menor costo que con la mayor parte de las otras fresas.

En este caso la fresa tiene exactamente la forma del engrane que se desea tallar. La sujeción es de la misma manera que la fresa de corte lateral.

Fig. 2.6 Fresa cortadora de engranes



2.4.3 FRESA ESCARIADORA CON DIENTES INTEGRALES.

Este tipo de fresadoras pueden tener dos o más acanaladuras, tienen dientes en el extremo y en la periferia y se instala en el husillo con un adaptador. Las fresas con dos acanaladuras, tienen filos de diferente longitud en el extremo y pueden utilizarse para taladrar agujeros poco profundos, en el caso de más de dos acanaladuras, como la de la fotografía, se requiere un agujero piloto para poder taladrar un agujero.

Fig. 2.7 fresa escariadora



2.4.4 SIERRA PARA CORTAR METALES

Estas son básicamente fresadoras delgadas para planchas. Algunas de ellas tienen los lados con rebajos o cóncavos para evitar rozamientos o que se atasquen cuando están en uso y las otras tienen dientes laterales.

Fig.2.8 Fresa sierra



2.5 Comparación entre una fresadora convencional y un centro de mecanizado vertical (VMC)

Cuadro 2.1 Comparación entre una fresadora convencional y VMC

OPERACIÓN A REALIZAR	FREASADORA CONVENCIONAL MANUAL	CENTRO DE MECANIZADO CNC
1-Introducir el programa	No utiliza programas	Se puede programar directamente través de un software CAD-CAM que transmite el programa a la máquina mediante disket o directamente por la puerta serial por el teclado de la máquina o a RS-23. En cualquiera de los casos se hace uso de la memoria de la máquina.
2- Sujeción de la pieza	Se debe realizar en forma manual, fijando la pieza con algún sistema de sujeción sobre la mesa de la máquina. Se debe regular visualmente o con instrumentos adicionales el nivel horizontal de la pieza, su linealidad, el paralelismo, su altura, etc.	La máquina puede estar equipada con un sistema cambiador automático de paletas, El cambiador automático sujeta una pieza en bruto mientras la máquina mecaniza otra. Tan pronto como una pieza esté acabada, se cambian automáticamente las paletas y comienza de nuevo la ejecución del programa.

<p>3- Sujeción de la herramienta</p>	<p>Se realiza en forma manual y cada vez que se requiera de un cambio de herramienta, también debe hacerse de forma manual</p>	<p>La máquina viene dotada de una torreta múltiple en la que se pueden fijar 6, 12, 18, 22 ó más herramientas. De manera automática es tomada la herramienta con la que trabajará y de la misma forma realiza los cambios de ésta.</p>
<p>4- Fijación del punto de referencia misma</p>	<p>El operario en forma manual desplaza los carros longitudinal transversal y vertical hasta que la herramienta hace contacto. Con el punto de referencia. Tal posición en coordenadas X,Y,Z del punto de referencia el operario lo debe registrar por escrito leyendo los datos desde los tambores graduados de cada carro Para cada herramienta diferente que utilice debe repetir esta operación.</p>	<p>Si bien los desplazamientos de los diferentes carros longitudinal transversal y vertical se realizan en modo manual, a la máquina se monta un palpador electrónico que al hacer contacto físico con el punto de referencia se registran en forma automática las coordenadas X,Y,Z de tal posición. Se graban estos valores en la memoria de la máquina y con los datos previamente introducidos de altura y diámetro de las herramientas montadas en la torreta, quedan todas Automáticamente seteadas según la referencia.</p>
<p>5- Ajustar la velocidad de giro del husillo</p>	<p>Se realiza en forma manual mediante sistema de palanca de cambio de velocidades que posee la máquina. Existiendo tantas velocidades como combinaciones de posición de palancas que posea la máquina.</p>	<p>Se realiza en forma automática por programa. La máquina posee todo el rango de velocidades de 0 [rpm] a su valor máximo, cambiándose en forma automática tantas veces como se haya especificado en el programa en ejecución.</p>

<p>6- Desplazar los carros de los ejes.</p>	<p>Se realiza en forma manual, girando las manivelas de cada eje tantas vueltas como sean necesarias para alcanzar la posición deseada Y de acuerdo al avance por vuelta que tenga el tornillo de cada eje teniendo que verificar la posición con apoyo de instrumentos de medición externos.</p>	<p>Se realizan mediante botones regulando arbitrariamente las velocidades de avance para alcanzar la posición deseada y verificando la posición leyendo las coordenadas directamente desde la pantalla del computador de la máquina.</p>
<p>7. Verificar la precisión</p>	<p>La pieza una vez acabada, se verifican sus dimensiones finales haciendo uso de instrumentos metrológicos adicionales.</p>	<p>Se puede montar un sistema palpador electrónico y con este recorrer los contornos de la pieza ya mecanizada y se puede Leer directamente desde la pantalla del computador de la máquina las dimensiones finales de la pieza en los tres ejes coordenados. Independiente que además se puedan verificar las dimensiones finales haciendo uso de instrumentos metrológicos adicionales.</p>

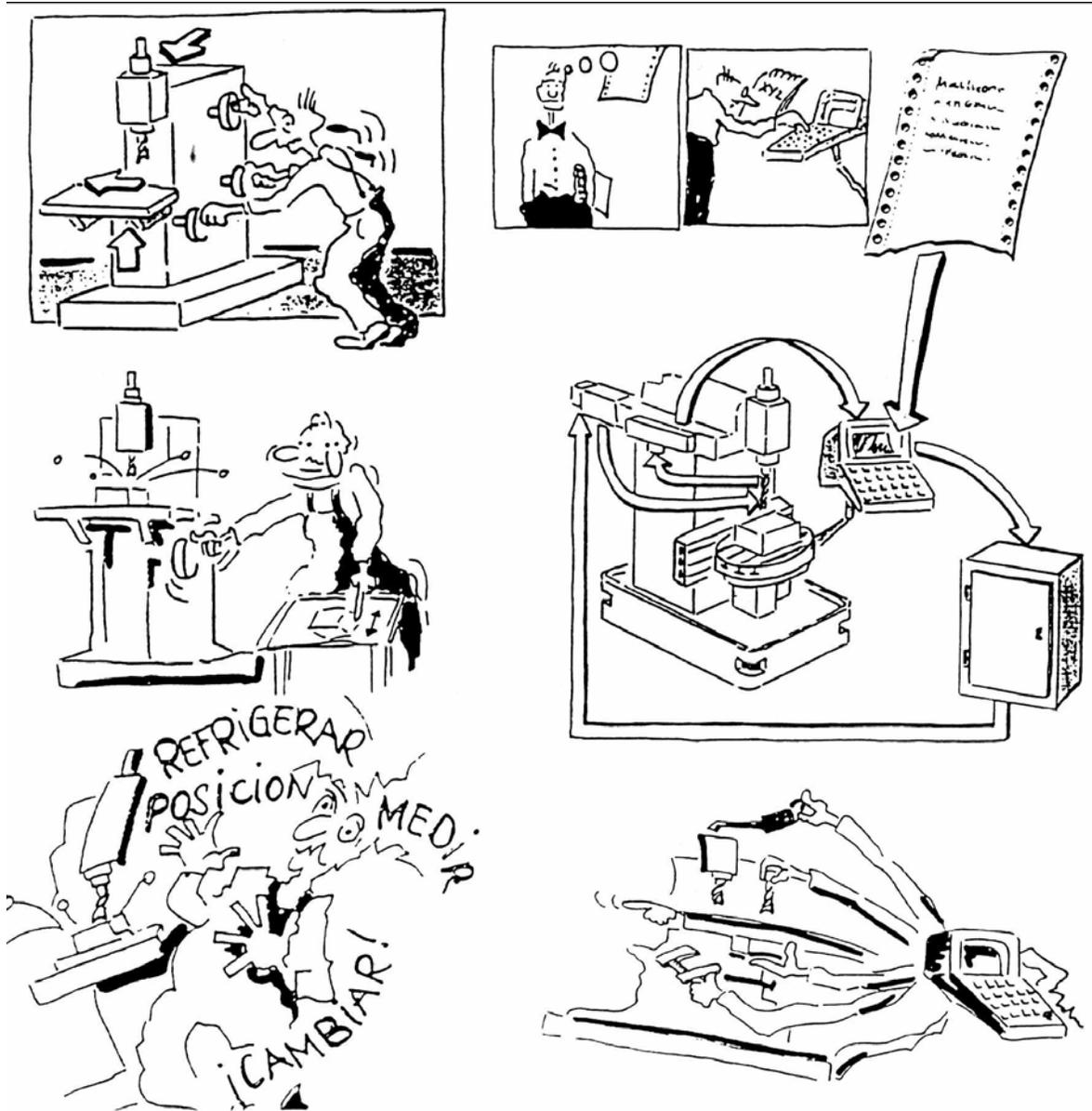


Fig. 2.9 Comparación entre una fresadora convencional y VMC

2.6 Factores influyen en la maquinabilidad de un material

La composición química del acero es importante. Cuanto mayor sea el contenido de la aleación del acero mayor será su dificultad para mecanizarlo. La maquinabilidad disminuye cuando se incrementa el contenido de carbono.

La estructura del acero también es importante para la maquinabilidad. Las diferentes estructuras incluidas son: forjado, fundido, extrusión, laminado y mecanizado. Las forjas y fundiciones pueden tener también estructuras superficiales de difícil mecanización.

La dureza es uno de los factores principales que afectan a la maquinabilidad. La regla general es que cuanto mayor dureza tenga el acero más difícil será de mecanizar. Puede utilizarse HSS hasta 330-400 HB, HSS + TiN hasta 45 HRC. Hasta 65-70 HRC debe utilizarse metal duro, cerámica, cermet y CBN.

Inclusiones no metálicas, generalmente tienen una mala influencia en la vida de la herramienta. Un ejemplo es el Al₂O₃ (óxido de aluminio), aunque, siendo cerámica pura, resulta muy abrasivo.

Finalmente, las tensiones residuales pueden causar problemas de maquinabilidad. A menudo es recomendable estabilizar las tensiones después de una operación de desbaste.

2.7 Tipos de operaciones principales y más comunes en la fabricación de moldes

El proceso de mecanizado debería realizarse al menos en 3 tipos de operaciones:

Desbaste, semiacabado y acabado, e incluso algunas veces súper acabado (mayoritariamente aplicaciones HSM). Por supuesto, las operaciones de fresado son realizadas después de un semiacabado, como una preparación para el acabado. Es muy importante esforzarse en cada operación para obtener un resultado de mecanizado satisfactorio, lo que conducirá a distribuir correctamente la creces de material y preparar la siguiente operación y herramienta (asignación). La vida de la herramienta aumenta y es más predecible en un proceso de mecanizado en el que se realizan los mínimos cambios posibles de la trayectoria y de la carga de la herramienta. Si es posible, las operaciones de acabado deberían llevarse a cabo en máquinas-herramienta específicas. Esto aumentará la exactitud geométrica y la calidad del molde o matriz, consiguiendo tiempos más cortos de pruebas y de montaje.

2.8 Herramientas que se utilizan en este tipo de operaciones

Operaciones de desbaste: fresas con insertos redondos, fresas de punta esférica, fresas de radio grande.

Operaciones de semiacabado: fresas tóricas (fresas con inserto redondo en gama de diámetros de 10-25 mm), fresas de punta esférica.

Operaciones de acabado: fresas tóricas, fresas de punta esférica.

Operaciones de fresado: fresas tóricas, fresas de punta esférica, fresas rectas. Es muy importante optimizar el proceso de corte seleccionando las fresas de tamaño adecuado, combinando la calidad y geometría, así como los datos de corte y las estrategias de fresado adecuadas.

2.9 Pasos en el maquinado con fresas

Puesto que una fresa es una herramienta con multiaristas de corte puede tener un número variable de dientes (z), y existen ciertos factores que ayudan a determinar el número, dependiendo del tipo de operación a realizar. El material y el tamaño de la pieza a mecanizar, la estabilidad, acabado, y el potencial disponible son los factores más orientativos para el mecanizado, mientras que lo relativo a la herramienta incluye: suficiente avance por diente, a las menos dos aristas de corte en contacto, cortando simultáneamente, y que la capacidad de viruta sea amplia.

El paso (u) de una fresa de corte es la distancia entre dos aristas de corte consecutivas. Las fresas están clasificadas en paso grande, normal o reducido, y la mayoría de las fresas.

El paso normal significa mayor número de dientes y capacidad moderada para la viruta, y permite cortar gran cantidad de volumen de material. Normalmente se utiliza en fundición y para operaciones de mecanizado semipesado en aceros. El paso normal es la primera elección para el fresado en general, y se recomienda para una productividad mixta. El paso grande significa menor número de dientes en la periferia de la fresa y grandes alojamientos de viruta.

El paso grande es utilizado a menudo para el mecanizado en desbaste y acabado de acero, y donde la tendencia a las vibraciones puede ocasionar problemas en la operación. La fresa de paso grande es la auténtica "solucionadora de problemas", y es la primera elección para fresado con grandes voladizos, máquinas de pequeña potencia u otras aplicaciones donde deben minimizarse las fuerzas de corte.

Las fresas de paso reducido tienen un alojamiento de viruta pequeña y permiten una amplia gama de grandes avances. Estas fresas son adecuadas para mecanizados de superficie en fundición con corte interrumpido, desbastes de fundición y pequeñas pasadas de corte en acero, por ejemplo, mecanizado de titanio. También en materiales donde la velocidad de corte debe mantenerse baja. Los cuerpos de las fresas pueden ser de paso

regular o diferencial. Diferencial significa que los pasos entre dientes o insertos son desiguales y es una buena solución para resolver problemas de vibraciones.

Cuando existe riesgo de vibraciones es recomendable utilizar una fresa de paso grande con pocos insertos, es decir, el menor número posible, así como pocos dientes, esto implicará un menor riesgo de vibraciones. Una fresa de diámetro pequeño puede mejorar la situación. Siempre deberá aplicarse la geometría y calidad adecuada y filos agudos en combinación con calidades tenaces.

3 FABRICACIÓN DE MOLDE OCTOGONAL EN LAS DIFERENTES MÁQUINAS

3.1 FABRICACIÓN DE UN MOLDE OCTOGONAL EN UNA FRESADORA CONVENCIONAL

A continuación colocara la guía de entrevista que se realizó al técnico Gustavo Roldan. El opera una máquina fresadora convencional.

Instrucciones: Responde las siguientes preguntas subrayando la opción que creas correcta.

1. Marca la máquina en que laboras:

a) fresadora normal

b) máquina VMC

2. ¿Qué herramienta utilizas para hacer un molde octogonal?

bandera con buril mesa divisora

mesa divisora

fresa vertical de ¼ "

buril de ½ ",

brocas de diferente diámetros hasta llegar al agujero deseado

fresa vertical de ½"

3. ¿Qué tiempo utilizaste para hacer el molde octogonal?

___30 horas_____

4. ¿Que parte de la fabricación le dificulto más?

___el octogonal_____

5. ¿En qué material uso para la fabricación del molde?

___Acero para templar (Df- 2)_____

6. ¿Ha influido el fluido de corte en tu trabajo de maquinabilidad?

a) si Porque?:_____acabado y que no pierda filo la herramienta de corte

b) no Porque? _____

7. ¿Cuáles son los tipos de operaciones principales y más comunes en la fabricación de moldes?

_Se debe primero rectificar la cara en el torno y hacer el agujero aproximado al tamaño mas pequeño del octogonal y después colocarlo en la fresadora centrarlo, alinearlo, y rectificar los lados del molde y luego terminar de hacer el octogonal con la ayuda de la mesa divisora.

8. ¿Qué tipos de herramientas deberían utilizarse principalmente en este tipo de operaciones?

_____fresas verticales

9. ¿Por qué es necesario tener diferentes pasos en las fresas?

_____se debe tener paso de 1/16” por pasada, ya que el material es duro y podría desafilar la fresa.

10. ¿Qué estrategia de corte en el molde se uso?

_____desbaste en el torno y fresadora, después se termina con el acabado del hexagonal. _____

Derivado de la entrevista se dispone a rectificar el molde octogonal, primero en el torno, esto se hace en las caras y se aproxima el agujero a una medida inferior al octogonal, después se centra en la mesa divisora y se empieza a rectificar el octogonal con un fresa de ¼, con paso de un 1/16 hasta el proceso de acabado, y después se empieza a hacer los agujeros empezando con una broca de centro y luego con broca de ½ “ y luego con la broca del diámetro adecuado. Todo esto le lleva 30 horas de trabajo.

Fig. 3.1 fresa vertical



3.2 FABRICACIÓN DE UN MOLDE OCTOGONAL EN CENTRO MECANIZADO VERTICAL (VMC)

Primero se dispone a dibujar la figura en el programa CAD del molde octogonal

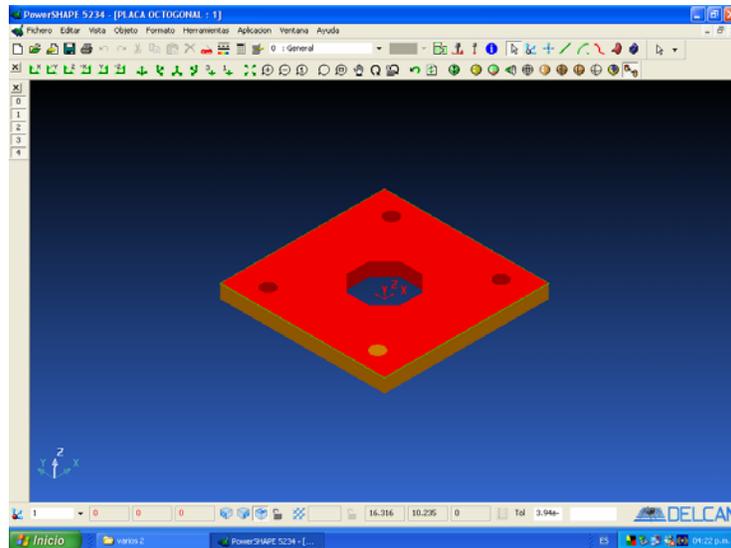


Fig. 3.2 Dibujo del molde octogonal en un programa CAD

El segundo paso es hacer el programa NC para poder mecanizarlo en la maquina VMC, esto se hace con otro software CAM

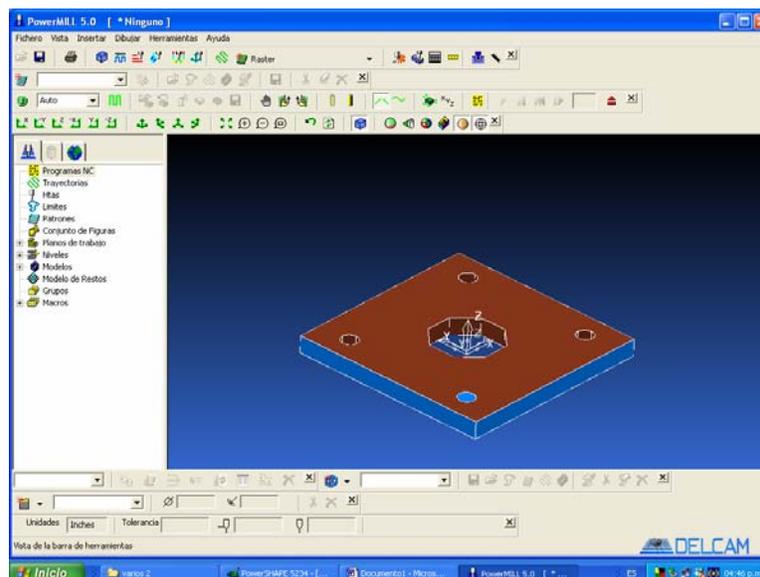


Fig. 3.3 Envío del dibujo al programa CAM

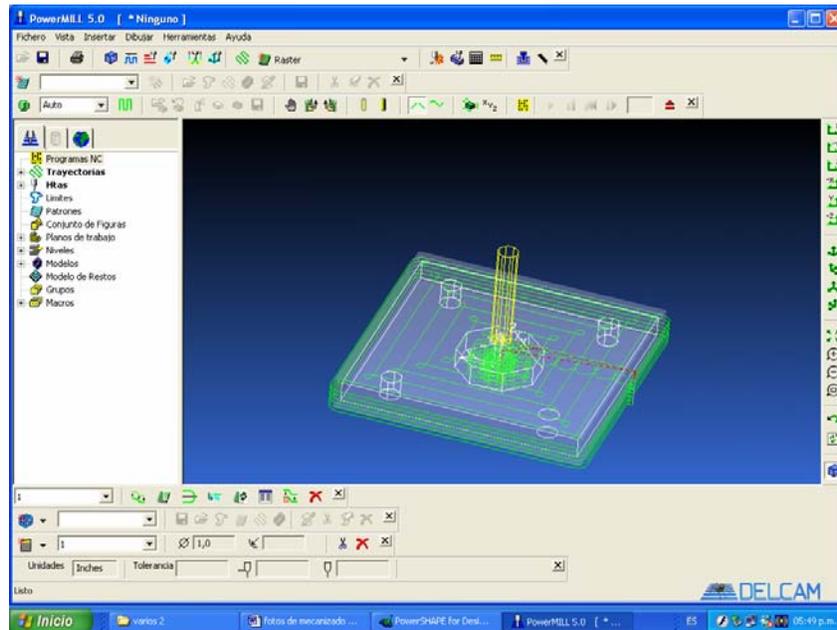


Fig. 3.4 Trayectorias de la herramienta en el programa CAM

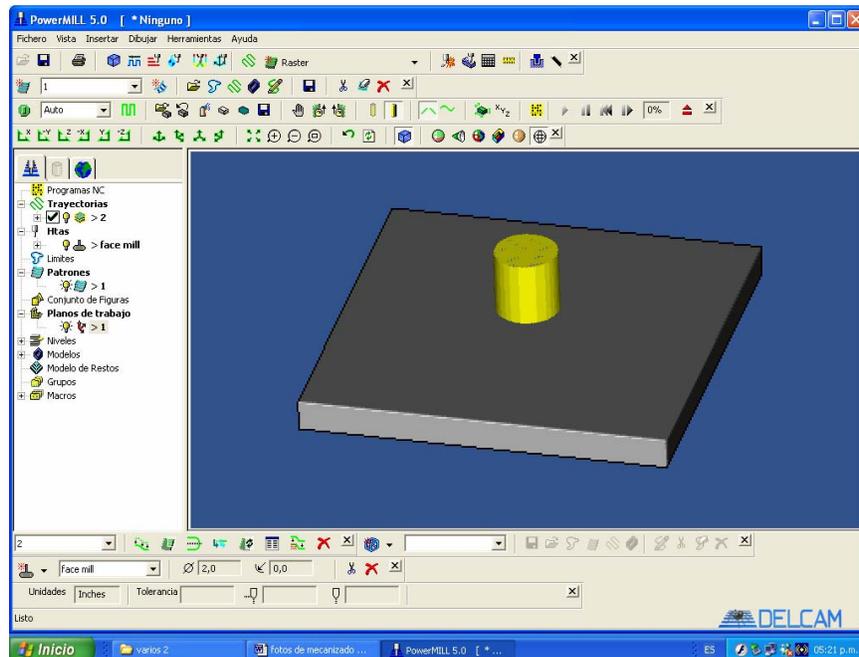


Fig. 3.5 Selección de la herramienta

Se puede simular con el software el mecanizado del molde en el programa.

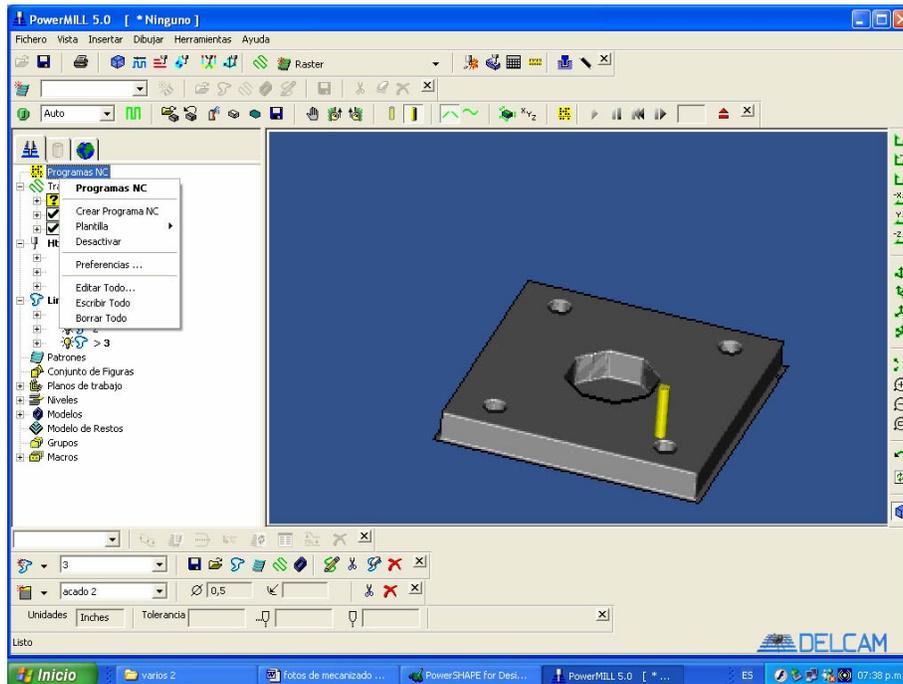


Fig. 3.6 Simulación del programa

Después de estos procesos hacemos el programa NC:

Se coloca parte del programa ya que es demasiado grande para colocarlo todo.

```

: 0001
G91 G28 X0 Y0 Z0
G40 G17 G80 G49
G0 G90 Z1.6
T1 M6
G54 G90 T2
( Nombre de trayec.: 1,000 )
( Salida: )
( UNIDADES: PULGADAS )
( COORDENADAS DE HTA: PUNTA )
( REFRIGERANTE: ACTIVADO )
( NUM. DE HTA.: 1 )
( Bloque: )
( MIN X: -6,3 )
( MIN Y: -6,3 )
( MIN Z: -0,3 )
( MAX X: 6,3 )
( MAX Y: 6,3 )

```

(MAX Z: 1,3)
 (SISTEMA COORDENADAS: PLANO DE TRABAJO)
 (Origen - Hta. Torica:)
 (X: 0,000)
 (Y: -0,000)
 (Z: 1,600)
 (Herramienta: ENDMILL)
 (Longitud de la herramienta necesaria: 5,000)
 (Herramienta ID: 1)
 (Numero de Dientes: 2)
 (DIAMETRO: 1)
 (Seguridad:)
 (Movimientos Corte Herramienta: No Colisiones Seguridad)
 (Entrada Herramienta: No Colisiones Seguridad)
 (Uniones Herramienta: Colisiones No Verificadas)
 (Movimientos Corte Portaherramientas: Colisiones No Verificadas)
 (Entradas Portaherramientas: Colisiones No Verificadas)
 (Uniones Portaherramientas: Colisiones No Verificadas)
 (Trayectoria : OFFSET Roughing)
 (PASO: 1)
 (TOLERANCIA: 0,01)
 (ESPESOR: 0,05)
 (Estadísticas de trayectoria:)
 (LONGITUD: 757,965)
 (TIEMPO: 0/10/28)
 (LEVANTADAS: 13)
 X0 Y-6.825 S1500 M3
 G43 Z1.1 H1 M8
 G1 Z1.06 F35
 Y-6.8 F70
 G2 G17 X.205 Y-6.305 R.7
 G3 X0 Y-5.81 R.29
 G1 X-5.81
 X-6.013
 G3 X-6.1565 Y-6.1565 R.203
 X-5.81 Y-6.013 R.203
 G1 Y-5.81
 Y5.81
 Y6.013
 G3 X-6.1565 Y6.1565 R.203
 X-6.013 Y5.81 R.203
 G1 X-5.81
 X5.81
 X6.013
 G3 X6.1565 Y6.1565 R.203
 X5.81 Y6.013 R.203
 G1 Y5.81

Y-5.81
Y-6.013
G3 X6.1565 Y-6.1565 R.203
X6.013 Y-5.81 R.203
G1 X5.81
X0
G3 X0 Y-6.7802 R.4851
X0 Y-4.82 R.9801
G1 X-4.82
X-5.023
G3 X-5.1665 Y-5.1665 R.203
X-4.82 Y-5.023 R.203
G1 Y-4.82
Y4.82
Y5.023
G3 X-5.1665 Y5.1665 R.203
X-5.023 Y4.82 R.203
G1 X-4.82
X4.82
X5.023
G3 X5.1665 Y5.1665 R.203
X4.82 Y5.023 R.203
G1 Y4.82
Y-4.82
Y-5.023
G3 X5.1665 Y-5.1665 R.203
X5.023 Y-4.82 R.203
G1 X4.82
X0
G3 X0 Y-5.7902 R.4851
X0 Y-3.83 R.9801
G1 X-3.83
X-4.033
G3 X-4.1765 Y-4.1765 R.203
X-3.83 Y-4.033 R.203
G1 Y-3.83
Y3.83
Y4.033
G3 X-4.1765 Y4.1765 R.203
X-4.033 Y3.83 R.203
G1 X-3.83
X3.83
X4.033
G3 X4.1765 Y4.1765 R.203
X3.83 Y4.033 R.203
G1 Y3.83
Y-3.83

Y-4.033
G3 X4.1765 Y-4.1765 R.203
X4.033 Y-3.83 R.203
G1 X3.83
X0
G3 X0 Y-4.8002 R.4851
X0 Y-2.84 R.9801
G1 X-2.84
X-3.043
G3 X-3.1865 Y-3.1865 R.203
X-2.84 Y-3.043 R.203
G1 Y-2.84
Y2.84
Y3.043
G3 X-3.1865 Y3.1865 R.203
X-3.043 Y2.84 R.203
G1 X-2.84
X2.84
X3.043
G3 X3.1865 Y3.1865 R.203
X2.84 Y3.043 R.203
G1 Y2.84
Y-2.84
Y-3.043
G3 X3.1865 Y-3.1865 R.203
X3.043 Y-2.84 R.203
G1 X2.84
X0
G3 X0 Y-3.8102 R.4851
X0 Y-1.85 R.9801
G1 X-1.85
X-2.053
G3 X-2.1965 Y-2.1965 R.203
X-1.85 Y-2.053 R.203
G1 Y-1.85
Y1.85
Y2.053
G3 X-2.1965 Y2.1965 R.203
X-2.053 Y1.85 R.203
G1 X-1.85
X1.85
X2.053
G3 X2.1965 Y2.1965 R.203
X1.85 Y2.053 R.203
G1 Y1.85
Y-1.85
Y-2.053

G3 X2.1965 Y-2.1965 R.203
X2.053 Y-1.85 R.203
G1 X1.85
X0
G3 X0 Y-2.8202 R.4851
X0 Y-.86 R.9801
G1 X-.86
X-1.063
G3 X-1.2065 Y-1.2065 R.203
X-.86 Y-1.063 R.203
G1 Y-.86

Ya teniendo el programa se traslada a la maquina por medio de una memory card (tarjeta de memoria) y se empieza el proceso de centrado y colocación de herramienta y posteriormente el mecanizado



Fig. 3.7 Centro de maquinado vertical, Bridgeport 2216

3.3 Tiempo de fabricación entre producir en una VMC vrs Fresadora convencional.

Cuadro 3.1 Comparación de tiempo entre una maquina VMC vrs Fresadora convencional

PROCESOS	FRESADORA CONVENCIONAL TIEMPO (HRS)	UNA MÁQUINA VMC TIEMPO (HRS)
Rectificado de caras	12 horas	1 hora
Maquinado del octogonal	12 horas	2 horas
Maquinado de agujeros	4 horas	1/2 hora
Software CAD/CAM		1/2 hora
Centrado y colocación de herramienta	2 horas	1 hora
total	30 horas	5 horas

3.4 Comparación de costos entre una maquina VMC vrs Fresadora convencional

Para hacer la comparación de los costos entre las maquinas se realizara el cálculo de los costos como sigue:

Fresadora normal:

- Mano de obra:

Sueldo mensual de Q3,840.00 + prestaciones (aguinaldo, bono catorce, tiempo de servicio), da un total al año de Q.57600.00 , después lo dividimos entre 12 meses,30 días y 8 horas de trabajo para un costo de mano de obra por hora de Q.20.00.

- Depreciación de la Maquina:

Debe ser de una depreciación de 20% anual. Con el valor de la maquina de Q.87,600.00 * 20% = Q.17,520.00, ahora lo dividimos entre 365 días y 8 horas por día, da un valor de Q.6.00 por hora.

- Funcionamiento de la maquina:

Electricidad	Q.20.00
Aceite refrigerante	Q.10.00
Aceite lubricante	Q.10.00
Mantenimiento	<u>Q. 5.00</u>
Total	Q.20.00

Maquina VMC

- Mano de obra:

Sueldo mensual de Q7,600.00 + prestaciones (aguinaldo, bono catorce, tiempo de servicio), da un total al año de Q.114,000.00 , después lo dividimos entre 12 meses,30 días y 8 horas de trabajo para un costo de mano de obra por hora de Q.40.00.

- Depreciación de la Maquina:

Debe ser de una depreciación de 20% anual. Con el valor de la maquina de Q.511,000.00 * 20% = Q.102,200.00, ahora lo dividimos entre 365 días y 8 horas por día, da un valor de Q.35.00 por hora.

- Funcionamiento de la maquina:

Electricidad	Q.40.00
Aceite refrigerante	Q.20.00
Aceite lubricante	Q.20.00
Mantenimiento	<u>Q.170.00</u>
Total	Q.300.00

Cuadro 3.2 Comparación de costos entre una maquina VMC vrs Fresadora convencional con varios moldes

	FRESADORA CONVENCIONAL Por hora	UNA MÁQUINA VMC Por hora
Mano de obra	Q.20.00	Q.40.00
Depreciación de maquina	Q.6.00	Q.35.00
Funcionamiento de la maquina (electricidad, aceite refrigerante, aceite)	Q.45.00	Q.300.00
Total por hora de cada maquina	Q.71.00	Q.375.00
Total de horas trabajadas	Q71.00 X 30 = Q. 2130.00	Q375.00 X 5 = Q.1875.00
Materia prima, acero	Q850.00	Q.850.00
herramienta	Q30.00	Q85.00
Total del proyecto	Q.3010.00	Q2810.00
10 moldes	Q3010 x 10 = Q30100	Q.2810.00 X 10 = Q.28100
Tiempo de 10 moldes	300 hora = 38 días	40 horas = 5 días

3.5 Discusión de resultados

Comparando los resultados se puede ver que en el tiempo de fabricación en una máquina fresadora convencional es de 30 horas y en un VMC es de 5 horas, es decir que resultaría más rápido hacerlo en una máquina VMC. Si fabricamos 10 moldes, en la fresadora convencional se necesitaría 38 días y en la VMC se necesitaría solamente 5 días, es una gran diferencia de tiempo donde se puede ver que la velocidad de fabricación es mejor.

En costo por la utilización del software y la herramienta se incrementa por hora de utilización de la máquina VMC que una fresadora convencional. Pero en la calidad del trabajo, las dimensiones exactas y la rapidez no se puede comparar.

Haciendo 10 moldes, el costo de hacerlo en una máquina VMC es de Q.28100.0. Ahora hacer el molde en una fresadora convencional, es de Q.30100.0, La diferencia en costo no es una gran diferencia, pero como les decía, el tiempo de maquinado es mucho mejor, y el costo de oportunidad se mejora en la VMC.

CONCLUSIONES

1. En esta comparación, la fabricación del molde octogonal se concluyó que es más rápido la fabricación en un centro de maquinado CNC que en una fresadora convencional.
2. Fabricar el molde en un centro de maquinado CNC se logra una gran tolerancia, rapidez, calidad superficial, una conservación de la herramienta de corte incomparable con una fresadora convencional que depende mucho del operador.
3. También se debe tener en cuenta que con varios moldes el tiempo se reduce en el centro de maquinado CNC y en la fresadora convencional se mantiene el mismo tiempo.
4. También la complejidad, es decir la forma del molde influye mucho en el tiempo de mecanizado de un molde.

RECOMENDACIONES

1. Se debe tener en cuenta que el tipo de material del molde influye en el maquinado, por lo tanto se debe hacer comparaciones con distintos aceros que se tienen en el mercado.
2. También se debe fabricar los moldes en otro tipo de maquinas, como centros de maquinado con tecnología más avanzada y fresadoras convencionales de otras marcas para hacer comparaciones entre los tiempos.
3. De deberá hacer pruebas con otro tipo de herramientas de corte para comparar si la fabricación es diferente, para así tener otra referencia de comparación.

BIBLIOGRAFÍA

1. Marks. 1982. **Manual del Ingeniero mecánico**, 2da edición en español Volumen 1, México. Harla.
2. Steve, Krar, Albert Check. 2003. **Tecnología de las maquinas herramientas**, Editorial Alfaomega. Quinta Edición.
3. Heinrich Gerling. **Alrededor de las Maquinas herramientas**. Editorial Reverte S.A. España.
4. .H. Amstead. Ph. F. Ostwald. M.L. Begeman. 1999. **Procesos de Manufactura Versión SI. B. Editorial Continental S.A.** México.
5. La maquinabilidad de los aceros. Disponible en www.metalmecanica.com. Consultado en noviembre 2006.
6. Tipos de herramientas de corte. Disponible www.kennemetal.com. Consultado en noviembre 2006.