



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**UNIDAD PROFESIONAL INTERDISCIPLINARIA DE
INGENIERÍA Y CIENCIAS SOCIALES Y ADMINISTRATIVAS**

***“METODOLOGÍA PARA LA CAPACITACIÓN EN
MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO
COMPUTARIZADO”***

**TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE:
MAESTRO EN CIENCIAS**

**CON ESPECIALIDAD EN:
INGENIERÍA INDUSTRIAL**

**PRESENTA:
RAMÓN AVIÑA HERNÁNDEZ**

DIRECTOR: Dr. ZOILO MENDOZA NUÑEZ



México D.F. 2011.



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México, D.F. siendo las 19:00 horas del día 7 del mes de junio del 2010 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis, designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de UPIICSA para examinar la tesis titulada:
"METODOLOGÍA PARA LA CAPACITACIÓN EN MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO"

Presentada por el alumno:

AVIÑA
Apellido paterno

HERNÁNDEZ
Apellido materno

RAMÓN
Nombre(s)

Con registro:

A	8	5	0	4	3	6
---	---	---	---	---	---	---

aspirante de:

MAESTRO EN CIENCIAS EN INGENIERÍA INDUSTRIAL

Después de intercambiar opiniones, los miembros de la Comisión manifestaron **APROBAR LA TESIS**, en virtud de que satisface los requisitos señalados por las disposiciones reglamentarias vigentes.

LA COMISIÓN REVISORA

Director de tesis

M. en C. ZOÍLO MENDOZA NUÑEZ

M. en C. MARÍA GUADALUPE OBREGÓN SÁNCHEZ

M. en I. JUAN JOSÉ HURTADO MORENO

DR. IGOR ANTONIO RIVERA GONÁLEZ

I. P. N.
DR. JUVENAL MENDOZA VALENCIA

LA PRESIDENTA DEL COLEGIO

DRA. MARÍA ELENA TAVERA CORTÉS



U. P. I. I. C. S. A
SECCIÓN DE ESTUDIOS
DE POSGRADO E
INVESTIGACIÓN



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, D.F. el día 2 del mes de agosto del año 2011, el que suscribe Ramón Aviña Hernández alumno del Programa de Maestría en Ciencias con especialidad en Ingeniería Industrial con número de registro A850436, adscrito a Sección de Estudios de Postgrado de la UPIICSA-IPN, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de Tesis bajo la dirección del Dr. Zoilo Mendoza Nuñez y cede los derechos del trabajo intitulado “METODOLOGÍA PARA LA CAPACITACIÓN EN MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO”, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la información no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo. Este puede ser obtenido escribiendo a la siguiente dirección electrónica avinaramon17@yahoo.com. Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Ramón Aviña Hernández

Nombre y firma

ÍNDICE

	Página
Índice de Figuras y Tablas	III
Glosario	V
Resumen	VII
Abstract	VIII
Introducción	1
CAPÍTULO I. DIFERENTES APLICACIONES DEL CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC) EN LA INDUSTRIA	3
1.1. Clasificación de las Máquinas-Herramienta (MH) con Arranque de Viruta	3
1.2. Principales Partes de un Equipo de CNC	4
1.2.1. Construcción	4
1.2.2. Cambiador de Herramientas	5
1.2.3. Cambiador de Pieza de Trabajo	6
1.2.4. Sistemas de Monitoreo.	7
1.3. Equipos de CNC	8
1.3.1. Máquinas-Herramienta de CNC (MHCNC) con Arranque de Viruta	8
1.3.1.1. Taladros	8
1.3.1.2. Máquinas Fresadoras de CNC	11
1.3.1.3. Tornos	15
1.3.1.4. Mandriladoras de CNC	23
1.3.1.5. Centros de Maquinado CNC	25
1.3.1.6. Máquinas Rectificadoras de CNC	32
1.3.2. Máquinas de CNC por Conformado de Material	35
1.3.2.1. Máquinas Punzonadoras	35
1.3.2.2. Máquinas de Corte con Arco de Plasma	36
1.3.2.3. Máquinas Láser	37
1.3.2.4. Dobladoras de CNC	42
1.3.2.5. Máquinas de Corte por Chorro de Agua	43
1.3.2.6. Maquinado por Descarga Eléctrica o Electroerosionado	46
1.4. Manufactura Integrada por Computadora o “Computer Integrated Manufacturing” (CIM)	47
CAPÍTULO II. IMPORTANCIA DEL CNC EN LA INDUSTRIA MODERNA	52
2.1. Ventajas y Desventajas de las MHCNC	53
2.2. Factores a Considerar Antes de Adquirir Equipos de CNC	54

2.2.1. Conocimiento Básico del CNC	55
2.2.2. Capital Requerido para la Inversión	55
2.2.3. Personal y Entrenamiento	56
2.2.4. Programación y Herramientas	58
2.2.5. Mantenimiento y Reparación	59
2.2.6. Análisis de Costo	60
2.2.7. Control de Calidad	60
2.2.8. Reducción de Inventarios	61
2.2.9. Entorno del Equipo de CNC	61
2.2.10. Responsabilidad de Servicio	62
2.3 Planeación de los Equipos de CNC	62
2.3.1. Fases de la Planeación de Ingeniería	62
2.3.2. Fases de la Planeación del Proceso	63
2.3.3. Fases de la Planeación Económica	66
2.3.4. Fase de Producción	68
CAPÍTULO III. METODOLOGÍA UTILIZADAS EN LA ENSEÑANZA DEL CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)	70
3.1. Institución Educativa	70
3.1.1. Lansing Community College, Michigan, E.U.	70
3.1.1.1. Pre-requisitos para Tomar el Curso de CNC	70
3.1.1.2. Descripción del Curso “Fundamentos de Programación en CNC”	71
3.1.1.3. Duración del Curso	71
3.1.1.4. Objetivos	71
3.1.1.5. Temario del Curso	72
3.1.2. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey, México	96
3.1.2.1. Temario del Curso	97
3.2. Empresa	100
3.2.1. Delphi, Michigan, E.U.	100
3.2.1.1. Temario del Curso	112
CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DEL CNC	116
4.1 Pasos Propuestos para la Metodología de la Enseñanza en General del CNC	116
4.2. Breve Descripción de los Pasos de la Metodología	117
4.2.1. Determinar la Necesidad de la Enseñanza del CNC en la Empresa	117
4.2.2. Pre-Requisitos para Tomar el Curso de CNC	117

4.2.3. Determinar el Nivel de Conocimientos del Personal antes del Curso	119
4.2.4. Desarrollo de los Temas a Nivel Técnico (T), Ingeniero (I) y Gerencia (G)	119
4.2.5. Material de Apoyo	120
4.2.6. Impartición del Curso	121
4.2.7. Actividades Teórico-Prácticas	122
4.2.8. Evaluación después del Curso	123
4.2.9. Certificación	123
4.2.10. Re-Certificación del Personal	123
4.2.11. Duración	123
4.2.12. Objetivos	124
4.2.13. Elaboración del Curso	124
4.2.14. Actualización del Curso	137
4.3. Ventajas y Desventajas de la Metodología Propuesta	137
4.4. Costos de Capacitación	138
Conclusiones	141
Bibliografía	143
Anexo A: Lista de Códigos G & M para el Centro de Maquinado Cincinnati Milacron de 3-ejes	147
Anexo B: Guía General para la Elaboración de un Programa de Control Numérico Computarizado Desarrollado por el Autor	149

ÍNDICE DE FIGURAS Y TABLAS

Figuras	Página
1.1. Aplicación de las Dobladoras	43
1.2. Proceso de Corte por Chorro de Agua	45
1.3. Concepto CIM	49
3.1. Regla de la Mano Derecha	76
3.2. Secuencia del Cambio de Herramienta	79
3.3. Posición Modo Absoluto	80
3.4. Posición Modo Incremental	81
3.5. Centro de Maquinado Cincinnati Milacron de 3-ejes	88
3.6. Fresado Helicoidal	92

3.7.	Interpolación Utilizando Plano X-Z, G18	93
3.8.	Torno Vertical Invertido	104
3.9.	Pantalla Principal del Panel de Control en Torno Vertical Invertido	105
3.10.	Torreta de Doce (12) Posiciones en el Torno Vertical Invertido	106
3.11.	Lista de Herramientas en el Monitor del Panel de Control	106
3.12.	Orientación del Filo de la Herramienta en el Torno Vertical Invertido	107
3.13.	Herramientas de Corte en el Torno Vertical Invertido Mostrando Plato Sujetador de Tres Mordazas y la Torreta con Herramientas	108
3.14.	Orientación de la Herramienta en el Torno Vertical Invertido	109
3.15.	Variables “@” Asignados y Utilizados para la Programación del Palpador de Medición	110
3.16.	Palpadores de Medición en el Torno Vertical Invertido	111
3.17.	Programa de CNC en el Torno Vertical Invertido	113
3.18.	Algunos Parámetros para Palpador de Medición en el Torno Vertical Invertido	114
4.1.	Dibujo Ejercicio de Programación en un Centro de Maquinado	126
4.2.	Dimensiones de la Materia Prima	127
4.3.	Identificación de las Superficies a Mecanizar	128
4.4.	Tornillo de Banco Sujetando la Materia Prima	129
4.5.	Origen Cero en la Pieza de Trabajo	130
4.6.	Operación 1, Desbaste de Superficie Superior y Operación 2, Desbaste de las Superficies Planas del Rectángulo	132
4.7.	Operación 3, Acabado Final de Superficies Planas y Operación 4, Mecanizado de Barreno Ciego de Ø 5 mm. x 15 mm. de Profundidad	133
4.8.	Operación 5, Mecanizado de Barreno Ciego de Ø 20 mm. x 26 mm. de Profundidad y Pieza Terminada	134
4.9.	Representación General en Un Bloque de Programación	135
4.10.	Ejemplo de Programación	136
Tablas		
4.1.	Fases del Trabajo y Lista de Herramientas	131

GLOSARIO

(G) – Nivel Gerencia

(I) – Nivel Ingeniero

(T) – Nivel Técnico

ACME - Tipo de rosca

AGV - Automated Guided Vehicles

AIA – Association of Industrial Aerospace

ASCII - American Standard Code for Information Interchange

ASRS - Automated Storage and Retrieval Systems

CAD – Computer-Aided Design

CAD/CAM/CNC - Computer-Aided Manufacturing/ Computer-Aided Manufacturing
/Computer Numerical Control

CAM – Computer-Aided Manufacturing

CAPP - Computer Aided Process Planning

CASA/SME - Computer and Automation Systems Association / Society of
Manufacturing Engineers

CAV – Corte de Alta Velocidad

CIM – Computer Integrated Manufacturing

CMM - Coordinate Measuring Machine

CN – Control Numérico

CNC - Computer Numerical Control (Control Numérico Computarizado)

CSIM – Centro de Sistemas Integrados de Manufactura

DAC – Diseño Asistido por Computadora

DNC - Direct Numerical Control

DXF - Data eXchange Format

EIA - Electronic Industries Alliance

EMAG – Nombre de Empresa Alemana fabricante de máquinas de CNC

F Letra - Designación de avance en programación

FEA - Finite Element Analysis

FMS – Flexible Manufacturing Systems

G Código – Función preparatoria se refiere a alguna forma de operación del equipo de CNC

GD&T – Geometric Dimensioning and Tolerancing

GT - Group Technology

HP – Horse Power

HSC - High Speed Cutting (Corte de Alta Velocidad)

IAC - Ingeniería Asistida por Computadora

IMTS - International Machine Tool Show

ITSM – Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey

LCC – Lansing Community College

M Código – Función Miscelánea o auxiliar establecen una variedad de comandos auxiliares tales como un paro del programa, iniciar o parar el giro del husillo, etc.

MAC – Manufactura Asistida por Computadora

MBMR – Math Base Metal Removal

MCU - Machine Control Unit

MCU – Machine Control Unit

MH – Máquinas-Herramienta

MHCNC –Máquinas-Herramienta de Control Numérico Computarizado

MIC - Manufactura Integrada por Computadora

MIT – Massachusetts Institute of Technology

PLC – Programmable Logic Controller

RPM – Revoluciones Por Minuto

SFM - Sistemas Flexibles de Manufactura

SMF – Sistemas de Manufactura Flexibles

T Código – Designación de número de herramienta en programación

USB - Universal Serial Bus

VICA – Vocational Industrial Clubs of America

RESUMEN

Los equipos de control numérico computarizado (CNC) en la industria metalmecánica se han desarrollado a tal grado que los productos que se fabrican en ellos alcanzan un alto grado de calidad. Al mismo tiempo, reducen el tiempo en el mecanizado comparado con las máquinas-herramienta convencionales. La adquisición de equipos de CNC requiere de una inversión inicial considerablemente alta. Esto implica una inversión adicional en refacciones costosas, y sobre todo, una inversión en la capacitación del personal técnico para la programación de los equipos una vez instalados en la planta. La mayoría de las empresas fabricantes o distribuidores de los equipos de CNC por lo general ofrecen en sus contratos de ventas la instalación, puesta en marcha y operación del equipo pero no la programación del control numérico computarizado (CNC).

Para asegurar un mejor aprovechamiento de los equipos y una mayor productividad, la empresa debe capacitar a su personal técnico y administrativo en el área de programación del CNC. Por lo tanto es necesaria la contratación de empresas dedicadas a ésta capacitación. Sin embargo, el costo de entrenamiento podría ser muy costoso, agregando además el costo de ausentar al personal de sus labores por un tiempo determinado. En este contexto, el presente trabajo tiene la finalidad de desarrollar una Metodología para la Capacitación en Maquinas de Control Numérico Computarizado para facilitar la creación de un programa de entrenamiento a nivel técnico, ingeniero y gerencia dentro de la empresa.

ABSTRACT

The computer numerical control (CNC) equipment in the metalworking industry has been developed to such degree that manufacturing products are being made with high standard of quality. Also, machining time has been reduced if we compare them to conventional machine tools. The purchase of CNC equipment requires an initial high investment. This investment includes an additional high cost of spare parts and the programming of computer numerical control (CNC) training for technicians once the equipment has been installed in the floor. In general, CNC equipment manufacturers and distributors contract sales only include installation, power up and equipment operation without including programming.

For a better equipment advantage and productivity increase, the company must train their technicians and staff in CNC programming. Therefore, it is necessary to hire businesses specialized on this field. However, the cost of training will be too expensive, in addition of the cost of sending their personnel out of the plant. Under this perspective, this research paper has the purpose to develop a Computer Numerical Control Machines Training Methodology to facilitate the creation of a training program for technician, engineer, and manager levels within the company.

INTRODUCCIÓN

El uso de equipos de control numérico computarizado (CNC) en la industria metalmeccánica se ha venido incrementando a tal grado que la mayoría de las empresas han adquirido por lo menos una máquina de CNC en los últimos años, independientemente del proceso y/o producto a fabricar.

Después de adquirir estos equipos, las empresas se encuentran con el dilema de conseguir el personal calificado que tenga la capacidad y experiencia en procesos de mecanizado y conocimientos en CNC. En la actualidad es posible encontrar operadores y personal de mantenimiento con un alto grado de habilidad en el manejo de máquinas-herramienta convencionales como son los tornos y fresadoras. También es posible encontrar técnicos, ingenieros e investigadores con un alto grado de conocimientos en matemáticas y computación. Aun cuando estas personas estén bien capacitadas en sus áreas de especialidad, el manejo y aprovechamiento óptimo de equipos de CNC requiere de la combinación de las dos habilidades y conocimientos mencionados arriba. Para complementar sus conocimientos, el personal necesitará de una capacitación en los conceptos básicos del CNC para que sea capaz de entender, operar o programar adecuadamente estos equipos. Por lo tanto, en el presente trabajo se propone una metodología para la enseñanza del CNC. La estructura general es la siguiente:

En el capítulo I se presentan las diferentes aplicaciones del CNC en la industria metalmeccánica. Aquí se ofrece un panorama amplio de lo que es el CNC y las máquinas herramientas convencionales que han utilizado esta tecnología. También se presentan las diferentes categorías de los equipos por el proceso de trabajo que realizan. En el capítulo II se describe la importancia de estos equipos en la industria así como sus ventajas y desventajas, también se describen los factores a considerar para su adquisición y un mejor aprovechamiento desde un punto de vista administrativo. En el capítulo III se describen las diferentes metodologías utilizadas en la enseñanza del CNC por dos instituciones educativas y una empresa automotriz. Para esto se hizo una investigación y recopilación de programas de estudio, temarios de clases y notas de los diferentes cursos de CNC. Aquí se muestra lo que se ofrece en cada curso de manera reducida para tener una idea de lo que se enseña.

En el capítulo IV se propone una metodología para la enseñanza del CNC que incluye 14 puntos y a su vez se desarrolla un programa de CNC como ejemplo a partir de un dibujo de fabricación.

Por último, se presentan las conclusiones, bibliografía y dos anexos.

CAPÍTULO I. DIFERENTES APLICACIONES DEL CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC) EN LA INDUSTRIA

En la actualidad la industria metalmecánica ha venido creciendo a un ritmo acelerado especialmente en el área de máquinas para procesos con arranque de viruta. Esto ha traído como consecuencia un desarrollo tecnológico altamente sofisticado, sobre todo con la introducción de la computadora, en los equipos para la manufactura. Desde su inicio, la computadora ha logrado que el manejo de la información sea de una manera eficaz, a un costo y tiempo reducido. Si a esto agregamos los paquetes de computadora que se han desarrollado como son los Editores de Texto, Control de Calidad, Diseño Asistido por Computadora (DAC) o “Computer-Aided Design” (CAD), Manufactura Asistida por Computadora (MAC) o “Computer-Aided Manufacturing” (CAM), paquetes de Inventarios, etc. Estos han contribuido a reducir aun más el proceso de obtener bienes y servicios al consumidor. Estos adelantos tecnológicos han contribuido de alguna manera que las máquinas herramienta de CNC (MHCNC) transformen la materia prima en un tiempo reducido, con un alto grado de eficiencia, calidad y a un bajo costo de producción comparado con las máquinas convencionales.

1.1. CLASIFICACIÓN DE LAS MÁQUINAS-HERRAMIENTA (MH) CON ARRANQUE DE VIRUTA

De una manera general la clasificación de las máquinas-herramienta convencionales más importantes es:

- Fresadoras
 - Fresadora Horizontal
 - Fresadora Vertical
 - Fresadora Universal
- Tornos
 - Torno Paralelo u Horizontal
 - Torno Vertical
 - Torno Revolver
- Cepillo

- Cepillo de Mesa
- Cepillo de Codo
- Taladro
 - Taladro de Mesa
 - Taladro de Columna
 - Taladro Radial
 - Taladro de varios cabezales
- Rectificadoras
 - Rectificadora de superficies planas
 - Rectificadora de superficies cilíndricas
 - Rectificadora sin centros

Los procesos de mecanizado que han sido por tradición hechos por las máquinas-herramienta convencionales, ahora es posible hacerlo con centros de maquinado de CNC que incluyen toda clase de trabajos de fresado (fresado frontal, de forma, ranurado, etc.), taladrado, machuelado, rimado, cilindrado interior y avellanado.

Para el torneado, los centros de torneado de CNC pueden hacer trabajos de refrentado, ranurado y cilindrado interior, torneado, ranurado, moleteado y roscado tanto interior como exterior. Cabe mencionar que algunos tornos de CNC en la actualidad tienen la capacidad de efectuar operaciones de fresado. Las operaciones de rectificado tanto exterior como interior también se hacen con máquinas rectificadoras de CNC. El rectificado de forma se ha expandido y ha creado una nueva tecnología en la fabricación de estos equipos. Anteriormente no se podían realizar estas operaciones en este proceso debido a las limitaciones en la tecnología existente, pero hoy en día esta práctica del rectificado de forma es común en muchos lugares utilizando el CNC.

1.2. PRINCIPALES PARTES DE UN EQUIPO DE CNC

1.2.1. Construcción

Con el objeto de mantener el grado de precisión requerido en los equipos de CNC, la máquina debe ser lo más rígida y robusta así como estar libre de vibraciones. Los baleros o rodamientos y husillos deben estar libres de juego. Los motores,

transmisiones y husillos deben estar contruidos con un alto grado de precisión, las guías corredizas deben ser rígidas y sin fricción estática con el propósito de evitar un efecto de frenado brusco. Los tornillos de bolas de recirculación deben construirse con un grado de baja fricción y libres de juego, estos se han utilizado ampliamente en lugar de los tradicionales tornillos guía con rosca tipo ACME que han venido utilizando por años en las máquinas convencionales.

Los husillos en la actualidad han incrementado su eficiencia de hasta un 98%. Como resultado de esto, la generación de calor se ha reducido drásticamente, además de que puede transmitir elevados torques y fuerzas en las herramientas de corte¹.

Los fabricantes de equipos de CNC las construyen de diferentes configuraciones de acuerdo al producto que se va a mecanizar. Por ejemplo, en el mecanizado de rotores para los frenos de disco, en la industria automotriz, se utilizan tornos verticales invertidos, estos tienen el cabezal en la parte superior de la máquina, la cual se desplaza linealmente sujetando la pieza de trabajo. La torreta esta colocada enfrente del operario y en la parte inferior de la máquina, mientras que otros tornos verticales tienen el cabezal en la parte inferior sujetando la pieza de trabajo y con la torreta en la parte superior la cual se desplaza en forma lineal en los ejes de coordenadas correspondientes.

1.2.2. Cambiador de Herramientas

Para satisfacer la demanda de proveer maquinaria con un alto grado de automatización, se han venido implementando y desarrollado nuevas soluciones mecánicas. Una solución a esto fue el cambiador de herramientas que fue montado a la máquina suministrando el cambio de herramienta sin la intervención del operario.

Las primeras soluciones al problema del cambio de herramienta se presentaron en los tornos y mandrinadoras. Esto se debió a que estas máquinas contaban con el uso de torreta con seis y ocho herramientas. Los cambiadores de herramienta actuales tomaron este concepto, a cada herramienta se le asigna un lugar fijo en la torreta donde permanece durante todo el proceso de mecanizado. Existe un dispositivo que acciona y hace avanzar la torreta. Este combinado con un código para registrar cada estación, hace

¹ Kief, Hans B. **CNC for Industry**. Editorial Hanser Gardner Publications. Cincinnati, OH. 1999. p.79.

posible llamar cualquier herramienta en la torreta. El uso de la torreta aún se sigue empleando en los centros de torneado de CNC. La torreta gira automáticamente a la derecha o a la izquierda para colocar la herramienta en la posición de mecanizado según la instrucción del programa de CNC.

Los centros de maquinado requieren de un gran número de herramientas para el mecanizado. En consecuencia, estas máquinas han venido utilizando cambiadores de herramientas del tipo carrusel, ya sea en posición horizontal o vertical, otros colocan los porta-herramientas en línea, otros en forma radial, etc. La operación del cambio de herramienta en los centros de maquinado básicamente consiste en regresar la herramienta usada al cambiador automático y colocar otra herramienta en el husillo, esto se puede lograr por medio de un brazo sujetador de herramientas².

Generalmente las MHCNC cuentan como mínimo con dos herramientas extra del mismo tipo. Esto se hace para evitar parar el equipo y efectuar el cambio de herramienta. Una vez que se establece la vida de la herramienta de acuerdo a la pieza a mecanizar, se coloca un número determinado de herramientas de repuesto en la torreta o carrusel para que la máquina no pare por lo menos en un turno de trabajo. Al terminar la vida de la herramienta, el programa de CNC junto con el programador lógico de control o “Programmable Logic Controller” (PLC) activa en forma automática la siguiente herramienta de repuesto disponible. Así el operario no tiene que intervenir y preocuparse por hacer cambios de herramienta durante el turno de trabajo. Todos los equipos de CNC están diseñados para parar automáticamente cuando la vida útil de todas las herramientas ha expirado. El sistema mostrará un mensaje en la pantalla del control solicitando cambio de herramienta al operario y la máquina no se podrá operar hasta que no se proceda al reemplazo de las herramientas indicadas.

1.2.3. Cambiador de Pieza de Trabajo

Los cambiadores automáticos de la pieza de trabajo han reducido substancialmente tiempos improductivos. El término de cambiador automático de la

² Krar, Steve F. y Oswald, John. William. **Technology of Machine Tools**. Editorial McGraw-Hill. 4th Edition. USA. 1990. p. 551.

pieza de trabajo, se refiere a cargar y descargar piezas en las MHCNC por medio de un sistema similar a un cambiador de mesa removible o “pallet” o un robot³.

Las mesas removibles, son usadas principalmente cuando la pieza de trabajo debe ser colocada en un dispositivo de sujeción y en donde se consume demasiado tiempo para sujetarla. Esta operación es realizada por el operario mientras otra pieza esta siendo mecanizada. Los centros de maquinado se diseñan de tal manera que puedan recibir estas mesas removibles que por lo general se localizan a un costado de la máquina.

Los robots también son utilizados para cargar y descargar piezas de trabajo. Una de las aplicaciones más comunes es en la industria automotriz en donde se manejan grandes volúmenes de producción con operaciones repetitivas. Aquí se sincroniza la MHCNC y el brazo robot por medio del uso del PLC. Mientras el equipo esta mecanizando la pieza el robot esta en el modo de espera. Una vez que la pieza es terminada, se abre la puerta automáticamente y en ese momento el brazo robot procede a retirar la pieza terminada del dispositivo de sujeción, para luego colocarla en el transportador de banda y seguir así con la siguiente operación de mecanizado o colocarla en un área designada para su verificación. Este tipo de sistemas automatizados son de gran ayuda para los operadores, especialmente cuando el trabajo es repetitivo por la acción de cargar y descargar o cuando la pieza de trabajo es demasiado pesada.

1.2.4. Sistemas de Monitoreo

Si se requiere que los equipos de CNC operen de una manera automática sin la intervención del operario la implementación de sistemas de monitoreo es muy importante. Estos sistemas, dependiendo de la aplicación y el uso que se requiera, pueden monitorear las herramientas de corte, las tolerancias de los platos de sujeción con diferentes tipos de mordazas o “chucks”, cambios en las dimensiones de las piezas, así como detectar errores en las máquinas y en el panel de control⁴.

³ Kief p.81.

⁴ Ibid pp.81-82.

Estos sistemas son de uso extensivo en la mayoría de los equipos de CNC en donde se requieren grandes volúmenes de producción. Existe una gran variedad de diseños, usos y aplicaciones particulares. Un ejemplo de aplicación sería que se tenga la capacidad de parar el equipo automáticamente, sin la intervención del operario, al detectar una colisión dentro del área de trabajo en la máquina. De esta manera el operario tendría la oportunidad de revisar la herramienta para ver si esta se dañó o que la pieza a maquinar se haya sujetado incorrectamente en el dispositivo, etc.

1.3. EQUIPOS DE CNC

Aunque el CNC se ha orientado fundamentalmente a las máquinas-herramienta con arranque de viruta, su utilización no está limitada a otros equipos. A continuación se presentan los equipos que utilizan el CNC divididos en sus diferentes categorías por el proceso de trabajo que realizan:

1.3.1. Máquinas-Herramienta de CNC (MHCNC) con Arranque de Viruta.

El arranque de viruta es un proceso en el que la herramienta de corte hace contacto con la pieza de trabajo desprendiendo material en forma de viruta para obtener una determinada forma y dimensión de acuerdo a los planos de fabricación. Dependiendo del proceso y máquina, la herramienta o la pieza a mecanizar puede estar en movimiento mientras que la otra está en condición estática o girando.

1.3.1.1. Taladros

Todas las máquinas para taladrar tienen en su diseño dos cosas en común⁵:

- A. Un husillo principal en posición vertical, en la cual sostiene la herramienta y ejecuta el movimiento de avance (en el eje Z, vertical) y
- B. Una mesa de trabajo, la pieza es sujeta en una posición que está debajo del husillo definida de acuerdo a los ejes X & Y.

La presión de la broca está aplicada directamente en forma vertical a la mesa de trabajo. Cuando se realiza la operación de taladrado la pieza de trabajo es presionada

⁵ Kief pp.83-84.

firmemente sobre la mesa por lo que no existe en ningún momento un movimiento horizontal de la pieza o el dispositivo evitando así el peligro de que se caigan de la mesa.

La máquina de taladrar de CNC en su forma más simple, cuenta con una mesa que es controlada en sus movimientos por medio del CNC. La profundidad de la broca es controlada por medio de topes mecánicos. El ciclo de taladrado en estos equipos se inicia por una señal que indica “mesa en posición”. Cuando la operación de taladrado ha sido terminada, otra señal es enviada al sistema del CNC, indicando “husillo en posición”. Hasta ese momento el operador retira la pieza de trabajo y procede a colocar otra en la mesa de trabajo. Después presiona el botón de inicio de ciclo en el panel del control para seguir operando la máquina. En este tipo de taladros también se puede realizar las operaciones de fresado.

Algunos equipos cuentan con el cambiador de herramienta automático lo cual ayuda a que el operario se concentre solamente en observar el maquinado de la pieza. También estos taladros cuentan con la selección de las revoluciones por minuto (R.P.M.) y avances programados de antemano en el control. Esto permite que los parámetros de maquinado se ajusten automáticamente de acuerdo al material de la pieza de trabajo y sin la intervención del operario.

Las máquinas taladradoras deben incluir ciclos fijos de taladrado. Estas son subrutinas que se encuentran en el control para uso del operario. Algunos de estos ciclos fijos de taladrado incluyen G81 hasta G89 y se cancelan por medio del código G80. Estos se seleccionan de acuerdo al trabajo de mecanizado a realizar.

La compensación de la herramienta también es necesaria en estos equipos. Esto permite utilizar cualquier herramienta con diferente longitud a la programada. La diferencia de longitud se incluye en la lista de datos de la herramienta en el control. En el programa de CNC se utiliza el código ó letra H para que tenga efecto la compensación.

A. Centros de Taladrado

Frecuentemente los clientes requieren que este tipo de máquinas sea más versátil en cuanto a automatización se refiere. Por esa razón se desarrollaron los centros de taladrado. Las mesas rotatorias con un eje horizontal han permitido el mecanizado de

piezas prismáticas expandiendo de esta manera los centros de taladradora. Con el propósito de reducir tiempos muertos, a estas máquinas se les han añadido dispositivos de sujeción y mesas niveladoras, estas se utilizan especialmente para grandes volúmenes de producción como en la industria automotriz. Esto ha permitido que las piezas de trabajo sean cargadas y descargadas manual o automáticamente fuera del área de trabajo de la máquina durante el mecanizado de piezas. Estas máquinas se pueden equipar con dos o tres husillos principales para incrementar los requerimientos de producción en lugar de utilizar un sólo husillo principal.

B. Máquinas Taladradoras para Circuitos Electrónicos

Una variación especial de la máquina taladradora ha sido desarrollada para el mecanizado de circuitos electrónicos en la industria de la electrónica⁶. En este tipo de equipos, una serie de circuitos electrónicos del mismo tipo se sujetan unas a otras. Estas son taladradas y fresadas simultáneamente empleando husillos múltiples de taladrado. Las herramientas son colocadas y depositadas en el cambiador de herramientas localizado al frente y parte trasera de la mesa de trabajo. Todos los husillos recogen sus herramientas o depositan estas en el cambiador de herramienta en un mismo lugar. De esta manera es posible ejecutar el proceso de taladrado de los circuitos electrónicos y fresar el contorno deseado empleando un sólo montaje.

El CNC de este tipo de máquinas especiales, requiere de ciertas funciones tales como:

- El control de dos ejes de coordenadas (X & Y) en trayectoria rápida y cuando se esta fresando a lo largo de una trayectoria con avance determinado.
- Selección de las unidades de medida por ejemplo se puede seleccionar unidades en pulgadas o milímetros
- Factor de escala para compensar por la expansión o contracción de los circuitos electrónicos después del mecanizado.
- Programación de subrutinas para taladrado de diferentes patrones con orificios en columna, orificios dispuestos en círculo, etc.,

- En algunos casos especiales, la rotación de orificios dispuestos en círculo es necesaria sólo cambiando el ángulo en el programa

Finalmente, el sistema del CNC deberá también controlar las siguientes funciones en la máquina:

- Selección de velocidades y R.P.M.
- Selección de avances para taladrado (Z) y fresado (X, Y)
- Función de escoger herramientas utilizando el cambiador de herramientas
- Encendido y apagado de taladrado
- Encendido y apagado de fresado

Todas estas funciones son controladas por medio de los códigos o funciones M. Por supuesto, el controlador deberá tener suficiente memoria para guardar programas de CNC muy grandes. Por esta razón, la velocidad de procesamiento del sistema de CNC deberá ser lo más rápida posible para prevenir cualquier tiempo de espera causado por el sistema al momento de leer el programa.

1.3.1.2. Máquinas Fresadoras de CNC

Estas máquinas se fabrican en tamaños del tipo medianas y pequeñas. La línea que separa las máquinas fresadoras de CNC y de los centros de maquinado se ha reducido a tal grado que en algunos casos estas son muy similares en cuanto a funcionamiento y capacidad de producir piezas complejas. Los fabricantes de máquinas fresadoras de CNC las han equipado con cambiadores de herramienta, cambiador de piezas de trabajo, husillos en posición horizontal y vertical, sistemas de CNC y múltiples ejes simultáneos de movimiento. Las máquinas fresadoras de CNC se fabrican en diferentes configuraciones. La diferencia radica en que existen fresadoras horizontales y verticales, con respecto a la posición del husillo principal⁷.

Una máquina fresadora de CNC sencilla y pequeña es una máquina convencional del tipo mesa-columna. Estas han sido las más utilizadas en talleres pequeños en donde se necesita un diseño compacto y a un precio razonable. Sin embargo la precisión que se

⁶ Kief pp.87-88.

⁷ Krar y Oswald pp.548-551.

puede obtener con estas máquinas no es la adecuada. Todas las máquinas fresadoras fabricadas hoy en día están equipadas con controles que soportan trayectoria continua de la herramienta de por lo menos para tres, cuatro y cinco ejes así como interpolación simultánea en todos los ejes. Por esta razón, existen muchos sistemas de programación asistidos por computadora. Estos sistemas generan programas de CNC para ese tipo de máquinas. Para la programación con CAM por lo regular se necesita un programador de tiempo completo cuando se requiere el mecanizado de piezas de trabajo complejas o en donde se llevaría demasiado tiempo la programación manual.

Cuando los talleres cuentan con operadores que tienen experiencia en programación, estos pueden realizarlo directamente usando el control de la máquina para generar mecanizados sencillos. Algunos controles de estas máquinas tienen la capacidad de simular gráficamente algunas operaciones como el contorno en una pieza. Este tipo de controles con estas opciones se han estandarizado que prácticamente todas las MHCNC cuentan con ello.

Ciertas funciones del CNC son indispensables en estos equipos, tales como:

- Compensación longitud de la herramienta
- Dispositivo monitoreo de herramienta automático ó programable y en muchos casos con compensación por cambios en la temperatura

Los sistemas de CNC deben ser operados de una manera fácil y sin contratiempos para el usuario, por ejemplo si la máquina se para por cualquier motivo en medio de un ciclo de maquinado, el sistema de CNC, debe ser capaz de retroceder la máquina a una posición segura para que el operario pueda reiniciar la misma operación sin ningún problema.

A. Máquinas Fresadoras de CNC con cinco-ejes

Las máquinas fresadoras con cinco ejes controladas numéricamente, pueden posicionar la herramienta en cualquier punto deseado sobre la pieza de trabajo, moverla a lo largo de la superficie, mantener cualquier ángulo deseado con relación a la

superficie de la pieza, etc. En principio, el movimiento relativo universal entre herramienta y pieza se puede lograr por medio de los tres siguientes métodos⁸:

1. Con el eje fijo de la herramienta y dos movimientos de inclinación de la pieza de trabajo, por ejemplo, por medio de una mesa giratoria
2. Con un movimiento de inclinación del eje de la herramienta y un movimiento de inclinación de la pieza, el cual estará una y otra a 90°, ó
3. Con la pieza de trabajo fija y con inclinado de la herramienta en dos ejes. Las máquinas de este tipo permiten la fabricación de partes geoméricamente complejas

De acuerdo al fabricante y requerimientos del cliente, a manera de ejemplo, los ejes de movimiento en una máquina de cinco ejes pueden incluir, ejes X & Y para la mesa de trabajo, eje Z para la herramienta en el husillo, eje A para inclinación del husillo y eje B para la rotación de la mesa de trabajo.

Las máquinas con movimientos simultáneos de cinco ejes solamente se pueden programar con sistemas de programación CAM.

B. Máquinas Fresadoras del Tipo Cepillo (Tipo Puente)

Este tipo de máquinas se utiliza cuando se cumplen los siguientes factores⁹:

- Las piezas de trabajo son planas o excesivamente largas
- El taller cuenta con espacio limitado para el montaje de la máquina
- El operador tenga fácil acceso al husillo principal para montaje de herramientas
- Planear actualizar la máquina en un momento dado si es necesario

Estas condiciones se aplican más a la industria de la aeronáutica. Este tipo de máquina emplea un sofisticado control muy costoso para la generación, en tres dimensiones, de trayectoria de la herramienta con las opciones más avanzadas, tales como ejes paralelos, monitoreo de posición diagonal y mucho más. La cantidad de memoria para guardar toda la información generada para cuatro o cinco ejes, requiere una memoria con una gran capacidad y rapidez de lectura, es por eso que los controles de CNC en este tipo de máquinas son muy sofisticados y costosos. La programación de

⁸ Kief p.90.

⁹ Ibid pp.91-93.

estas máquinas es de un alto grado de dificultad y se necesitan sistemas de programación como son los paquetes de computadora conocidos como CAD/CAM.

C. Máquinas Fresadoras de Alta Velocidad

Existen diferentes conceptos del significado Maquinado o Corte de Alta Velocidad (CAV) o “High Speed Cutting” (HSC) en máquinas con arranque de viruta. Las diferentes interpretaciones se mencionan a continuación¹⁰:

- Algunos lo relacionan a la alta velocidad del husillo principal
- Otros lo asocian con el incremento en el avance de corte
- También lo relacionan en términos de la velocidad de corte el cual la pieza de trabajo permanece sin calentarse
- El pulido manual se ha eliminado en el acabado de la superficie en algunos aceros en la industria de moldes

Esto requiere que la relación entre el husillo principal y el avance de corte estén balanceados para mejorar y alcanzar la calidad requerida sin perder de vista el tiempo de maquinado. El corte de alta velocidad solamente llegara a ser eficiente siempre y cuando los parámetros de avance de corte sean combinados con grandes velocidades del husillo principal para un mejor maquinado.

Una definición del Maquinado o Corte de Alta Velocidad podría consistir en la optimización del maquinado con las posibilidades existentes limitado por la pieza/material (forma y maquinabilidad), máquinas-herramienta (sistemas/controles de CNC y herramientas robustas) y los sistemas de programación CAD/CAM existentes. Esto puede suponer mecanizar a velocidades de corte entre 5 y 10 veces superiores a las que se utilizan de manera convencional para cada material de acuerdo a las recomendaciones en los manuales técnicos tanto del fabricante de herramientas de corte como los de referencia¹¹.

¹⁰ Kief p.94.

¹¹ Perez, Alberdi y Lopez. **Introducción al Mecanizado de Alta Velocidad**. Consultada en noviembre de 2006. <<http://www.metalunivers.com/Arees/altavelo/tutorial/tekniker/introduccion.htm>>.

El uso principal de este tipo de máquinas es en el mecanizado de moldes en donde se consume mucho tiempo en el desbastado y acabado final. También se utiliza en donde se requiera minimizar el tiempo de maquinado para la producción en masa siempre y cuando el material de la pieza de trabajo y forma lo permita.

Las máquinas de Corte de Alta Velocidad cuentan por lo general de tres a cinco ejes de movimiento simultáneo controlados por el CNC. Los controles para estas máquinas se diseñan especialmente para que puedan soportar y trabajar con cambiadores de herramienta en forma automática. Esto hace que estas máquinas se utilicen en una amplia gama de aplicaciones.

Los sistemas de CNC deben cumplir con los siguientes requerimientos para que estas máquinas de CAV sean lo más eficiente posible:

- Tiempos cortos de ejecución entre bloques en el programa
- Funciones de “preparación de antemano”, este es un método en el cual la trayectoria de la herramienta se prevé antes del siguiente corte, de esta manera las esquinas y filos en la pieza son detectados de antemano, así, el avance de corte en estas áreas se reducen temporalmente y automáticamente a niveles apropiados para no dañar la pieza. Al mismo tiempo, la velocidad del husillo principal debería ajustarse apropiadamente
- Alto grado de rigidez en los motores principales y que cuenten con valores de amplificación altos, de esta manera se lograra las aceleraciones y deceleraciones con la exactitud requeridas
- Intervalo cero, en otras palabras, el desplazamiento de los ejes debería estar libre de cualquier error de intervalo (también se conoce como “error próximo”), de esta manera se podría obtener un alto grado de exactitud en el contorno de la pieza sin importar el alto grado de avance de corte

1.3.1.3. Tornos

Originalmente los tornos tuvieron muy poca importancia en el desarrollo del control numérico porque los tornos ya tenían un grado de automatización, mecánicamente hablando, muy avanzado comparado con otras máquinas

convencionales. Los tornos de CNC llegaron a ser, en un periodo muy corto, los más populares y han sido los equipos que más se han fabricado en el ámbito mundial. Los sistemas de CNC fueron usados para equipar no solamente máquinas para taladrar y fresadoras, también para rectificadoras, punzonadoras, cortadoras de engranes y máquinas electroerosionadoras¹². El diseño de las máquinas modernas de CNC ha llegado a ser tan eficientes y productivas, que ahora se necesitan menos máquinas para la fabricación de un determinado número de piezas.

Aunque las máquinas de torneado siempre han sido versátiles y altamente automatizadas, estas han llegado a ser mucho más flexibles y las más usadas en la industria metalmeccánica desde que se introdujo el CNC. El alto grado de producción de piezas terminadas en este tipo de máquinas explica el gran interés de los fabricantes de controles de desarrollar sistemas de CNC con funciones especiales para máquinas de torneado. Por esta razón, los tornos de CNC siempre han ofrecido un alto grado de automatización de lo más avanzado esto incluye la programación y la tecnología del control que estas máquinas requieren para su buen funcionamiento¹³.

Los tornos se fabrican en diferentes tipos y diseños. Estos se distinguen de acuerdo al siguiente criterio, por ejemplo:

- Diseños vertical u horizontal
- Producción de barras sólidas o ejes
- Con uno, dos o más husillos
- Con una o más bancadas guía y torretas
- Con o sin un husillo auxiliar para maquinar el lado de la pieza al ser tronzada o cortada.

Los tornos pueden diferir también con respecto al alto grado de automatización. Por ejemplo, los componentes automáticos que se pueden encontrar en algunas máquinas son los siguientes:

- Cambiador y suministro de materia prima (alimentador de barras) automático
- Posicionador de herramienta automático entre torreta y cambiador de herramienta

¹² Kief p.123.

¹³ Krar y Oswald pp.544-547.

- Un segundo husillo porta-herramienta generalmente en conexión con un eje de CNC
- Sistema de monitoreo o detección automática de herramienta
- Sistema de monitoreo para colisiones
- Cambio de mordazas automática en el plato de sujeción
- La luneta y el cabezal móvil controlado numéricamente
- Dispositivos que conecten varias máquinas similares o diferentes

A. Tornos con Varias Torretas

En el pasado un torno convencional, de gran capacidad, era capaz de maquinar una pieza de trabajo con dos o tres herramientas simultáneamente. La ventaja fue que se redujo considerablemente el tiempo de producción de un determinado número de piezas. La desventaja fue que las condiciones óptimas de corte, velocidades y avances, no eran las adecuadas para las herramientas de corte, ocasionandoafilados frecuentes¹⁴.

Actualmente los tornos de CNC con dos ejes, no son adecuados para el maquinado de piezas con dos herramientas de corte simultáneamente. Por esta razón, estas máquinas empezaron a ser equipadas con dos torretas separadas, de esta manera las dos herramientas podrían trabajar independientemente una de la otra y con sus respectivos parámetros de corte. Los tornos modernos de CNC, las dos torretas son diseñadas y arregladas de tal manera que la operación simultanea de maquinado de las dos herramientas de corte no exista un riesgo de colisión. Colisiones entre las dos torretas se evita por medio del uso de métodos apropiados de seguridad, esto incluye parámetros en la máquina que limitan desplazamientos excesivos en las torretas y sensores de proximidad en la máquina.

El control de estas máquinas requiere del uso de sistemas de CNC especiales que proveen ejes 2 x 2 (2 para el X y 2 para el eje Z) y que tienen la capacidad de movimientos de interpolación independientes del uno al otro. Las primeras experiencias con estos tornos de CNC de 2 x 2 ejes no fueron del todo un éxito porque el programador de CNC tenía que pensar en términos de cuatro ejes para coordinar el movimiento y tiempo necesario a cada herramienta. La razón fue que sólo había una

cinta perforada y un lector y el programa entero tenía que leerse de bloque en bloque. Este problema ha sido solucionado por los sistemas de CNC que asignan a las torretas dos programas separados en el área de almacenamiento del control. La introducción de estos sistemas llegó a tal grado que se puede programar que una de las torretas espere a la otra, esto puede lograrse fácilmente por medio de un código G o M. De esta manera, la programación es considerablemente más fácil, porque las dos herramientas de corte se programan por separado con respecto a sus movimientos, velocidades y avances. En resumen, se puede decir que los tornos con ejes múltiples son utilizados principalmente para producciones de volúmenes grandes y medianos.

B. Centros de Torneado/Fresado

Haciendo a un lado las operaciones ordinarias de torneado, el alto grado de avance de los sistemas de CNC ha permitido que los tornos de CNC puedan realizar operaciones tanto de fresado como taladrado en la pieza de trabajo cuando esta está montada en el plato de sujeción con mordazas. Este principio también ha sido aplicado para el uso de operaciones de rectificado en el acabado final de piezas torneadas¹⁴. La torreta es equipada con herramientas de corte que tienen movimiento de giro propio (herramientas motorizadas), como brocas, fresas, machuelos, cortadores tipo cuchilla o ruedas abrasivas, que sirven para generar operaciones extras de maquinado sin la necesidad de pasarlas a otra máquina. La disposición de estas herramientas puede ser axial o radial, de manera que permitan operaciones como el taladrado en la cara frontal de la pieza o el maquinado de un cuñero, o ranuras en el exterior de un cilindro. El husillo principal puede tener su propio eje de movimiento de CNC llamado eje C, este está conectado automáticamente a un sensor registrando todo el tiempo el movimiento de giro (similar a una mesa giratoria en las máquinas fresadoras de CNC). Como resultado de esto, la herramienta de corte con movimiento de giro propio puede desplazarse con precisión en cualquier punto de la pieza de trabajo y generar la operación de fresado o rectificado de la forma deseada. Para que esto suceda se requiere

¹⁴ Kief p.124.

¹⁵ Kief p.125.

de un sistema de CNC que pueda realizar la conversión de coordenadas. Esta función permite las operaciones de fresado y taladrado para ser programadas en coordenadas cartesianas (lineales). El sistema de CNC convierte los movimientos en coordenadas polares en el eje de rotación C que es el plato sujetador con mordazas.

Los centros de Torneado/Fresado son utilizados especialmente para la producción de pequeñas y complicadas partes de materiales sólidos. Existe en el mercado varias configuraciones de centros de Torno/Fresa para piezas grandes. Estas aplicaciones tienen la ventaja de que las operaciones de torneado y fresado se pueden realizar sin la necesidad de cargar y descargar la pieza de trabajo.

Los tornos con un alto grado de automatización son conocidos también como “Centros de Torneado” o “Celdas de Torneado”. Estos nombres están basados en los términos conocidos por todos como “Centros de Maquinado” y “Celdas de Manufactura”. Estas máquinas proveen de una gran gama de maquinados de diversos tipos. La gran ventaja para los usuarios es que la pieza de trabajo es terminada y lista para usarse empleando una sola máquina y en un tiempo muy corto si se comparara la misma operación utilizando varias máquinas. Esto también elimina la posibilidad de usar otros dispositivos de sujeción adicionales, así como también el tiempo requerido para cargar y descargar la pieza de trabajo. En otras palabras, la idea del “Maquinado Completo” elimina la necesidad de máquinas adicionales, mejora la calidad y reduce el nivel de inventarios. Esto tiene como efecto, como toda compañía busca, un bajo costo de producción.

C. El CNC para las Máquinas de Torneado

La variedad en el diseño y construcción de tornos, en su mayor parte, ha sido por los sistemas de control numérico. Los sistemas básicos de CNC deben cumplir con ciertos requerimientos¹⁶:

- De 2 a 7 ejes de CNC
- 2 x 2 o 3 x 2 ejes permitiendo interpolación independiente (para máquinas con guías múltiples)

- Capacidad de controlar el husillo principal como el eje C
- Ejes de CNC adicionales para cargar y descargar piezas por medio de brazos robots
- Adaptación automática del husillo principal a la velocidad de corte constante cuando varía el diámetro en la operación de careado
- Compensación de longitud de la herramienta y radio de los insertos
- Compensación del diámetro del cortador y longitud para herramientas con movimiento de giro propio
- Sistemas de monitoreo para detección de colisión de herramientas
- Registros para la vida útil de la herramienta y llamado automático para el cambio de herramienta cuando esta a expirado
- Retroalimentación de los valores de medición, realizados por medio de un sensor palpador, que son usados para el ajuste y compensación apropiada a lo largo de la vida útil de la herramienta

D. La Programación en Tornos de CNC

El torno se ha convertido en una máquina con un alto grado de complejidad y por lo tanto muy difícil de programarlo. Por esta razón, otro de los objetivos principales en el desarrollo de estos equipos ha sido que la programación sea más, amigable y fácil de aprender tanto en la máquina como en un sistema de programación CAD/CAM. Esto ha sido posible por el avance y desarrollo de las computadoras que han influido en gran medida en el desarrollo de los equipos de CNC¹⁷.

En algunas empresas, los programadores de máquinas de CNC no saben la programación de códigos G y M. En su lugar utilizan los sistemas CAD/CAM. Estos programadores dibujan y asignan las herramientas necesarias de acuerdo al proceso de fabricación de la pieza para luego generar un programa de CNC. Una vez que el programa está listo, se envía a la máquina directamente para que el operario, que tiene suficiente

¹⁶ Kief p.127.

¹⁷ Madison, James. **CNC Machining Handbook**. Publisher Industrial Press Inc. N.Y., USA. 1996. p.137.

experiencia en CNC, se haga cargo de modificarlo de acuerdo a su máquina.

Por experiencia, se recomienda que el programador deba tener por lo menos un entrenamiento básico de programación en CNC y de máquinas herramienta convencional como mínimo para poder tener la capacidad de editar programas generados por el sistema y hacer modificaciones adecuadas y necesarias para que la máquina interprete correctamente el programa y con un mínimo de errores. De esta manera el operario se dedicara más al montaje y puesta en marcha de la máquina.

Para la programación utilizando un sistema de CAD/CAM, la geometría de la pieza a fabricar es dibujada en la computadora. La pieza se dibuja a las dimensiones especificadas en el dibujo de fabricación para posteriormente asignar herramientas según la secuencia de operaciones y geometría de la pieza. Todo esto es representado gráficamente y con líneas de colores en el monitor para diferenciar superficies maquinadas con herramientas diferentes. Los sistemas de programación, permiten al programador verificar por medio de la simulación gráfica el movimiento de las herramientas con relación a la pieza de trabajo en la pantalla. Los errores se pueden detectar y corregirse en cuestión de minutos en cuanto a posibles colisiones herramienta-dispositivo de sujeción o algún otro error durante la asignación y trayectoria de las herramientas. El sistema de programación permite repetir el proceso cuantas veces sea necesario hasta que las operaciones de maquinado estén libres de errores en la simulación y que el programador se sienta seguro de no encontrar colisiones. Cabe recalcar que no todo va a salir a la perfección solamente por utilizar estos sistemas de programación. Una vez verificado la trayectoria de la herramienta, el programador procede a generar el programa de CNC, primero lo revisa en la pantalla y luego lo imprime si es necesario. Esto se hace con el fin de verificarlo nuevamente con lujo de detalle cuando se trata de programas extensos que incluyen arriba de diez herramientas o más. Se realizan las correcciones y anotaciones correspondientes para luego volver a editarlo en la computadora y después guardarlo en un elemento de memoria o en la red interna de computadoras del sistema de la compañía para su uso posterior.

E. Herramientas de Corte en Tornos de CNC

En esta sección se mencionan las herramientas más comunes utilizadas para realizar diferentes operaciones en el torneado. Para una descripción de cada herramienta de corte, porta-herramientas, nomenclatura e ilustraciones consultar la referencia¹⁸

- Herramientas de corte para diámetros exteriores o “OD cutting tools”
- Herramientas de corte para diámetros interiores o “ID cutting tools”
 - Brocas helicoidales o “Twist drills”
 - Brocas de centros o “Center drills”
 - Brocas con insertos intercambiables de carburo o “Carbide indexable insert drills”
 - Brocas con Vena de Refrigeración o “Coolant-Fed Drills”
 - Brocas tipo Espada o “Spade Drills”
 - Barras para maquinado de interiores o “Boring bars”
 - Rimas o “Reamers”
 - Machuelos o “Taps”

En la selección de insertos para tornos de CNC se debe tener en cuenta lo siguiente¹⁹:

- Los insertos desechables de uso diario (económicos) para operaciones de desbaste tienen las caras superiores e inferiores rectificadas
- Los insertos desechables de precisión para maquinados de desbaste y acabado en general tienen todas las caras rectificadas
- Insertos desechables rompe-virutas pueden ser usados para desbaste y acabado en general en materiales dúctiles

El sistema de identificación de los porta-herramientas en tornos de CNC ha sido desarrollado por la Asociación Americana de Estándares o “American Standards Association” (ASA). Este tipo de nomenclatura facilita la identificación de los porta-

¹⁸ Robert Quesada. Milwaukee Area Technical College. **Computer Numerical Control Machining and Turning Centers**. Editorial Pearson Prentice Hall. New Jersey. USA. 2005. p.311-327.

¹⁹ Madison p.292.

herramientas e insertos desechables con exactitud, esta nomenclatura se puede encontrar en cualquier catálogo de herramientas.

1.3.1.4. Mandriladoras de CNC

Las mandriladoras, mandrinadoras o taladradora horizontales²⁰ de CNC, como también se suelen llamar, son máquinas grandes que por lo general cuentan con el husillo principal en posición horizontal, aunque también existen del tipo vertical. Estos equipos manejan piezas de trabajo que son demasiado grandes y pesadas y que no permiten ser giradas de su posición original, después de haber sido montadas en el dispositivo de sujeción, además de que no se pueden cargar y descargar automáticamente. Para esto, el operario emplea una grúa de gran tamaño para el manejo y montaje de estas. Cada una de las piezas de trabajo es alineada, sujeta en los dispositivos y luego maquinada individualmente. Estos equipos por lo regular cuentan con pantallas lo suficientemente grandes para que muestre las coordenadas de posición de la herramienta y se pueda ver desde una distancia considerable. De esta manera, el operario puede hacer otras funciones alrededor o cerca del equipo sin la necesidad de estar cerca del control todo el tiempo en el proceso de maquinado pues este lleva mucho tiempo.

En la actualidad, las piezas de trabajo han llegado a ser más grandes y más complicadas en su diseño, lo cual a requerido que los controles cuenten con más opciones y capacidades para una mejora en estos equipos. Por eso, las mandriladoras de CNC, han sido equipadas con controles que tengan la opción de trayectoria continua de la herramienta y algunas que tengan la capacidad de manejar hasta siete ejes de coordenadas simultáneos.

Las principales operaciones y funciones en una mandriladora son las siguientes²¹:

- Taladrar, ranurar, perforar, rimado de agujeros largos
- Fresado de rosca (interpolación helicoidal)

²⁰ Boothroyd, Geoffrey. **Fundamentos del Corte de Metales y de las Máquinas-Herramienta**. Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, S.A. Mexico, D.F. 1978. p.18.

²¹ Kief pp.88-89.

- Fresado de agujeros de gran tamaño
- Maquinado de superficies de referencia para posteriores maquinados
- Compensar posiciones inclinadas para ajustar tolerancias cuando la pieza esta sujeta
- Inspección automatizada empleando un sensor palpador
- Programación por medio de gráficas y simulación del mecanizado en el control

Ciclos fijos especiales han sido incorporados para ciertos tipos de maquinado. En el control, estos ciclos fijos se seleccionan y se muestran en la pantalla para luego ser modificados en sus parámetros de acuerdo a la pieza que se va a maquinar. Ejemplos típicos podrían incluir múltiple barrenos en posición circular, barrenos en línea, fresado de moldes y cavidades. También es importante que el control de CNC sea lo más simple en su operación. Por ejemplo, al estar maquinando una pieza y si por alguna razón se interrumpe el proceso, este debería ser capaz de continuar en ese mismo lugar donde se interrumpió para no volver a maquinar las mismas superficies. Esto ayudaría considerablemente a la producción si consideramos el tiempo que se lleva en el maquinado de una pieza. También los sistemas de CNC deberían de permitir al operario crear sus propias subrutinas, incluyendo gráficas y funciones paramétricas. Para la medida de los desplazamientos o de las posiciones en la máquina se emplean los llamados captadores de posición, estos son muy importantes ya que retroalimentan a la máquina para obtener un desplazamiento preciso durante el maquinado.

Las siguientes funciones en la mandriladora mejorarían e incrementarían la flexibilidad²²:

- Cambiador de herramienta automático
- Intercambio de accesorios para el cabezal con funciones de taladrado, fresado y planicidad
- Estación de control movable
- Mesas de trabajo giratorias y deslizables

²² Kief p.89.

- Combinar con otras máquinas, por ejemplo, una segunda mandriladora de columna o una vertical

1.3.1.5. Centros de Maquinado CNC

Este termino se refiere comúnmente a la máquina que es controlada numéricamente y por lo menos tiene tres ejes de movimiento, con cambiador de herramienta automático y se emplea para el maquinado de una pieza prismática en todas sus caras con excepción de la base, utilizando una combinación de las operaciones de fresado, taladrado, mandrinado, refrentado, rimado y roscado con machuelo. El programa de CNC controla el cambiador de herramienta por medio de instrucciones específicas localizando la herramienta en el carrusel para luego colocarla en el husillo porta-herramienta. Al término de la operación, la herramienta es colocada nuevamente en la posición de donde la tomó.

El diseño de los centros de maquinado de CNC se distingue por lo siguiente:

- Máquinas horizontales y verticales, basados en la posición del husillo principal
- Coordenadas de la mesa de trabajo, movimiento de la pieza en los ejes X & Y y movimiento de la herramienta en el eje Z
- Máquinas con columna en movimiento, en el cual la herramienta puede ejecutar movimientos en los ejes X, Y & Z y la pieza de trabajo puede inclinarse o girar en uno o dos ejes si fuera necesario (esto se presenta en máquinas de cinco ejes)
- Máquinas del tipo puente (en forma de U invertida) con puente fijo o deslizable

Cabe mencionar que el centro de maquinado es una máquina típica de CNC que no se desarrolló hasta que el control numérico fue introducido, esta no existía anteriormente²³.

A. Características Típicas de un Centro de Maquinado

- Tres ejes lineales de CNC y una mesa rotatoria opcional, de esta manera se pueden maquinar piezas prismáticas en sus cuatro caras en un sólo montaje. El quinto eje

²³ Kief p.98.

puede emplearse utilizando el cabezal del equipo para que pudiera girar en ángulo con respecto a la vertical

- Esta puede emplearse para realizar todos los métodos de mecanizado incluyendo el fresado frontal, taladrado, mandrinado, machuelado, fresado continuo, taladrado en ángulo y roscado
- Las herramientas se localizan con el cambiador de herramienta que esta conectado a la misma máquina. El diseño y capacidades de los cambiadores de herramienta difieren grandemente, existen del tipo cadena, de anillo y carrusel
- Dispositivos adicionales de cambio de piezas de trabajo generalmente son diseñados en forma de mesas removibles, el cual reducen el tiempo muerto al cargar y descargar la pieza de trabajo. Las piezas se cargan y descargan fuera del área de trabajo cuando otra pieza se esta mecanizando
- Algunos centros de maquinado tienen dispositivos adicionales más complejos, por ejemplo, una segunda mesa giratoria

Una amplia gama de centros de maquinados de diferentes diseños y tamaños están disponibles para los usuarios. Es importante distinguir entre las máquinas con husillo principal horizontal y vertical. Las máquinas con husillo en posición vertical son generalmente utilizadas para maquinar piezas en forma de placa y bloques, las máquinas con husillo principal en posición horizontal son adecuadas para maquinar cuatro o cinco caras en piezas prismáticas.

En centros de maquinado con husillo horizontal, los movimientos del eje X (longitudinal) y de rotación son ejecutados principalmente por la pieza de trabajo, mientras que la herramienta se mueve en los ejes Y & Z. Por ejemplo, la designación de los ejes en estas máquinas seria X, Y, Z & B.

En centros de maquinado con husillo vertical, la designación de los ejes predomina X, Y, Z & A. Esta designación de los ejes significa que solamente el movimiento del husillo vertical en el eje de la Z es ejecutado por la herramienta. Todos los otros movimientos son ejecutados por la pieza de trabajo.

La versatilidad de un centro de maquinado puede ser efectiva solamente si se emplea el control de trayectoria continua de la herramienta. Como resultado de un nuevo

concepto de diseño en las máquinas y el incremento en la complejidad de las piezas de trabajo, los controles de tres dimensiones son requeridos para los centros de maquinado. Como requerimiento mínimo, estos controles deben ser capaces de ejecutar interpolación lineal simultáneamente en todos los ejes. Cuando un dispositivo cabezal/porta-herramienta es usado para taladrar en ángulo, la interpolación lineal debe ser ejecutado en los tres ejes para un mejor mecanizado.

Un centro de maquinado se emplea frecuentemente por la habilidad de manipular diferentes valores de compensación de longitud de la herramienta, diámetro del cortador, contador de vida de la herramienta y valores de corte para todas las herramientas. En las nuevas máquinas, el sistema de CNC tiene la capacidad de guardar el peso de la herramienta, el código, la forma y otros tipos de datos característicos con el objeto de mantener un mejor control de las herramientas.

B. Cambiador Automático de Herramienta

La mayoría de las máquinas de CNC requieren el uso de varias herramientas para el mecanizado de piezas. El cambiador de herramienta del tipo torreta ya existía antes de la introducción de las máquinas de CNC, especialmente en máquinas taladradoras y tornos. Para cada una de las operaciones, automáticamente la torreta avanzaba una posición. Las posiciones en la torreta sin herramienta se saltaban. Las máquinas de CNC con torreta, la herramienta deseada debe ser programada tal y como se encuentra en la posición en la torreta. Los tornos actuales continúan usando hasta tres torretas.

En centros de maquinado, el número de herramientas requeridas es considerablemente más alto. En casos especiales, se necesitan hasta 100 herramientas o más. Varios cambiadores de herramienta se han desarrollado y adaptado a máquinas específicas²⁴.

- En cambiadores de herramientas del tipo longitudinal, las herramientas se encuentran juntas unas a otras en una o más filas

²⁴ Kief p.101.

- El cambiador de herramientas del tipo disco puede montarse en la máquina atrás, a un lado o arriba del husillo principal
- En el cambiador del tipo anillo o circular, las herramientas son guardadas en dos o tres anillos concéntricos los cuales pueden girar el uno o el otro en forma independiente
- Los cambiadores del tipo cadena pueden ser diseñados con una cadena simple o doble. Esta puede montarse a un lado o en la parte superior de la máquina y puede en consecuencia ser expandida si se requiere
- Los cambiadores del tipo cassette, las herramientas son guardados en varios cassettes cambiables.

Desde el punto de vista de diseño, la máquina, el cambiador de herramienta y el sistema de cambiador de herramienta forman una sola unidad. Un cambiador de herramienta es también requerido para mover las herramientas entre el cambiador y el husillo porta-herramienta. Este cambiador de herramienta consiste de un sólo brazo o un brazo doble con sujetador en cada extremo.

C. Secuencia del Ciclo Cambio Automático de Herramienta

La secuencia es establecida por el control por medio del código M06 (cambio de herramienta) y básicamente consiste de las siguientes funciones, este proceso puede variar dependiendo del equipo de CNC utilizado:

- Búsqueda de la herramienta programada y preparando el cambiador de herramienta para localizar la herramienta correspondiente
- El cambiador de herramienta y husillo porta-herramienta se desplazan a una posición en la máquina para ejecutar el cambio de herramienta
- El brazo sujetador de herramientas gira y se coloca en una posición que sujeta las herramientas localizadas en el cambiador de herramienta y en el husillo porta-herramienta al mismo tiempo para luego asegurarlas en el brazo sujetador

- Removiendo las herramientas, el brazo sujetador gira, inserta y libera las herramientas en el husillo porta-herramienta y el cambiador de herramienta respectivamente
- Después el brazo sujetador gira en la posición original en el modo de espera para el siguiente cambio de herramienta

La operación del cambio de herramienta siempre interrumpe el ciclo de maquinado. Por esta razón, se debe minimizar en lo posible el tiempo y movimientos durante el cambio. Para esto se debe considerar lo siguiente:

1. Las herramientas deben ser colocadas y preparadas durante el tiempo productivo de la máquina, en lugar de interrumpir o atrasar la operación de mecanizado, **siguiendo siempre las reglas de seguridad**
2. El complicado ciclo del cambio de herramienta debe ser fácil de programar. Todos los movimientos de los ejes y el movimiento del brazo cambiador deben ejecutarse automáticamente y en la secuencia correcta. El tiempo muerto debe reducirse al máximo
3. Si por alguna razón la máquina se apaga debido a una falla eléctrica durante el ciclo de cambio de herramienta, el operario debería restablecer la operación interrumpida sin ningún problema o riesgo de colisión de la herramienta
4. El operador debe ser capaz de encontrar la herramienta deseada en el cambiador de herramienta y reemplazarla sin ningún contratiempo

La inserción y recolección de la información y datos de las herramientas en el control de CNC deben ser de lo más simple. El uso automático para el almacenamiento de los datos por medio de interfaces debe ser de un modo sencillo y rápido. Esto se puede lograr con la cooperación conjunta entre el operario, programador y el ingeniero de manufactura para simplificar al máximo la edición de datos de herramientas y el proceso de cambio de estas.

D. Dispositivos de Pre-ajuste para Herramientas o “Tool Pre-Setters”

Utilizando un aparato de pre-ajuste, el encargado del almacén de herramientas o el operario mide y toma las dimensiones de la/s herramienta/s. Una vez que se va a

realizar el cambio de estas el operario introduce/n los ajustes u “offsets” de la herramienta en el control de la máquina de CNC. Con esto se minimiza el tiempo de ajuste de la herramienta en la maquina. Esta actividad se realiza frecuentemente en cada cambio de herramienta durante la producción. Cabe mencionar que existe una gran variedad de aparatos de pre-ajuste de herramientas en el mercado. Un artículo excelente en la “MMS Online” de la revista “Modern Machine Shop” bajo el título de “A Shop Preset For Productivity” por el autor Mark Albert detalla las ventajas en la utilización de estos aparatos. Este artículo se puede consultar en la página de Internet en la siguiente dirección <<http://www.mmsonline.com/articles/010001.html>>

E. Aviso de Herramienta Desafilada

La mayoría de los controles de CNC en la máquinas tienen la capacidad de avisar al operario o técnico cuando una herramienta esta desafilada o a terminado su ciclo de vida. Los equipos cuentan con una especie de torreta con luces de tres colores verde, amarillo y rojo localizados en la parte superior de la máquina. Dependiendo de cómo se haya programado para la indicación de estos colores la norma es la siguiente. El verde indica que la máquina esta operando sin ningún problema. El amarillo indica que la/s herramienta/s esta/n a punto de desgastarse en su totalidad y por lo tanto el cambio de herramienta se aproxima. El rojo indica que la máquina esta parada, ya sea porque la herramienta termino su ciclo de vida y necesita ser cambiada o porque hubo alguna falla en la máquina en si.

Los controles de CNC cuentan con un programa suministrado por el fabricante de los equipos en donde se incluye una lista de las herramientas a utilizar en donde se introduce la información de cada una de ellas por el usuario. Aquí se define el número de la herramienta, la vida útil, la descripción de la operación que va a efectuar, etc. También existe en una parte de la lista de herramientas columnas con la descripción en donde se especifica su geometría, ajuste de desgaste o “tool wear” y ajustes en la geometría u “offsets”. Algunos controles tienen la capacidad de introducir la vida útil en porcentaje antes de que esta expire, por ejemplo se puede avisar al operario que la herramienta esta a un 10% de su vida útil y que el cambio de herramienta se aproxima por medio de la luz

amarilla en la torreta con luces de colores. Esta aplicación se utiliza frecuentemente en empresas automotrices donde se emplean células de producción con un alto grado de producción.

F. Herramientas de Corte en Centros de Maquinado

En esta sección se mencionan las herramientas más comunes utilizadas para realizar diferentes operaciones de maquinado. Para una descripción de cada una de ellas, los porta-herramientas utilizados e ilustraciones consultar la referencia²⁵

- Brocas helicoidales o “Twist drills”
- Brocas de centros o “Center drill”
- Brocas tipo espada o “Spade drill”
- Brocas con insertos intercambiables o “Indexable insert drills”
- Barras para maquinado de interiores o “Boring bars”
- Rimado o “Reamer”
- Machuelos o “Taps”
- Avellanado o “Countersink”
- Fresa vertical o “End mill”
- Fresadora frontal con insertos intercambiables o “Shell mill”
- Fresadora frontal o “Face mill”

Dependiendo del material de la pieza de trabajo, durante el maquinado se producen fuerzas de corte considerables en la herramienta por tal motivo la maquina de CNC debe contar con una potencia amplia, bajas y altas velocidades de corte, rigidez en su construcción así como en los dispositivos de sujeción.

Los factores que influyen en la correcta selección de las herramientas de corte son²⁶:

- Las herramientas deben resistir el desgaste y tener la capacidad de soportar y guardar los filos cortantes.
- Deben ser rígidas.

²⁵ Robert Quesada. Milwaukee Area Technical College. **Computer Numerical Control Machining and Turning Centers**. Editorial Pearson Prentice Hall. New Jersey. USA. 2005. p.47-65.

²⁶ Madison p.257.

- Los ángulos de corte y claro deben ser cuidadosamente seleccionados para (a) dar un máximo soporte al filo de corte, (b) disipar el calor del filo y (c) proveer un claro suficiente para el desprendimiento de rebaba.

El refrigerante es importante en el mecanizado debido a que minimiza la adhesión de material en el filo. Este debe ser dirigido a la zona de corte a alta presión y en abundancia para disipar el calor durante el proceso.

1.3.1.6. Máquinas Rectificadoras de CNC

Por mucho tiempo, las rectificadoras se utilizaron más en la construcción de dados, patrones e instrumentos de medición. Debido a la gran demanda por exactitud y precisión en ciertas piezas, las rectificadoras han llegado a ser muy importantes en la producción en masa. Estas máquinas no han sido exentas de los beneficios en el uso del control numérico para hacerlas más flexibles y rentables. El desarrollo más notorio en las rectificadoras ha sido el del cambio automático de las muelas abrasivas y las piezas de trabajo. Los centros de rectificado universales modernos están empleando otro tipo de herramientas lo cual a provocado que las piezas de trabajo se maquinen por completo en un sólo montaje. Varias máquinas rectificadoras han sido combinadas para formar celdas flexibles de manufactura.

Las rectificadoras se pueden distinguir sobre la base de sus respectivos diseños y áreas de aplicación. Estas incluyen:

- Rectificadoras de superficies planas
- Rectificadoras de piezas cilíndricas
- Rectificadoras para dados y troqueles
- Rectificadoras de forma
- Rectificadoras para herramientas
- Rectificadoras de contorno

Aunque cada una de estas máquinas utiliza como herramienta una muela abrasiva que gira a ciertas revoluciones por minuto (RPM), el diseño de cada una de las máquinas varía ampliamente. Todos los tipos de rectificado requieren de un alto grado de precisión, calidad superficial y exactitud en las piezas de trabajo.

El número de ejes que son controlados también varía ampliamente. Las rectificadoras cilíndricas y de contorno podrían requerir el control de solamente dos ejes. En celdas con rectificadoras especiales, en los cuales tienen cabezales rectificadoras múltiples, maquinan la pieza de trabajo desde varios ángulos controlando de esta manera de nueve o más ejes. Como los tornos, las rectificadoras cilíndricas deben de contar con 2 x 2 ejes de CNC para lograr un mecanizado de contorno simultáneo tanto interior como exterior. El husillo de la rectificadora puede ser colocado a un ángulo programado para generar un rectificado inclinado, antes se requería de un eje adicional en la máquina además de los ya existentes.

Las rectificadoras de superficie son similares en estructura a las bancadas de las máquinas fresadoras. Este tipo de equipos por lo regular cuenta con tres ejes de CNC y algunas veces tiene de dos a tres ejes adicionales para el afilado de las muelas abrasivas. Las piezas producidas por estas máquinas no siempre son planas, algunas veces son cóncavas o convexas en las direcciones de los ejes X o Y. Las rectificadoras cuentan de por lo menos cinco ejes de CNC con movimientos de interpolación simultáneos.

1. El CNC para las Máquinas Rectificadoras

La tecnología del mecanizado y la optimización del proceso de rectificado son más importantes en el rectificado que otros métodos de manufactura. Por ejemplo, el sistema debe ser capaz de cambiar las altas y bajas en los puntos de transición en los diferentes grados de desbaste y acabado, determinado por el tipo de material de la pieza de trabajo y la muela abrasiva que se están utilizando. Esto debe ocurrir rápidamente sin complicaciones y sin interrupciones en la operación de mecanizado. Por mucho tiempo, los fabricantes de CNC no le dieron la atención necesaria a las máquinas rectificadoras debido a problemas especiales asociados a estas máquinas. Los fabricantes de las máquinas rectificadoras no tuvieron otro remedio que desarrollar sus propios controles y enfrentar todos los problemas relacionados a los costos y servicios.

Como resultado del continuo desarrollo y especialización, algunos de estos “controles especiales”, hasta la fecha, se han establecido y permanecido en el mercado. Los controles estándar que son empleados para los centros de maquinado y torneado no

pueden usarse para las máquinas rectificadoras, porque las aplicaciones en el rectificado implican una variedad diferente en el uso de los controles.

A continuación se mencionan algunos ejemplos²⁷:

- Se necesita una exactitud rigurosa en la medida y programación con unos intervalos de medición de 0.1 μm (4 $\mu\text{pulg.}$) o aun mucho menores
- Un alto rango de avance (aproximadamente de 0.02 mm/min. a 60 m/min.) [0.001 pulg/min. a 200 pies/min.]
- Que tenga la habilidad de contar con ciclos y subrutinas de rectificado tales como alimentación por pasos, pausa, oscilación y afilado de la muela abrasiva
- Que sea capaz de afilar la muela abrasiva por medio del CNC usando como herramienta una punta de diamante
- Compensación automática para reajustar la velocidad del husillo y el movimiento de avance después de afilar la muela abrasiva.
- Trayectoria de avance con “cero retardo” para prevenir errores en el contorno cuando se afila la muela abrasiva con un perfil definido o cuando se realiza un rectificado reciproco
- Programación simple y corrección en el proceso de rectificado, permitiendo al usuario intervenir y hacer correcciones si es necesario
- Programación de contornos en la máquina con la habilidad de verificarlo en el control gráficamente
- Entrada manual o automática para los valores de compensación de la herramienta
- Entrada de datos en forma externa para valores de compensación, obtenidos por medio de sistemas de medición que son construidos dentro de la máquina o externa a ésta
- y muchas otras funciones específicas de rectificado

El afilado de la muela abrasiva se hace en intervalos de tiempo. Esta operación no se encuentra en el programa de CNC. Está determinado por el desgaste de la muela abrasiva y por la relación de la cantidad de material removido en la operación. El afilado

²⁷ Kief pp.133-134.

de la muela es llevado a cabo por medio de una punta de diamante que es pasado varias veces por la periferia de la muela una o más veces, removiendo material abrasivo y dejando en consecuencia una superficie plana. El sistema de CNC registra la cantidad de material desprendido en el afilado e incrementa la velocidad rotacional como una función en la reducción en diámetro de la muela abrasiva.

1.3.2. Máquinas de CNC por Conformado de Material

1.3.2.1. Máquinas Punzonadoras

Las máquinas punzonadoras se utilizan para procesar hojas de lámina con diferentes espesores y dimensiones rectangulares. La operación de punzonado en las máquinas de CNC realiza el golpe de punzonado en las coordenadas X & Y de la lámina. En estos equipos, en general, la posición del punto de punzonado es la misma, es decir, que el punzón y el dado o matriz están en una posición fija dentro de la máquina, siendo la lámina la que debe desplazarse, junto con el sistema de sujeción de la misma, hasta el punto de punzonado²⁸.

Las herramientas en el punzonado consisten de tres componentes el punzón, el dado o matriz y el alimentador de lámina. Una de las mejoras que se han hecho en estos equipos es que las herramientas están montadas en un cambiador del tipo cassette, el cual permite tener estos tres componentes al mismo tiempo. En consecuencia la máquina a desarrollado un alto grado de automatización²⁹.

La introducción de mejoras ha permitido el desarrollo de la automatización de estos centros de maquinado de hojas de lamina, las cuales pueden realizar tareas con un alto grado de dificultad y con un alto grado de rapidez. Las siguientes características son ejemplos relevantes de estos equipos.

- El giro de la herramienta se puede realizar en cualquier ángulo deseado
- Herramientas múltiples que incluyen hasta seis punzones en un sólo porta-herramienta

²⁸ Mateos, S., Rico, J.C., Cuesta, E., y Valiño, G. **Aspectos Tecnológicos del Punzonado**. Departamento de Ingeniería de Fabricación. Universidad de Oviedo. Consultada en octubre de 2006. <<http://www.metalunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp?ID=1826>>.

²⁹ Kief p.114.

- La localización automática de las herramientas se logra por medio del programa en la dirección X haciendo de esta manera el mecanizado en una posición diferente
- Los cambiadores de herramienta más grandes, hacen posible tener herramientas de 98 o hasta 196 herramientas reduciendo de esta manera el cambio de herramientas
- Las hojas de lámina pueden alimentarse automáticamente desde el lugar donde se guardan y al terminar, las piezas se pueden acomodar de inmediato en los contenedores de producto terminado³⁰

1.3.2.2. Máquinas de Corte con Arco de Plasma

Otras máquinas diseñadas parecidas a las máquinas punzonadoras son las llamadas máquinas de CNC de corte con Arco de Plasma. Las ventajas de corte por este método son³¹:

- Alta velocidad de corte
- Alto grado de acabado superficial
- Orillas con corte vertical preciso
- Mínimo efecto en la zona de corte por calentamiento
- Mínimo nivel de ruido
- Habilidad de soldar las partes cortadas directamente

Este equipo genera un chorro delgado y caliente, que es capaz de fundir rápidamente una ranura angosta, como de sierra, en cualquier metal y de hacer fluir hacia fuera lo fundido. En este proceso, un electrodo de tungsteno (cátodo) está centrado en una boquilla tubular, enfriada con agua, restringida en la punta para formar un pasaje angosto como de 3.2 mm o de un diámetro muy pequeño³².

La forma como se produce la flama es por medio del gas cortante (N₂, nitrógeno con un alto grado de pureza, 99.5%) es calentado a una temperatura de 50 000 K por medio de un arco eléctrico. Esta flama derrite el electrodo en la hoja de lámina. La velocidad de corte en estos equipos es aproximadamente de 4.2 m/min. (13.75 pies/min.) cuando el

³⁰ Kief p.115.

³¹ Ibid p.115.

³² Baumeister III, Theodore, Avallone, Eugene A., Baumeister, Theodore. **Manual del Ingeniero Mecánico**. Editorial McGraw Hill. 8va. Edición (2nda. Edición en Español). Mexico, D.F. 1982. p.13-39.

espesor de la hoja es de 6mm (0.25”) y 2.8 m/min. (9 pies/min.) cuando el espesor es de 12mm (0.5”)³³.

1.3.2.3. Máquinas Láser

Las máquinas láser pueden ser consideradas como del tipo corte con arco de plasma de flama fina, en el cual un rayo de luz derrite el material. La palabra Láser es una abreviación del Inglés “Light Amplification by Stimulated Emission of Radiation” (Amplificación de la Luz por medio de Radiación Emitida Estimulada)³⁴.

El láser genera un rayo de luz muy angosto e intenso el cual puede controlar una gran gama de temperaturas que oscilan desde sentir el rayo por uno mismo sin quemarse hasta uno que puede llegar a temperaturas superiores a la superficie del sol. Algunos láseres tienen la capacidad de generar temperaturas instantáneas de hasta 41,650°C (75,000°F)³⁵.

El corte por láser ofrece las siguientes ventajas comparándola con el método de corte con arco de plasma³⁶:

- Una ranura delgada en el corte (aproximadamente de 0.2 a 0.4mm, [0.008 a 0.016”])
- Un menor calentamiento en la zona de corte (aproximadamente 0.1mm [0.004”])
- No genera filos redondeados en la parte superior de la hoja
- No genera aristas cortantes debajo de la hoja
- La ranura generada mantiene las caras paralelas
- Mínima rugosidad en el corte
- Alta velocidad de corte
- Libre de problemas cuando se trabaja con láminas delgadas en espesor

El corte por medio del Láser ofrece grandes ventajas sobre los métodos mecánicos de mecanizado, tales como punzando, además³⁷:

- No requiere ninguna herramienta

³³ Kief p.115.

³⁴ Ibid p.117.

³⁵ Krar y Oswald p.710.

³⁶ Kief p.117.

³⁷ Ibid p.117.

- No interviene el factor desgaste de la herramienta
- No hay necesidad de aplicar fuerzas en el corte
- La pieza de trabajo no es dañada debido a fuerzas en la sujeción
- Puede ser usado para generar ranuras extremadamente pequeñas
- Puede ser usado para generar cavidades
- Puede ser usado para generar huecos en forma de “V”
- Un alto grado de velocidades de corte
- Un bajo nivel de ruido

La operación por medio del láser no requiere ningún sistema de succión. Como estas máquinas no usan ningún tipo de herramientas, esto hace posible eliminar no solamente los costos de obtener herramientas, sino también los gastos necesarios para administrar, preparar y cambiar herramientas. Debido a que estas máquinas no usan herramientas, existe un alto grado de flexibilidad en la fabricación y por lo tanto las ordenes de trabajo se pueden cumplir a la fecha señalada sin ningún problema.

1. Máquinas Láser de CNC

La tarea principal de un sistema de control de CNC en una máquina láser es el movimiento de la pieza de trabajo. La hoja de lamina se mueve en un sólo plano, requiriendo solamente un control bio-axial parecido a los controles usados en los tornos y fresadoras. El fresado continuo requiere el control de la trayectoria de la herramienta en forma continua con interpolación lineal y circular. Los sistemas de CNC usados en las máquinas láser también ofrecen las características que simplifican la programación y la modificación de programas. Un láser con una potencia de 500 W y un espesor de lamina que es típicamente procesado en una operación de corte por láser, el avance puede ser tan alto como 8 m/min. (25 pies/min.), aunque la velocidad de corte generalmente esta dentro de un rango de 1 a 3 m/min. (3.25 a 10 pies/min.). Aun cuando existen radios con tolerancias muy apretadas, el sistema de control puede fácilmente manejar este tipo de velocidades de corte. Con el objeto de cortar piezas de trabajo dado un cierto espesor de lámina y que no genere rebabas, con un mínimo de rugosidad y a una potencia del láser, la velocidad de corte óptima se debe escoger a un rango lo más

bajo posible. El operador tiene la opción de usar un potenciómetro para corregir la velocidad de corte que ha sido establecida por el programador. Esto hace posible cortar diferentes espesores de hojas de lámina a la velocidad de corte óptima requerida usando el mismo programa. Si la velocidad de corte es demasiado lenta, el láser estará en contacto con la pieza más tiempo, ocasionando una mala calidad en el corte. Por esta razón, la velocidad óptima de corte para un láser de alta potencia podría ser más grande que la velocidad que en el sistema del control puede ejecutar para curvas demasiado cerradas. En esos casos, la única solución es reducir la potencia del láser. Esto es similar a la situación de un conductor de automóvil que necesitaría reducir la presión en el pedal del acelerador reduciendo así la velocidad para tomar con precaución una curva cerrada como una función del ángulo del volante. En la misma forma esto puede ser posible que la potencia de corte tendrá que ser controlada de acuerdo con el radio a ejecutar en la operación de mecanizado. La potencia de corte en el láser se puede cambiar modificando el voltaje, el contenido de Nitrógeno en el gas del láser o la cantidad suministrada de oxígeno³⁸.

Debido a la gran variedad de aplicaciones, no sería práctico tratar de cubrir todos los diferentes parámetros (tales como la potencia del láser, radio de curvatura, velocidad de corte, espesor de la hoja de lámina, distancia del lente, etc.) en el sistema de control.

2. Aplicaciones del láser en la industria³⁹

- **Soldadura.** Esto involucra soldadura a pulso para piezas de gran precisión de varios materiales. Penetraciones máximas de 2mm (0.080”) y puntos de hasta cerca de 1mm (0.040”) de diámetro se pueden ejecutar por este método. También se incluye soldadura continua curvada en casos donde se usa hoja de lámina o placas. Los láseres con un alto grado de potencia con dióxido de carbono (CO₂) tienen un rango de potencia de hasta 20 KW (24 HP) y son usados en soldadura continua curvada en aceros de espesores de hasta 20mm (0.75”).

³⁸ Kief pp.118-120.

³⁹ Ibid pp.120-122.

- **Corte.** Se utilizan para metales ferrosos de hasta 8mm de espesor y plásticos de hasta 40mm (1.5 pulgadas) de espesor, son cortados por láseres usando CO₂ que producen de 50 a 1,000 W (1/3 a 1.3 HP) de potencia. Cuando se corta acrílico con este láser, las orillas resultantes son tan claras como las de un vidrio.
- **Grabado.** La aplicación más común de este tipo de trabajo es el grabado de números de serie en piezas de trabajo y la generación de letras en placas. Aquí, la pieza de trabajo es fija y se encuentra debajo de un rayo estacionario, el sistema de CNC controla un espejo reflejante que trabaja en el principio de un espejo galvanómetro. La ventaja de este método consiste en que en el mecanizado no se aplica ninguna fuerza mecánica en el corte. En el grabado de letras se pueden crear una gran cantidad de caracteres por segundo. Los substratos de óxido de aluminio usados en los componentes micro electrónico han sido marcados con rayos láser desde años.
- **Taladrado.** Todo tipo de materiales puede ser taladrados con pulsaciones láser. Este método puede ser usado para crear orificios con diámetros de 10 a 500 μm (de 400 a 19,500 μ pulgadas) y profundidades equivalentes de hasta 10 veces el diámetro en metales y 40 veces el diámetro en termoplásticos. Las primeras aplicaciones del láser en estado sólido incluyeron el taladrado de rubíes para ser usados en el mecanismo de los relojes, instrumentos de medición y dados hechos de diamante para el estirado y formado de alambre industrial. El láser de CO₂ con pulsaciones es utilizado también en la industria del cigarro, perforando el papel de estos y trabajando las 24 horas del día.
- **Fresado de cavidades.** Esta máquina se parece mucho a una fresadora común y corriente. Sin embargo, esta está diseñada especialmente para los requerimientos dinámicos necesarios que son impuestos en las máquinas láseres. El cabezal del láser, se puede girar a 90° en cualquier dirección. El rayo láser puede ser enfocado para generar diámetros de aproximadamente 0.2mm (0.008") con una gran precisión, haciendo posible la creación de cavidades, ranuras y perfiles con una estructura extremadamente fina en metales, plásticos, cerámicas y otros materiales. Estas características pueden ser generadas con un alto grado de exactitud y a la profundidad deseada. Las partículas que han sido desprendidas del material de la

pieza por el rayo láser son expulsadas por medio de una corriente de gas. El sistema de CNC de cinco ejes usado para este tipo de aplicación debe ofrecer una respuesta rápida (con un tiempo de 10 ms) y un control uniforme de la potencia del láser, así como también la pulsación de la frecuencia de este.

- **Estereolitografía.** Este es un método para la creación de prototipos sin el uso de moldes o herramientas. El modelo es producido directamente de los datos proporcionados a través de un sistema CAD. Estereolitografía ofrece una gran precisión, velocidad y costo efectivo sin la necesidad de un modelo previo o proceso mecánico. Este método requiere un sistema de CAD/CAM para diseñar la pieza. En un proceso de pasos subsecuentes realizados por la computadora, un programa especial seccionado divide el dibujo mostrando en la pantalla varias secciones transversales separadas en el plano X/Y. En principio, este es el programa de CNC que controla el rayo láser ultravioleta (UV), el cual “expone” la pieza en forma de varias capas. La materia prima para este proceso es un plástico líquido sensible a los rayos UV que se encuentra en un contenedor. Este plástico está polimerizado (solidificado) a un punto donde este es expuesto a los rayos láser. La pieza de trabajo parece salir de la nada, siendo formada en capas desde abajo hacia arriba sentada en una parte del aparato que se va hundiendo gradual y lentamente en el contenedor (a lo largo del eje Z). Finalmente, la pieza es removida y dejada para el curado final en un horno ultravioleta. Posteriormente esta pieza puede ser maquinada hasta cierto grado, pintada y hacer pruebas en ella como si fuera la pieza original que será después fabricada. El proceso de producción por este método sólo toma un par de horas. En general la estereolitografía está basada en una combinación de la química de polímeros, el CAD y la tecnología láser.

Otra de las aplicaciones del láser es el marcado del número de herramienta en porta herramientas, dispositivos de sujeción y todo tipo de elementos metálicos que necesiten ser identificados con su número de parte.

1.3.2.4. Dobladoras de CNC

Las operaciones de doblado se realizan en dobladoras o plegadoras de lámina o chapa. Estas máquinas de CNC cuentan con servo controladores que aseguran un control preciso en el proceso de doblado. El sistema eléctrico en estos equipos está diseñado para dar seguridad de funcionamiento además de que los componentes importantes como servomotores, válvulas, servo válvulas y captadores están controladas por este sistema. Dos líneas de captadores (Y1, Y2) están montadas a los lados de la máquina, ellas miden la distancia exacta entre la cortina superior con movimiento intermitente hacia arriba y hacia abajo y la mesa de trabajo, la información enviada de la posición es inmediatamente procesada por el control de la máquina la cual transmite las señales para el control seguro de servo válvulas. Una vez captada la posición con la mínima diferencia, el control realiza la corrección necesaria para el control de las dos válvulas. Esto garantiza el paralelismo de la cortina superior con movimiento intermitente en todo momento durante el proceso. El CNC permite calcular el ángulo de corrección y los parámetros necesarios de doblado junto con el tope trasero localizado en la parte trasera del equipo. Durante el proceso de doblado, el servo sistema tiene la capacidad de reaccionar inmediatamente para realizar correcciones pertinentes en los cilindros localizados en ambos lados de la prensa, logrando de esta manera ajustes bajo carga un doblado de centrado y profundidad de doblado (ángulo de doblado)⁴⁰.

⁴⁰ Prensas plegadoras: se fabrican bajo estrictos controles para asegurar la máxima fiabilidad. **Prensas plegadoras Durma CNC**. Consultada en noviembre de 2006.
<<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/ResenyaProducto.asp?R=1307>>.

Figura 1.1. Aplicación de las Dobladoras



Fuente: En la Práctica. La Presencia Amigable de TRUMPF es la Clave para el Crecimiento de ebm-papst. **Noticias e Informes de Grupo TRUMPF**. Edición Norteamericana. Publicación Express. Otoño 2004. p.12. Consultada en noviembre de 2006. <<http://www.us.trumpf.com/31.img-cust/TE-S04-Sp.pdf>> Prensa dobladora tipo cortina marca TRUMPF.

El proceso de doblado de lamina tiene muchas aplicaciones en la industria para la fabricación de producto terminado, como por ejemplo en la industria del aire acondicionado y refrigeración, telecomunicaciones, computación y electrónica, enseres domésticos y automotriz sólo por mencionar algunas.

1.3.2.5. Máquinas de Corte por Chorro de Agua

Las herramientas de corte convencionales no pueden utilizarse para maquinar materiales blandos tales como plástico, hule, piel, papel, hule espuma poliuretano, fibra de vidrio o STYROFOAM⁴¹. Las máquinas de corte por chorro de agua o “waterjet”, en la actualidad, se han convertido como una alternativa en el corte de estos materiales. El principio es simple, el agua es forzada a través de una boquilla bajo una presión de 4,000 a 9,000 bar. El diámetro de la boquilla puede tener un rango de 0.1 mm y 0.3 mm

⁴¹ ®™ Trademark of The Dow Chemical Company ("Dow") or an affiliated company of Dow.

(0.004” y 0.012”). La velocidad de salida del chorro de agua puede ser de 800 m/s a 900 m/s (2,600 pies/s a 3000 pies/s), el cual es el doble de la velocidad del sonido. Cuando es dirigido hacia la pieza de trabajo, el chorro funciona como una cuchilla delgada e invisible. Este genera un agujero en la pieza de trabajo y después puede iniciar el corte en cualquier dirección que se haya programado. La perforación mide 0.1 mm a 0.3 mm (0.004” a .012”). La velocidad de corte puede tener un rango de 1 m/min. y 500 m/min. (3.3 pies/min. a 1650 pies/min.), dependiendo del tipo y espesor del material de trabajo. El consumo de agua puede llegar hasta de 1.5 litros/min. (0.40 galones/min.). El agua puede ser purificada por medio de filtros y después utilizada nuevamente en el proceso de corte. Si el chorro de agua no es suficiente para el corte, un polvo abrasivo de un grado extremadamente fino se adhiere al agua. Esto es llamado corte por chorro abrasivo o “Abrasivejet”. Este método se utiliza para cortar aluminio, acero de herramientas, acero inoxidable, titanio, mármol y vidrio⁴².

El corte por chorro abrasivo ha sido utilizado en la industria desde 1982. El chorro de corte por agua fue el precursor de este proceso que data desde hace 37 años. Este proceso de corte es utilizado en varias industrias⁴³.

Las ventajas del corte por chorro de agua incluyen:

- La habilidad de maquinar piezas de trabajo planas y en tres dimensiones
- Cortes con un alto grado de calidad (mucho mejor que el corte por flama, cuando se utilizan para cortar aceros)
- No se presenta viruta en las orillas cortantes en la pieza de trabajo
- Cantidades mínimas de material de desperdicio en las orillas
- No se presenta viruta, acumulación y depósito de polvo en la pieza de trabajo (Aunque cuando se utiliza abrasivo, este deja un polvo fino detrás durante el corte)
- Un alto grado de avance en los cortes
- No se presentan altas temperaturas de corte

⁴² Kief pp.140-141.

⁴³ About Abrasivejet **About Abrasivejet Machining**. OMAX Precision Abrasive Waterjet Systems. Consultada en noviembre de 2006. <http://www.omax.com/about_abrasive.php>.

- No se presentan fuerzas de corte, de esta manera no se deforman los materiales suaves durante el corte
- No se generan cargas eléctricas en la pieza de trabajo, por consiguiente los tableros eléctricos pueden ser cortados por este método sin dañar los componentes sensitivos una vez que estos han sido montados en los tableros.

La mayoría de los equipos del corte por chorro de agua se construyen con una estructura básica en la máquina del tipo puente de tres ejes y con dos ejes adicionales de movimiento en la boquilla. Sin embargo, para obtener una mayor flexibilidad también se puede combinar una boquilla de corte con un brazo robot⁴⁴.

Figura 1.2 Proceso de Corte por Chorro de Agua



Fuente: ESAB Cutting Systems. Consultada en noviembre de 2006. <<http://www.esabcutting.com/>>.

Una de las mejoras en estos equipos es que los sistemas de programación requieren un tiempo muy corto para programar y preparar la máquina para hacer una pieza. La fabricación de una pieza en un centro de maquinado vertical tomaría todo un día para un experimentado programador de CNC y un operario para programar y montar el equipo mientras que sólo tomaría unos minutos en un equipo de esta naturaleza.

⁴⁴ Kief pp.141-142.

1.3.2.6. Maquinado por Descarga Eléctrica o Electroerosionado

En el área de mecanizado por Descarga Eléctrica o Electroerosionado o “Electrical Discharge Machining” (EDM) es el proceso de la remoción de metal a través del uso de descargas eléctricas en la cual quema el material removiéndolo de esta manera⁴⁵. Este proceso permite la fabricación de dados para troqueles, moldes para la inyección de plástico, moldes para la fundición de herramientas, moldes soplados, etc. Las máquinas electroerosionadoras de CNC son de dos tipos, por penetración y de alambre o hilo.

A. Máquinas por penetración. Estas requieren el uso de un electrodo sólido (comúnmente mecanizado en un centro de maquinado de CNC) que tiene la forma de la cavidad a ser maquinada en la pieza de trabajo. Los electrodos están hechos de materiales que son buenos conductores de electricidad. Ejemplos de estos son grafito, cobre y latón por sólo mencionar algunos. Los fluidos dieléctricos que se utilizan son aceites de petróleo de baja viscosidad, glicol etileno, así como otras soluciones. La remoción de material y calidad del acabado dependen del material del electrodo, amperaje, frecuencia y la naturaleza del proceso de maquinado. Para crear las formas y contornos, el sistema de CNC guía el electrodo a lo largo de trayectorias en línea recta y circulares en el plano X & Y, además de los movimientos de alimentación en la dirección Z. Cuando un corto circuito ocurre durante la operación, el sistema de CNC retrocede el electrodo en el eje Z e inmediatamente lo coloca otra vez en posición. Máquinas pequeñas pueden contar con cambiadores de herramienta, en este caso cambiador de electrodos, y cambiadores de palets para las piezas de trabajo. Estas máquinas por lo regular son programadas en piso por el operario con la ayuda de gráficas en el control.

B. Máquinas de alambre o hilo. Son usadas comúnmente para hacer agujeros de precisión en troqueles para la industria del conformado de material. El electrodo de alambre se va desgastando debido a las descargas eléctricas. Por este motivo el alambre se va alimentando en una forma constante por medio de un carrete para garantizar un desprendimiento de metal uniforme. El CNC de los movimientos en los

⁴⁵ Krar y Oswald p.690.

ejes X & Y aseguran un contacto constante durante la operación. Cuando se van a cortar en tres dimensiones con ángulos inclinados, un segundo movimiento en los planos superiores U & V son utilizados junto con los ejes X & Y. Cortes cónicos y cambios continuos en inclinaciones se pueden realizar con este tipo de proceso. El material de trabajo que se puede procesar en estas máquinas puede ser del tipo conductor o semiconductor de electricidad. Las aplicaciones en la industria incluyen la aeroespacial, microelectrónica, automotriz, semiconductores, médica, telecomunicaciones tan sólo por mencionar algunas.

Aunque los equipos de CNC se han desarrollado o enfocado más para las máquinas-herramienta por desprendimiento de viruta, su utilización no se limita sólo a éstas aplicaciones. A continuación se mencionan otras máquinas que se relacionan y están conectadas u operadas con el principio del CNC,

- Máquinas de dibujar
- Máquinas de medición por coordenadas o “Coordinate Measuring Machine” (CMM)
- Manipuladores brazos robots

1.4. MANUFACTURA INTEGRADA POR COMPUTADORA O “COMPUTER INTEGRATED MANUFACTURING” (CIM)

La siguiente sección tiene el objeto de exponer en forma breve lo que es la manufactura integrada por computadora o CIM.

Si se desea profundizar más en el tema se recomienda consultar las referencias enunciadas ya que éstas explican con más detalle el concepto CIM. Existe una gran variedad de definiciones de diferentes expertos en la materia. A continuación se enuncian algunas de ellas,

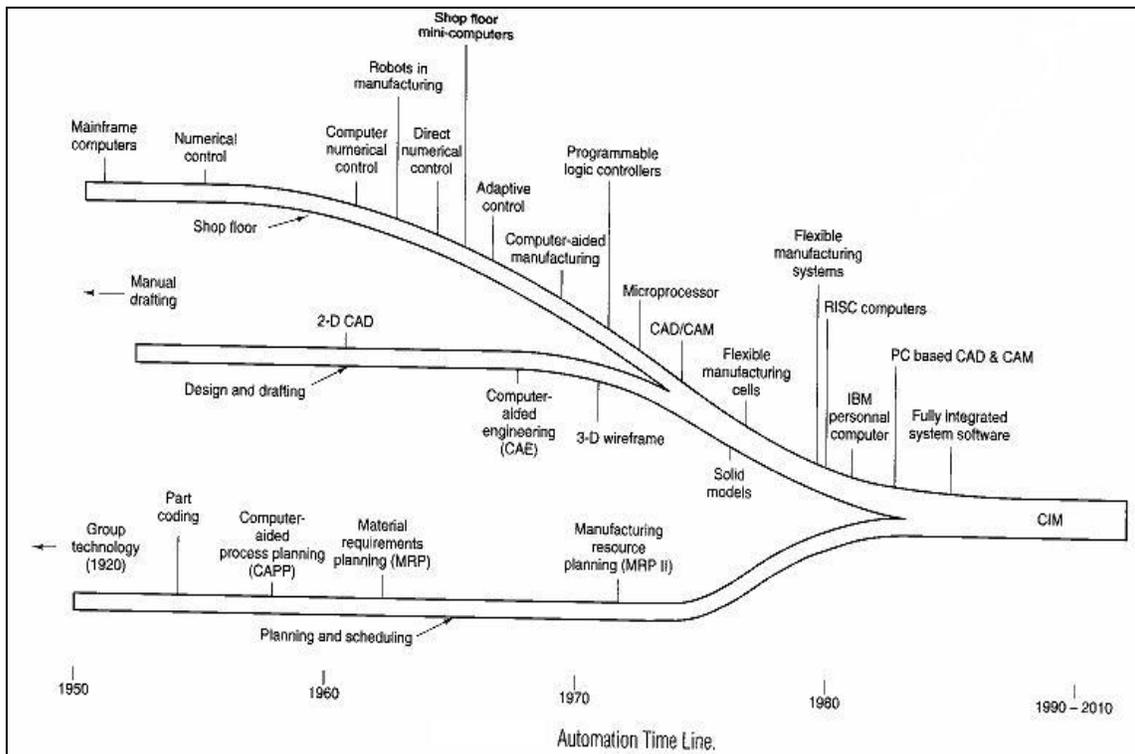
- De acuerdo a la “Computer and Automation Systems Association/Society of Manufacturing Engineers” (CASA/SME), “CIM es la integración de la manufactura total de la empresa a través del uso de sistemas integrados y comunicación de datos unidos con una nueva filosofía gerencial que mejora la organización y el personal en forma eficiente. El CIM no es un producto que se puede comprar e instalar.

- John W. Bernard lo define como “la integración de las computadoras digitales en todos los aspectos del proceso de manufactura”⁴⁶
- El termino CIM⁴⁷ es usado para describir sistemas avanzados los cuales incluyen la automatización, sistemas de ingeniería, ciencias de la computación, mecatrónica y estandarización. Una implementación exitosa de CIM esta basada en la integración de un número de tecnologías, incluyendo las siguientes:
 - a. Fábricas automatizadas
 - b. Diseño y Manufactura Asistido por Computadora (DAC/MAC) o CAD/CAM
 - c. Ingeniería Asistido por Computadora (IAC) o “Computer-Aided Engineering” (CAE)
 - d. Comunicaciones (incluyendo telecomunicaciones)
 - e. Comunicación humana
 - f. La administración de la información y productos
 - g. El control de la información, productos, materiales y máquinas en un ambiente de manufactura

⁴⁶ Manufactura Integrada por Computadora. **CIM Definición**. Consultada en noviembre de 2007.
<<http://html.rincondelvago.com/manufactura-integrada-por-computadora.html>>

⁴⁷ Asai, K., Takashima, S. y P.R. Edwards. **Manufacturing Automation Systems and CIM Factories**. Editorial Chapman & Hall. London. 1994. p.57.

Fig. 1.3 Concepto CIM



Fuente: Rehg, James A. & Kraebber, Henry W. **Computer-Integrated Manufacturing**. Editorial Prentice Hall. 2nd Edition. June 5th 2000. p. 103.

- Otra definición y explicación breve de lo que es el CIM es la siguiente⁴⁸, “CIM, es la automatización completa de una planta manufacturera con todos los procesos funcionando bajo el control de la computadora y la información digital enlazados entre ellos”. Este concepto fue promovido por los fabricantes de máquinas-herramienta y por la Sociedad de Ingenieros de Manufactura o “Society of Manufacturing Engineers” (CASA/SME) en los Estados Unidos en la década de los 80’s. Al principio se pensó que este concepto se refería a una fábrica totalmente automatizada.

El CIM incluye:

- CAD/CAM, Computer-Aided Design/Computer-Aided Manufacturing

⁴⁸ RCG University. **Computer Integrated Manufacturing Definition**. Consultada en enero de 2008. <<http://rockfordconsulting.com/cim.htm>>

- CAPP, Planeación de Procesos Asistido por Computadora o “Computer-Aided Process Planning”
- CNC, máquinas-herramienta de Control Numérico Computarizado o “Computer Numerical Control”
- DNC, máquinas-herramienta de Control Numérico Directo o “Direct Numerical Control”
- FMS, Sistemas Flexibles de Manufactura (SFM) o “Flexible Manufacturing Systems”
- ASRS, Sistemas de Almacenamiento y Recuperación Automático o “Automated Storage and Retrieval Systems”
- AGV, Vehículos Guiados Automáticos o “Automated Guided Vehicles”
- Utilización de la robótica y los transportadores automatizados
- Y por ultimo los sistemas integrados de negocios utilizando una base de datos común.

El corazón de CIM es el CAD/CAM. Estos sistemas son esenciales para la reducción de los tiempos de ciclos en la organización. Las técnicas de CAD utilizan el uso de las Tecnologías de Grupo o “Group Technology” (GT) para crear geometrías similares. Los sistemas integrados CAD/CAM han proveído de diseño/dibujo, planeación y programación y las capacidades de fabricación hasta hoy conocidas. El CAD provee electrónicamente de la imagen de la pieza y el CAM provee la facilidad de crear la trayectoria de la herramienta para producir la pieza. Una vez que la pieza se ha diseñado en el CAD, los ingenieros tienen la capacidad de analizarla y probar el diseño antes de elaborar el prototipo por medio de la utilización de software Ingeniería Asistido por Computadora o “Computer-Aided Engineering” (CAE). Por ejemplo los ingenieros pueden utilizar el Análisis del Elemento Finito o “Finite Element Analysis” (FEA) para predecir las áreas de tensión en una pieza y los efectos de carga.

Una vez que el CAM ha generado el programa este se puede utilizar en una máquina de CNC para producir la pieza. El CAD también se puede utilizar para el diseño de las herramientas y dispositivos de sujeción.

Los Sistemas Flexibles de Manufactura o FMS son extensiones de las Tecnologías de Grupo o GT y los conceptos de Celdas de Manufactura. Utilizando la integración de CAD/CAM, las piezas pueden diseñarse y programarse en la mitad del tiempo que se tomaría normalmente en la ingeniería. Los programas de las piezas pueden ser enviados a un centro de maquinado de CNC por medio de una computadora controlada e integrada en el FMS. La computadora juega un papel muy importante en el FMS ya que se puede planear la producción de las piezas requeridas y las máquinas de CNC disponibles.

Cabe hacer hincapié que el CIM puede incluir diferentes combinaciones de las herramientas arriba mencionadas.

Algunas ventajas potenciales del CIM son las siguientes⁴⁹

- Tiempos cortos de nuevos productos en el mercado
- Incremento de la productividad en la manufactura
- Tiempos cortos de entrega al cliente
- Mejora en la calidad
- Mejora en el servicio al cliente
- Reducción de inventarios
- Una mayor flexibilidad y reacción rápida
- Reducción total de costos
- Una mayor flexibilidad a largo plazo

⁴⁹ Industrial & Manufacturing Engineering. **Oregon State University**. Consultada en diciembre de 2007.
<<http://ie.oregonstate.edu/facilities/cim/>>

CAPÍTULO II. IMPORTANCIA DEL CNC EN LA INDUSTRIA MODERNA

La industria metalmecánica ha visto un mayor beneficio en el desarrollo del CNC. Las grandes corporaciones han adquirido estos equipos para mantenerse competitivos en sus respectivas áreas. Con los avances del CAD/CAM, Sistemas Flexibles de Manufactura (SFM) o “Flexible Manufacturing Systems” (FMS), Robótica, etc., las máquinas-herramienta con CNC han evolucionado y mejorado extraordinariamente desde su aparición en la industria metalmecánica. Las mejoras que se han visto en los últimos años en lo que se refiere a componentes mecánicos tanto en el equipo como en sus componentes para el mecanizado son, bancadas más robustas, husillos con un alto grado de RPM (Revoluciones Por Minuto), reglas de medición o “glass scales” más precisas y con una retroalimentación más rápida, husillos hidrostáticos más durables, platos de sujeción con diferentes tipos de mordazas, herramientas de corte más robustas, desarrollo de insertos con un alto grado de maquinabilidad para el corte de diferentes materiales, mecanismos de cambio de herramienta automático más eficientes reduciendo tiempos durante el cambio de herramienta, el panel de control y el software utilizado fácil y sencillo de navegar. Todas estas mejoras en los componentes tanto mecánicos como eléctricos, electrónicos, han creado maquinaria de CNC sofisticada, versátil, durable y más segura de operar.

En la industria automotriz en el área del corte de metal, por ejemplo, en el maquinado de rotores para los frenos de disco en automóviles y camionetas, en los últimos años ha estado cambiando sus equipos automáticos en líneas “transfer” a máquinas de CNC. Los equipos automáticos que son de alta producción para la fabricación de cierto producto, tomaban hasta dos o tres semanas para convertir la línea de mecanizado para producir un producto diferente. Esto incluía el cambio de herramientas de corte, ajuste de paros automáticos, el transportador de piezas de una operación a otra, etc. Ahora con la adquisición de máquinas de CNC integradas como celdas de producción, el cambio de un producto a otro en la celda, toma de dos a cuatro horas de trabajo para la conversión. Aquí lo único que se necesita, es el cambio de las mordazas sujetadoras y seleccionar el programa de CNC de acuerdo a la pieza que se va a fabricar en la celda.

Los equipos de CNC han traído como consecuencia una mejor calidad en el producto a fabricar con un menor tiempo de mecanizado, debido a que la intervención de los operadores es mínima comparada con la operación de máquinas-herramienta convencionales. En las máquinas convencionales se dependía mucho en la habilidad del operario. Aquí, la intervención del operario dependía en toda medida del estado de ánimo de este así como la calidad del producto terminado y el tiempo empleado. El operario tenía la capacidad de decidir cuando una herramienta desgastada tenía que cambiarse, así como también de acuerdo a su experiencia, seleccionar los avances y velocidades de corte adecuados de acuerdo al material y herramienta a utilizar. El cansancio del operario y distracción traía como consecuencia un gran desperdicio de piezas en un determinado tiempo del día y semana.

2.1. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LAS MHCNC

Las operaciones automáticas realizadas por CNC son más adaptables a todas las operaciones del corte de metales. Los tornos, fresadoras, taladros, mandrinadoras, rectificadoras, corte por flama, soldadoras y doblado de tubo son máquinas que cuentan con CNC, sólo por mencionar algunas. El CNC se usa también en las máquinas de medición por coordenadas o “Coordinate Measuring Machine” (CMM) las cuales toman las medidas de piezas a través del uso de palpadores. Estas máquinas muestran las dimensiones de la pieza por medio de un lector digital y puede mostrar la diferencia entre la medida actual de la pieza y la especificada en el dibujo de fabricación.

Las ventajas más importantes del CNC son las siguientes⁵⁰:

1. Las máquinas de CNC constantemente producen tolerancias muy cerradas sin la necesidad de usar dispositivos de sujeción especiales. Generalmente sólo se necesitan dispositivos de sujeción sencillos
2. Frecuentemente, una máquina de CNC puede tomar el lugar de muchas máquinas convencionales. El torno es un ejemplo. Este ahorra espacio que se necesitaría para

⁵⁰ Krar y Oswald pp.535-537.

- las máquinas convencionales. Este también reduce la cantidad de manejo de materiales requerido
3. Los programas de CNC se preparan más rápido, que el diseñar y fabricar los dispositivos de sujeción, acortando así el tiempo de entrega del producto. Los cambios en el diseño de la pieza se pueden hacer rápidamente mediante la modificación del programa de CNC evitando así la necesidad de rediseñar y fabricar costosos dispositivos de sujeción
 4. Los equipos de CNC son más confiables y precisos, por esta razón se obtiene menos desperdicio de piezas debido a errores humanos. Esto minimiza la tarea de inspeccionar las piezas para mantener el nivel deseado de calidad
 5. Puesto que los equipos de CNC proveen de alguna manera un método estándar para fabricar piezas, los departamentos de producción son capaces de planear la producción y así anticipar los costos de fabricación requeridos
 6. Las máquinas de CNC también son ideales para pequeños lotes repetitivos de producción. Una vez escrito el programa de CNC para una pieza en particular, este puede ser guardado indefinidamente en el control de la máquina. Cuando se necesite, este puede ser activado nuevamente para la producción de dichas piezas. Esto elimina la necesidad de planear otra vez el trabajo y de esta manera reduce dramáticamente el tiempo de entrega del producto

Algunas de las desventajas son las siguientes:

1. El costo inicial de los equipos de CNC es muy alto en su inversión inicial
2. Se necesita de personal altamente especializado en electrónica para mantener estos equipos en servicio desde el punto de vista de mantenimiento
3. El personal debe ser entrenado en la programación y operación de estos equipos

2.2. FACTORES A CONSIDERAR ANTES DE ADQUIRIR EQUIPOS DE CNC

Cuando se planea obtener equipo de CNC, los gerentes encargados de esta tarea se encontraran con dos fases en la planeación, antes y después de la compra de los

equipos. Existen diez factores básicos que los directivos o gerentes deben tomar en cuenta antes de comprar los equipos de CNC.

2.2.1. Conocimiento Básico del CNC

El usuario debe tener la información necesaria concerniente a las operaciones y capacidades del CNC para tomar una decisión adecuada de acuerdo al producto y a las necesidades de la empresa. Una forma de obtener esta información es atendiendo a los programas de entrenamiento y a las demostraciones que ofrecen los proveedores de máquinas de CNC. La mayoría de estos proveedores se sentirán complacidos de tener la oportunidad de ofrecer sus cursos de entrenamiento y demostraciones a usuarios potenciales. Esto permite también intercambiar ideas con otras personas cuando se asiste a las clases, así como proveerse de información de primera mano desde el punto de vista de otros usuarios de CNC. Asistir a las exposiciones de maquinaria también es de gran utilidad, ya que en un sólo lugar se puede visitar una gran cantidad de proveedores a la vez. Aquí se puede apreciar lo último en tecnología de CNC, así como comparar los diferentes fabricantes y distribuidores de máquinas. Una exposición que se recomienda asistir para los profesores, estudiantes, ingenieros, gerentes y directivos dedicados a la industria metalmecánica es la “International Machine Tool Show” (IMTS) que se lleva a cabo en Chicago, Illinois en los Estados Unidos. Esta es una exposición de las más grandes en el mundo y que se lleva a cabo cada dos años. Aquí se expone lo nuevo en cuanto a lo último en tecnología en maquinaria, herramientas de corte, paquetes de programación CAD/CAM, etc.

2.2.2. Capital Requerido para la Inversión

Las máquinas de CNC por su complejidad, tienen sus desventajas. Una de ellas es el alto costo inicial invertido comparado con el costo de las máquinas convencionales. Estos equipos de CNC requieren de una estructura más rígida, tornillos de bolas más precisos, baleros y otros mecanismos los cuales permiten a la máquina-herramienta lograr un alto grado de velocidad para los cambios de posición requeridos. En consecuencia esto hace a este tipo de máquinas ser muy costosas sobre todo para la

pequeña y mediana industria. Aunado a esto, se le tiene que agregar también el costo de la unidad de control así como los medios para la programación del equipo. Aun así el alto costo inicial invertido en estos equipos, una instalación y operación apropiada de estos, permite, por su gran eficiencia, recuperar la inversión en un corto plazo. Se recomienda operar estos equipos dos turnos o de preferencia tres, esto es con la finalidad de recuperar la inversión más rápidamente, por supuesto esto dependerá del tipo y volumen del producto a mecanizar. Por ejemplo, en la industria de fabricación de moldes de gran tamaño, los equipos se dejan funcionando por la noche sin intervención del operario. Esto es porque el mecanizado de moldes lleva mucho tiempo en el desbastado y acabado de la pieza de trabajo, ya que una herramienta de corte realiza sus movimientos a una velocidad lenta debido a que el material a mecanizar es de una dureza tal que impide incrementar los avances. También debido a la forma y geometría del molde se debe mecanizar de una forma tal que no se vaya a romper la herramienta de corte.

2.2.3. Personal y Entrenamiento

El problema de quien será el responsable de operar estos equipos, se debe resolver en el proceso de planeación antes de adquirir estos equipos de CNC. El punto aquí es tener en cuenta que para obtener un retorno máximo del capital invertido, debe organizarse una buena cooperación y comunicación que deberá ser mantenida entre el taller, programación y el personal de ingeniería. El CNC ha abierto una gran oportunidad para el ingeniero y los diseñadores que consiste en el uso de las técnicas de diseño que anteriormente eran imposibles cuando solamente se contaban con los métodos que eran disponibles con las máquinas convencionales. El CNC no es solamente una pieza del equipo de producción este es un sistema de manufactura que requiere la atención y cooperación de todos los departamentos en la empresa. Así, en la introducción de CNC, el entrenamiento será enfocado principalmente a los gerentes y personal de manufactura. En el entrenamiento se requerirá a los operadores de los equipos, programadores y los técnicos de mantenimiento por mencionar algunos.

- **Operador de CNC.** Existe una gran diferencia de opiniones acerca de las habilidades necesarias que el operario debe tener en la operación de estos equipos. En teoría, estas hacen todo el trabajo, que hace un operario con habilidades y experiencia. De esta manera, cualquier persona podría ser entrenada para montar la pieza de trabajo en el dispositivo de sujeción y oprimir el botón de inicio de ciclo en la máquina y obtener la pieza terminada. En la práctica esto no sucede así. Por experiencia, el mejor operario para el manejo de estos equipos es el que ha trabajado en talleres mecánicos con máquinas convencionales por muchos años. Este operario altamente capacitado, puede ser de gran ayuda para obtener nuevos programas de CNC, así como diseñar los dispositivos de sujeción necesarios para el mecanizado. Operadores con menos habilidades deberían de reemplazar a operadores altamente calificados una vez que las máquinas de CNC y sus programas estén trabajando sin ningún problema y no se requieran mayores cambios. Generalmente los jóvenes son los que desearían operar este tipo de máquinas pues para ellos representa un reto personal el aprender y por lo tanto ellos estarán continuamente buscando mejoras y fáciles maneras de operarlas. Por el otro lado, algunos operadores de edad avanzada que han trabajado en máquinas convencionales por muchos años, presentan de alguna manera un mayor grado de dificultad en el manejo de nuevas tecnologías por el hecho de que estas personas no están familiarizadas con la computadora.
- **Programadores de CNC.** El éxito de los equipos de CNC depende de la habilidad de los programadores para comunicarse efectivamente con la máquina. Si observamos el trabajo del programador como un medio de comunicación, encontraremos que este deberá ser capaz de interpretar dibujos de ingeniería para determinar:
- Las herramientas de corte necesarias para el trabajo
 - Determinar como la pieza de trabajo se va a colocar en el dispositivo de la máquina
 - El procedimiento de montaje
 - Los puntos de origen para cada operación

- La secuencia de operación para la mejor optimización del equipo
- Editar el programa de CNC si se emplea un software CAD/CAM
- Conocer los códigos apropiados para cada máquina
- Los avances y velocidades apropiadas para cada operación de acuerdo al material de trabajo

De acuerdo a lo descrito anteriormente, el programador de CNC debe ser aquel que tenga estudios de Preparatoria o Vocacional y de preferencia que tenga experiencia en un taller mecánico con máquinas convencionales. El programador debe tener conocimiento de las operaciones de mecanizados y herramientas de corte. Este no podría programar eficientemente al menos que entendiera las funciones de las herramientas y las máquinas. El programador debe pensar en una forma analítica, pues de esta manera puede preparar un programa a detalle en cada secuencia de mecanizado para que no sólo el operador sino también la máquina de CNC sigan las instrucciones programadas.

- **Técnicos de mantenimiento.** Los mejores técnicos de mantenimiento relacionados con CNC son aquellas personas que han trabajado en el área de la mecánica y electrónica quienes serán responsables de la detección de fallas en el control electrónico así como en partes mecánicas de la máquina.

2.2.4. Programación y Herramientas

Al adquirir un nuevo equipo de CNC, la gerencia debe tener en consideración de cómo se va a programar la máquina y que equipos adicionales se necesitan para esto⁵¹. Existen dos alternativas. La primera es la de programación directa. Esta es aquella en la que el operario o montador de la máquina utiliza un software conversacional que esta integrado al control de la máquina o en algunos otros casos empleando un software CAD/CAM. Este tipo de programación conversacional se utiliza más en talleres pequeños en donde no se necesitan grandes volúmenes de producción.

⁵¹ Beard, Tom. "How Shops Are Programming." **Modern Machine Shop**. April 1994: pp.21-26.

El segundo es el de programación indirecta. Este es cuando se tiene una computadora con un software CAD/CAM, más sofisticado en el departamento de Ingeniería. Aquí el programador obtiene el dibujo de la pieza de trabajo en forma de un archivo electrónico de computadora en un formato “Data eXchange Format” (DXF). Una vez que se tiene el contorno de la pieza extraído del archivo DXF, se seleccionan las herramientas para generar la trayectoria más adecuada de las herramientas. Una vez realizado esto, el software tiene la capacidad de generar el código G y M que la máquina va a ejecutar. A continuación se procede a transmitir el programa de CNC por medio del Control Numérico Directo o “Direct Numerical Control” (DNC) o en su caso guardarlo en un disco flexible o memoria portátil con puerto del tipo “Universal Serial Bus” (USB) para después cargarlo al control de la máquina y así ejecutar el programa.

Según sea la opción a escoger cuando se obtiene un equipo de CNC, se deben considerar los equipos periféricos necesarios para la programación. Las herramientas empleadas en el CNC deben de coincidir según se haya programado puesto que la selección del tamaño y forma del cortador es importante a la hora de ejecutar el programa. Cuando se crea un programa de CNC ya sea en forma manual o por medio de la computadora, se acostumbra incluir y especificar el tipo de herramientas para que el operario emplee las herramientas adecuadas para fabricar las piezas en cuestión de acuerdo al programa.

2.2.5. Mantenimiento y Reparación

El mantenimiento es otro aspecto importante que se debe considerar al adquirir estos equipos de CNC. Algunas compañías, sobre todo pequeñas, se han visto en la necesidad de suspender la adquisición de estos equipos porque no cuentan con un lugar adecuado y del personal capacitado para entender y ofrecer servicio a los equipos de control de CNC. En esta área se debe asegurar que las compañías que venden estos equipos tengan programas de capacitación de los equipos de control para el personal de mantenimiento. Hoy en día los controles son más fáciles de reparar, ya que estos se fabrican y ensamblan por módulos, de esta manera sólo es necesario tener partes de repuesto que sean muy críticas o que puedan causar un problema mayor a la hora de encontrar la falla. Al adquirir los equipos de CNC se debe incluir, en lo que se refiere al

control, una serie de partes de repuesto necesarios para la reparación de estos. De esta manera habrá menos tiempos muertos en las máquinas por reparación y menos llamadas de personal de servicio. Con esto, la empresa se ahorraría grandes sumas de dinero pues el personal de servicio por lo regular cobra por hora a parte de los viáticos que hay que pagarles.

2.2.6. Análisis de Costo

A la hora de elegir un equipo de CNC, por lo regular se tiene un mínimo de datos para el costo estimado del trabajo que se va a realizar en estos. Existen algunas excepciones pero en general se puede considerar que el análisis del costo de un equipo de CNC es el siguiente, el costo del tiempo de los programadores de CNC, así como el equipo necesario para generar los programas comparado con el diseño y fabricación de los dispositivos de sujeción y el número de montajes requeridos en los procesos en las máquinas convencionales. Eliminando una gran cantidad de dispositivos de sujeción, probablemente constituye uno de los grandes ahorros en la adquisición de estos equipos. El empresario se preguntará “¿Qué tipo de máquina de CNC necesito para mi empresa?”⁵² Naturalmente, este estará interesado en hacer el trabajo en la forma más económica. Para esto se toma en cuenta el volumen de producción actual y la posibilidad de incrementar esta en el futuro. Así como el tiempo de entrega del producto ya que estos equipos acortan dramáticamente el tiempo de mecanizado de piezas. También se considera el número de operadores que se cuenta para la producción.

2.2.7. Control de Calidad

Uno de los beneficios del CNC es la consistencia en la calidad de las piezas producidas. Es difícil calcular en pesos y centavos los beneficios que se consiguen con estos equipos pues las piezas a maquinar son siempre las mismas en calidad una tras otra. En consecuencia, por la consistencia de estas máquinas, se ha reducido a tal grado la necesidad de inspeccionar las piezas regularmente, también el rechazo ha disminuido substancialmente. Los efectos adversos de la habilidad del operario, fatiga y la

⁵² Olesten, Nils O. **Numerical Control**. October 21. 1970. p.6.

confiabilidad humana han sido reducidos al mínimo. Piezas de trabajo más complicadas se pueden producir con un mínimo de rechazo comparado con las máquinas convencionales. Es bien conocido que la inspección de piezas es muy costosa y que encontrar buenos inspectores de calidad es difícil conseguirlos, cualquier medio de reducción o eliminación de inspección es bien recibido como en el caso de los equipos de CNC. Debe tomarse en cuenta que el control de calidad no se elimina con estos equipos, al contrario, se debe diseñar un control de proceso y verificación adecuado a los requerimientos de producción de la pieza de trabajo en cuestión⁵³.

2.2.8. Reducción de Inventarios

Empleando equipos de CNC se pueden reducir los inventarios. Inventario en proceso se puede bajar substancialmente ya que el tiempo de producción de piezas es mucho más corto. El inventario final puede mantenerse a un mínimo porque la facilidad y respetabilidad con que las piezas se maquinan permiten en cualquier momento fabricar las piezas necesarias para mantener el inventario requerido. El inventario de material también se puede reducir puesto que no es necesario correr grandes lotes de producción.

2.2.9. Entorno del Equipo de CNC

El factor más importante por considerar en la localización e instalación de los equipos de CNC en la planta es la accesibilidad. Las piezas de trabajo a mecanizar determinarán el tamaño y complejidad del equipo de CNC por lo que se debe considerar el espacio requerido para la instalación. El flujo de trabajo es otro factor importante pues se estará alimentando constantemente y proveyendo piezas semi-terminadas o terminadas a otras máquinas o al almacén de producto terminado. Un segundo factor es considerar el aire acondicionado en la planta. Muchas de las instalaciones de CNC no necesitan aire acondicionado en la planta para mantener la precisión. La temperatura de las máquinas de entre 10 o 35 grados Celsius no es crítica siempre y cuando se mantenga

⁵³ Genest, David H. "Integrating Quality With Manufacturing." **Modern Machine Shop**. April 1992: pp. 105-119.

la temperatura constante y los componentes de la máquina funcionen apropiadamente⁵⁴. Los paneles de control de estas máquinas están siendo fabricados con unidades de aire acondicionado dentro de estos para que las temperaturas exteriores no afecten el buen funcionamiento. Generalmente el calentamiento o enfriamiento de la máquina durante su operación, trae como consecuencia dimensiones finales fuera de especificación. Dependiendo del producto a fabricar se determinara si el equipo deba estar en un ambiente controlado.

2.2.10. Responsabilidad de Servicio

Con objeto de hacer redituable al equipo de CNC, es indispensable mantenerlo en operación el mayor tiempo posible. Cuando este falla, en ocasiones es difícil definir si la falla es mecánica o del control. Esta situación sobre todo es engorrosa, cuando son diferentes los fabricantes del equipo mecánico y del control. En particular, se niegan a reconocer la falla. Esto como es natural, hace más lento el servicio y se alarga el tiempo del mismo, incrementando en consecuencia las pérdidas. Cuando el fabricante es el mismo tanto del equipo mecánico como del control, el servicio se torna más simple y eficiente pues no hay excusas de que su equipo no tiene nada que ver con la interacción de otro.

2.3. PLANEACIÓN DE LOS EQUIPOS DE CNC

Deben examinarse cuidadosamente la relación entre el CNC y el proceso en la manufactura. Esto requiere que los aspectos básicos del proceso sean identificados adecuadamente al utilizar estos equipos. A continuación se describen algunos aspectos importantes.

2.3.1. Fases de la Planeación de Ingeniería

- **Forma de la pieza.** Es evidente que un buen ingeniero de diseño de producto debe tener en cuenta que el producto sea en la fabricación lo más económicamente posible. Este debe evitar formas complejas en las piezas que por ende dificultan la

⁵⁴ Olesten p.7.

manufactura de estas y por lo tanto a un costo elevado. Necesita ser más práctico y tener conocimientos básicos de maquinados para que a la hora de diseñar sepa darle forma al producto y así evitar más procesos de maquinado. Ahora con el empleo del CNC, el diseño de producto puede tener complicadas formas sin necesidad de elevar el costo del producto. Prácticamente la habilidad del operario no es necesaria para obtener estas formas. El CNC ha traído para los ingenieros de producto una mayor flexibilidad para el diseño de piezas. Otro aspecto importante del CNC son las herramientas. Estas son suficientemente flexibles puesto que se pueden emplear las mismas herramientas para diferentes piezas y hacer los cambios de herramientas sin ningún contratiempo y con un costo mínimo.

- **Tolerancias.** Uno de los trabajos de ingeniería es determinar las tolerancias requeridas para una pieza en particular para que cumpla con las funciones para las que es diseñando y con el mínimo costo de producción. Como regla general, entre más cerradas sean las tolerancias los costos de fabricación de la pieza se incrementan. El trabajo del ingeniero de diseño es crear tolerancias en la pieza lo más amplias posible en donde es necesario sin descuidar el propósito de funcionalidad de la pieza. Con el CNC ahora las tolerancias son independientes del costo puesto que estos equipos pueden obtener dimensiones con una precisión increíble dependiendo de la máquina.
- **Material.** En cuanto a la especificación del material del producto, el ingeniero puede emplear cualquiera ya que la máquina de CNC corta de la misma manera uno u otro material con los avances y velocidades adecuadas para ello.

2.3.2. Fases de la Planeación del Proceso

- **Proceso.** Un aspecto importante en el proceso de planeación, es la secuencia del proceso. Estas operaciones pueden ser ligeramente diferentes con los equipos de CNC comparadas con las máquinas convencionales. Por lo que se puede decir que el CNC no tiene gran efecto en esta función.
- **Dispositivos de sujeción.** El empleo de dispositivos de sujeción en CNC es sumamente bajo y en costo comparado con los de las máquinas convencionales. En

CNC no se necesitan sofisticados dispositivos de sujeción y prácticamente se han eliminado los bujes guía para las operaciones de taladrado. La información del control de la máquina, provee de una constante repetitiva y movimientos de la herramienta sin la necesidad de utilizar bujes guía en el caso de taladrado o complicados dispositivos de sujeción para las operaciones de fresado. El propósito de CNC es sólo sujetar la pieza con un simple dispositivo de sujeción para la operación de los maquinados. Estos equipos también tienen la ventaja de machuelear sin ningún contratiempo en las operaciones de roscado en agujeros⁵⁵.

- **Estudio de tiempos y métodos.** El CNC prácticamente elimina el estudio de tiempos en su forma convencional de tomar el tiempo con un reloj al operador cuando este ejecuta la operación de maquinado. Por supuesto no lo elimina en su totalidad, sólo se transfiere. Ahora, el programador de CNC determina los tiempos y métodos. En las operaciones el programador decide los métodos y tiempos por medio de datos numéricos. Este dirige la máquina como él quiera para completar la operación de mecanizado. La dirección es fija y no puede haber variaciones de pieza a pieza. Por lo tanto no puede haber desviaciones del tiempo estimado.
- **Costo del trabajo.** El costo del trabajo está determinado por el programa de CNC en el proceso y este se mantiene fijo. Esto sin embargo, es un arma de dos filos. Por el lado positivo, esto significa que la empresa no sólo administrara personal sino también máquinas. Por el lado negativo, esto da a la empresa la oportunidad de hacer una mala administración de la maquinaria de CNC. En el proceso de manufactura bajo máquinas-herramienta convencionales, la administración, de alguna manera está delegado a los operadores y a los supervisores de producción para hacer el trabajo, bajo ciertos sistemas de incentivos o no incentivos del todo, esto con el propósito de realizar el trabajo en cierto tiempo y de una manera razonable. Este factor es completamente eliminado cuando todos los detalles de trabajo son reducidos a datos numéricos (como el CNC). Si el trabajo es programado de una manera difícil de manejar y lento, el trabajo será realizado de la misma manera siempre y cuando sea

⁵⁵ Godfrey, Alan e Israelsson, John. "Optimize Your Machining Processes." **Modern Machine Shop**. April 1999: pp.55-61.

usado el mismo programa. Por el otro lado, si la programación es realizada a través de una buena planeación y con personal capacitado, entonces las operaciones de producción serán realizadas en la forma más eficientes y económicas⁵⁶.

- **Control de la Calidad.** El aspecto del control de la calidad en esta fase de planeación del proceso, es mucho muy parecido al trabajo del ingeniero de producto al especificar las tolerancias. Estas son predeterminadas en el programa de CNC. Para el proceso de planeación, sin embargo, este tiene un significado substancial. La inspección en el control de la calidad, particularmente en la variación del proceso no es de gran importancia como se lleva a cabo en los procesos con máquinas convencionales. Existe la posibilidad de que las herramientas puedan desafilarse o que se dañen los insertos. Este fenómeno, no es diferente al que se vive con otro tipo de maquinaria automática. Aquí el factor importante es que la inspección del control de calidad no es requerida para asegurarse que el operario esta cumpliendo con las especificaciones de ingeniería en la pieza de trabajo.

En resumen, la fase de planeación del proceso muestra que esta ligada a la programación de las máquinas de CNC. Esto es realmente un gran avance en las operaciones de manufactura. Hoy en día las funciones de planeación no son transmitidas a los supervisores, operadores e inspectores de calidad en la planta en términos de palabras, memorándums y otros medios de comunicación. Ahora esta información es llevada directamente a los equipos de CNC en la forma de números (programas de CNC). Las ordenes verbales de cómo fabricar el producto se ha reducido a tal grado que en algunos casos ha desaparecido por completo. Ahora estos trabajos son fijos y predeterminados. Con esto, no existe ninguna área en la cual se malinterprete o se tome una interpretación personal equivocada que podría afectar el pronóstico de producción, el costo, la calidad y el tiempo para realizar el producto terminado.

⁵⁶ Olesten p.8.

2.3.3. Fases de la Planeación Económica

Unos de los primeros trabajos en la fase de la planeación económica es la de determinar el tamaño del lote. La producción por medio de máquinas de CNC tiene dos efectos en el área de control del tamaño del lote.

La primera es que con equipos de CNC se reduce el costo de montaje. Esta reducción en los costos de montaje no solamente ahorra una gran cantidad de costos que podría ser gastada en el montaje y puesta en marcha de la máquina pero también reduce el tamaño del lote. Bajo la fabricación con maquinaria convencional donde el montaje es muy costoso, ha llegado a ser más económico fabricar un gran número de piezas una vez que se ha gastado en el montaje de la máquina. Con máquinas de CNC, los lotes se pueden ejecutar en pequeñas cantidades, cumpliendo así con los requerimientos necesarios día con día. El segundo beneficio que se obtiene con equipos de CNC en cuanto a tamaños del lote es que estas proveen costos exactos del proceso y un exacto y predecible pronóstico de calcular los costos de montaje y puesta en marcha de la máquina. Con esta característica, el proceso es predecible, esto es posible que la gerencia calcule exactamente cual sería el tamaño del lote más económico. Con las máquinas convencionales por el contrario, el cálculo del tamaño del lote más económico es impredecible. También es imposible conocer el alto grado de precisión del costo exacto por unidad de pieza y es muy difícil calcular exactamente cuanto va a costar en términos de tiempo del operario y tiempo de máquina. Con máquinas de CNC, el tiempo de montaje se ha reducido considerablemente y aunque el cálculo en el estimado exista un gran error, en términos de costos un error de este tipo no es particularmente significativo⁵⁷.

➤ **Tamaño de inventario del producto terminado.** Con relación al tamaño de inventario del producto terminado, las máquinas de CNC tienen sus ventajas desde el punto de vista de la planeación económica. No solamente la reducción del tamaño del lote, es una de las características del CNC, sino también ayuda en la medida de la reducción del tamaño de inventario de producto terminado. El montaje de la máquina se puede realizar en un corto tiempo cuando se toma la decisión de fabricar otro

⁵⁷ Olesten p.9.

producto en esa máquina, de esta manera el inventario de producto terminado se reduce aun más. Con un plazo de entrega corto, significa poner la máquina de CNC en producción al momento del pedido para mantener el inventario con un mínimo de producto terminado. En cualquier instante, el inventario de producto terminado, se puede reponer cuando la orden de trabajo llega en un cierto periodo de tiempo y en pequeños lotes para cumplir la demanda. Una vez que el producto terminado ha sido fabricado, el programa de CNC se guarda en la memoria de la máquina para ser usado posteriormente. El inventario es reemplazado con flexibilidad y rapidez de la producción con las máquinas de CNC.

- **Materia prima.** El inventario de las materias primas no puede ser reducido como los productos en proceso y terminados. La razón de esto es que para obtener la mayor ventaja con los equipos de CNC la empresa debe ser capaz de producir pequeños lotes en un tiempo reducido después de haber recibido la notificación para fabricar cierto producto. En el pasado, esto no presentaba mucho problema porque se tomaba un tiempo suficientemente grande para colocar un artículo manufacturado en producción, por esta razón no se necesitaba ordenar el material de inmediato. Ahora con el uso de las máquinas de CNC el tiempo de espera para conseguir las materias primas puede llegar a ser un factor primordial en el proceso y terminado del producto a tiempo.
- **Herramientas.** Los planeadores de producción están interesados también en el control de inventarios de las herramientas. Es obvio que el uso de las máquinas de CNC, el reemplazo directo de dispositivos de sujeción especiales se ha reducido en gran medida. Debe hacerse hincapié que los procesos con estos equipos, fácilmente se puede reducir el costo de fabricación de complicados dispositivos de sujeción así como su cantidad. En algunas plantas hay situaciones en que sólo existe un mínimo de herramientas especiales para las máquinas de CNC y el resto son herramientas estándar. Las herramientas o herramientas de CNC son adaptables a complicados trabajos de precisión los cuales son producidos en pequeños lotes de producción, hasta en algunos casos con lotes de uno. En realidad, entre más compleja o precisa sea la pieza de trabajo, el control en el proceso de CNC es menor.

2.3.4. Fase de Producción

El primer factor a considerar en esta fase del proceso es el del operador de la máquina. El trabajo inicial que confronta un operario es la interpretación de los dibujos de fabricación. Usando máquinas de CNC, este trabajo de interpretación es eliminado. La interpretación ya ha sido hecha en el proceso de programación mucho tiempo antes de que las materias primas se hayan ordenado o el programa de CNC haya alcanzado la planta de producción.

El término “el operador controla la máquina”⁵⁸ ha sido reducido a un mínimo con las máquinas de CNC. La función del programa de CNC es manipular o controlar la máquina desde el punto de vista de mantener las dimensiones de la pieza de trabajo y frecuentemente los avances y velocidades de corte, así como las funciones auxiliares de programación, tales como encender y apagar el refrigerante en el momento adecuado sin la intervención del operario. El número de variables que intervienen durante el proceso máquina-operario se ha reducido al máximo.

Cuando se usan máquinas de CNC, la preocupación del supervisor de producción es principalmente el flujo de trabajo. El supervisor no se preocupa mucho de la técnica de supervisión en la mayoría de los casos. Con máquinas convencionales, el supervisor constantemente esta verificando el proceso de mecanizado, la operación en general y la técnica de interpretación del dibujo de fabricación de cada uno de los operadores de las máquinas quienes son sus subordinados, el supervisor podría ser el número uno en experiencia en las operaciones de mecanizado.

Con las máquinas de CNC, la supervisión no puede ejercer su función en lo que se refiere a alterar o verificar la manera que la máquina esta operando cuando está recibiendo las instrucciones del programa de CNC. Por lo tanto el trabajo principal del supervisor llega a ser el de facilitar el flujo de trabajo. El supervisor debe asegurarse de tener el programa de CNC correcto y actualizado, el inventario de materia prima y el apropiado montaje y puesta en marcha de la máquina para producir la pieza de trabajo con los equipos disponibles. De esta manera, el supervisor esta más enfocado al manejo de las máquinas que al manejo de personal. Por ejemplo, en lugar de ejercitar la

⁵⁸ Olesten p.10.

supervisión de cuatro a siete personas operando máquinas-herramienta convencionales, el/ella puede quizás supervisar diez o doce operadores quienes atienden o manejan equipos CNC porque la naturaleza de su trabajo no es la de supervisión a detalle en el aspecto de mecanizados sino vigilando y controlando el flujo de piezas terminadas.

Las funciones del supervisor de verificación en el proceso de mecanizado y entrenamiento de operadores han sido eliminadas por el uso de máquinas de CNC. Las habilidades principales de un operador de máquinas CNC son la habilidad de hacer simples montajes y cambios de trabajo (diferentes máquinas y piezas de trabajo). Esto significa que en lugar de la curva de aprendizaje convencional asociado en los procesos con máquinas convencionales, la curva de aprendizaje debería prevalecer y ser más corta. Esto quiere decir, que un operador nuevo o un operario trabajando en partes nuevas puede llegar rápidamente y eficientemente a aprender sus nuevas funciones porque este está limitado en los posibles gustos o comentarios sobre el proceso de mecanizado. Las máquinas-herramienta del tipo taller mecánico implican que el operador tiene un alto grado de conocimiento en el montaje y puesta en marcha de éstas. Maquinaria automática convencional tales como máquinas automáticas fabricantes de tornillos, requiere un alto grado de habilidad en el montaje de estas piezas. Este tipo de habilidades y experiencia de montadores de máquinas son realmente caros y algunas veces difíciles de encontrar. En las máquinas de CNC, la operación de montaje es realizada por el programador en los departamentos de Ingeniería o Manufactura, no en la planta de producción. En consecuencia, las habilidades de un operario en el montaje de las máquinas de CNC son menores que ningún otro tipo de proceso de manufactura antes mencionado.

En resumen, el impacto de las máquinas de CNC sobre la planificación de los procesos, Ingeniería, Económica y de Producción (que son las cuatro fases básicas de los procesos de manufactura) nos lleva a la conclusión de que tenemos más control con las máquinas de CNC comparada con los procesos existentes de producción. Con esta premisa podemos concluir, que lo planeado por la gerencia en cuestión de costos, tiempos de maquinado, avances, velocidades de corte, tolerancias, etc., se podrá cumplir sin ningún contratiempo y con los pronósticos previstos.

CAPÍTULO III. METODOLOGÍA UTILIZADAS EN LA ENSEÑANZA DEL CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)

Para la enseñanza del CNC existe diferente metodología, dependiendo de los recursos humanos y materiales de la institución o empresa donde se imparta. En el presente capítulo se mostraran tres metodologías en la enseñanza del CNC. Las dos primeras son de Instituciones Educativas y la tercera es de una empresa fabricante de partes para la industria automotriz.

3.1. INSTITUCIÓN EDUCATIVA

3.1.1. Lansing Community College, Michigan, E.U.

Esta institución ofrece carreras técnicas de dos años una vez terminado los estudios de bachillerato⁵⁹.

Nombre de Carrera: Técnico Programador de Control Numérico Computarizado

Grado Académico: Associate in Applied Science Degree

Duración: 2 años tiempo completo, cuatro semestres

Requisitos: Haber terminado Bachillerato

Ubicación: Lansing, Michigan, E.U.

Equipo de CNC: Centro de maquinado Cincinnati 3-ejes, Bridgeport 2-ejes, Torno CNC 3-ejes, Centro de maquinado MAHO 5-ejes.

Software CAD/CAM: AutoCAD, Unigraphics, Mastercam y Unigraphics CN

Aquí se va a describir la metodología que esta institución educativa emplea para la enseñanza del curso “Fundamentos de Programación en Control Numérico”.

3.1.1.1. Pre-Requisitos para Tomar el Curso de CNC

A continuación se presenta el bloque de materias que el estudiante debe cursar:

⁵⁹ Tomado de **Catálogo de Materias**. Lansing Community College (LCC). Michigan. 1994.

<u>CODIGO</u>	<u>NOMBRE DEL CURSO</u>	<u>CREDITOS/SEMESTRE</u>
MACH 110	Taller de Máquinas-Herramienta I	4
MACH 120	Uso Efectivo Manual del Maquinista o “Machinery's Handbook”	4
MACH 140	Teoría del Corte de Metales de la Herramienta	4
DTDS 131	AutoCAD Básico 2-D	4
CNCP 110	Fundamentos de Programación en CNC	4

3.1.1.2. Descripción del Curso “Fundamentos de Programación en CNC”

Este curso es una introducción a la programación del Control Numérico Computarizado. Se le presenta al estudiante la teoría y el uso de equipos de CN y CNC como Centros de Maquinado de 2-ejes, 3-ejes y 5-ejes así como Centros de Torneado de 3-ejes. Se les enseña a escribir programas de CNC usando el dibujo de fabricación para luego ejecutar los programas en las máquinas de CNC para fabricar la pieza. El alumno tiene que completar de seis a ocho proyectos a lo largo del curso. Estos proyectos se van asignando de acuerdo a lo que se ha visto durante la clase para que de esta manera se apliquen los conocimientos enseñados en forma de proyectos. A medida que avanza el curso, los proyectos aumentan a un grado de dificultad hasta que el último proyecto deba incluir todos los conceptos aprendidos durante el curso. Cabe mencionar que todos los alumnos cuentan con una terminal de computadora para la elaboración de los programas de CNC.

3.1.1.3. Duración del Curso

Horas clase: 8 Horas/Semana

Horas Laboratorio: 4 Horas/Semana

3.1.1.4. Objetivos

Que el estudiante aprenda a programar centros de maquinado y torneado.

3.1.1.5. Temario del Curso⁶⁰:

- I. Introducción al Curso y Seguridad en el Taller.
 - A. Breve Historia del Inicio del CNC
 - B. Sistema de Coordenadas de la Mano Derecha
 - C. Coordenadas Absolutas e Incrementales
 - D. Códigos G y M
- II. Programa Cero
 - A. Localización Apropriada y Segura del Cambio de Herramienta en la Máquina
 - B. Combinación de Códigos G90 y G91
 - C. Desplazamiento Rápido G00
 - D. Interpolación Lineal G01
 - E. Cancela Ciclos Fijos o Repetitivos G80
 - F. Ciclo de Taladrado: G81
- III. Interpolación Circular G02 y G03
 - A. Definición de las Letras I y J
 - B. Selección Adecuada del Origen en el Programa de CNC
- IV. Compensación del Cortador G40, G41 y G42
- V. Demostración de la Trayectoria de la Herramienta en el Simulador
- VI. Introducción al Centro de Maquinado Cincinnati Milacron de 3-ejes coordenadas
 - A. Descripción de las Velocidades y Avances en el Centro de Maquinado
 - B. Explicar Interpolación Helicoidal
 - C. Descripción de los planos XZ y YZ empleando los códigos G17, G18 y G19
 - D. Subrutinas en el Centro de Maquinado Cincinnati

A continuación se describe en forma breve cada uno de los temas del curso.

I. Introducción al Curso y Seguridad en el Taller

En esta sección se explica al alumno todo lo relacionado al campo de CNC en la industria metalmecánica y lo que se va a abarcar durante el curso. También se le

⁶⁰ Notas del Curso. **Fundamentos de Programación en CN.** Lansing Community College (LCC). Michigan. 1994.

distribuye a todo el salón de clase la revista “Modern Machine Shop” que contiene artículos escritos en el área por varias personas que cuentan con una extensa experiencia en el campo de la industria metalmecánica. También incluyen artículos de interés en el área de CNC, CAD/CAM, herramientas de corte como insertos, brocas, herramientas especiales, porta-herramientas, lo último en equipos, etc. Esta revista se puede encontrar en casi todas las empresas dedicadas a esta área.

Las reglas de seguridad⁶¹ en el taller de máquinas herramientas del colegio y que los estudiantes deben seguir son:

1. Anteojos de seguridad con protección a los lados son requeridos mientras se permanezca en el taller. Se pueden usar anteojos normales pero con protecciones a los lados
2. Lentes de contacto no pueden usarse en el taller de máquinas herramientas. Suciedad y aceite de las máquinas pueden adherirse detrás de los lentes
3. Toda joyería deberá quitarse de las manos, muñecas, cuello y orejas
4. Ropa holgada o que no proteja cuerpo, piernas y pies (por ejemplo, corbatas, pantaloncillos cortos, tenis, sandalias, etc.) de rebaba caliente, caída de herramientas o piezas no son permitidas
5. Jugar y correr dentro del taller no está permitido
6. Se prohíbe comer y beber dentro del área de trabajo de la máquina
7. Los estudiantes deberán registrarse cuando utilicen el taller y reportar cada día el número de la máquina en el libro de registros
8. Las herramientas utilizadas que no sean comunes deberán ser reportadas en el libro de registro
9. Los estudiantes tienen la obligación de verificar que la máquina este en buenas condiciones de operación y limpia. Notificar al instructor en caso de alguna anomalía en la máquina o si esta está se encuentra sucia
10. Antes de empezar a trabajar, aplique aceite a la máquina al inicio de la clase (para máquinas convencionales). Verifique que los tornillos de banco, platos de sujeción

⁶¹ Notas del Curso. **Fundamentos de Programación en CN**. Lansing Community College (LCC). Michigan. 1994.

con mordazas y otros dispositivos de sujeción estén debidamente seguros para trabajar. Cerciórese que todos los interruptores de emergencia funcionen correctamente para parar totalmente el equipo

11. Sólo UNA PERSONA deberá operar el equipo todo el tiempo
12. El estudiante NUNCA deberá dejar el equipo mientras este esté en operación
13. Reporte todo desperfecto en el equipo al instructor de tal manera que las reparaciones se lleven a cabo
14. Notificar al instructor cuando tenga que salir del taller a tomar un descanso, ir al baño, etc.
15. Antes de finalizar la clase, los estudiantes deberán limpiar el equipo y regresar las herramientas utilizadas a su lugar correspondiente. Alrededor del equipo se deberá barrer completamente para evitar tener rebaba en el piso. Ninguna herramienta tales como brocas, limas, reglas, etc. deberá dejarse en el equipo
16. NUNCA utilice aire comprimido para limpiar y/o eliminar rebaba en los equipos. Las partículas pueden salir volando y caer en la cara de Ud. o alguien y causar un daño serio
17. Registrar la hora de cuando haya terminado su trabajo y comuníquelo al instructor para que verifique las condiciones del equipo
18. El instructor deberá verificar las condiciones del equipo antes de que el estudiante salga del taller
19. **Los estudiantes son responsables de los juegos de herramientas y su contenido que se les provee al inicio del curso. Ellos deberán regresar estos al final del curso antes de recibir su calificación**
20. Utilice todas las precauciones posibles y el sentido común cuando se encuentre en cualquier área industrial

A. Breve Historia del Inicio del CNC

El instructor explica en una forma breve y concisa de como y en donde se inicio el CNC. En esta sección se recomienda al estudiante consultar una serie de libros y revistas para que se entienda de cómo se generó el CNC hasta nuestros días. El

instructor explicó, de acuerdo a sus notas de clase, que “en los años 1946-1952 el señor John Parson y otros en el Instituto Tecnológico de Massachusetts o “Massachusetts Institute of Technology” (MIT) fueron contratados por la Fuerza Aérea de los Estados Unidos para desarrollar un sistema en las máquinas herramienta para controlar directamente la posición de los husillos por medio de una fuente de alimentación desde una máquina calculadora y producir una pieza de trabajo como prueba del buen funcionamiento del sistema. En resumen lo que el señor Parson realizó fue lo siguiente.

1. Las posiciones calculadas a lo largo de una trayectoria son almacenadas en una tarjeta perforada
2. Las tarjetas perforadas son leídas automáticamente por la máquina
3. Las posiciones leídas por la máquina son convertidas y enviadas continuamente a una fuente de salida mientras los valores intermedios son calculados internamente, de esta manera
4. Los servomotores controlan los movimientos a lo largo de los ejes

Esta máquina fue diseñada para producir partes extremadamente complejas necesarias para la industria aeronáutica. Algunas de estas piezas de trabajo podrían ser desarrolladas con gran precisión usando relativamente muy pocos datos matemáticos, si no hubiera sido por esta ayuda las piezas habrían sido muy difíciles de fabricar por medio de las máquinas convencionales existentes de aquella época. Este desarrollo involucra desde un principio la conexión entre la computadora y el CNC.

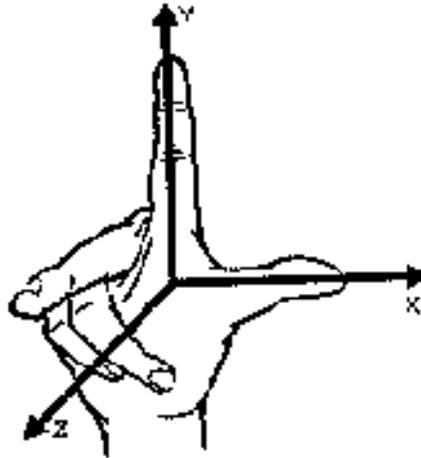
Con esta breve introducción el instructor creara una motivación al estudiante para que investigue más a fondo en el tema y por lo tanto que se tenga una visión más amplia de cómo y porque se inicio el CNC.

B. Sistema de Coordenadas de la Mano Derecha

La regla de la mano derecha describe la orientación de los desplazamientos tanto en la dirección positiva como negativa. El dedo pulgar apuntara en la dirección positiva del eje X, el dedo índice en la dirección positiva Y y el dedo medio en la dirección positiva Z. Para localizar los ejes de cualquier equipo de CNC usando la mano derecha, estando en frente del equipo; coloque la mano con el dedo medio apuntando hacia el

husillo principal. Este será el eje de la Z en la dirección positiva quedando los demás ejes X & Y en dirección positiva según la posición de la mano.

Figura 3.1. Regla de la Mano Derecha



Fuente: Notas del Curso. **Fundamentos de Programación en CNC.** Lansing Community College (LCC). Michigan. 1994.

Todos los centros de maquinado se mueven en uno o más ejes. Asumiendo que la configuración de la máquina es en forma vertical con el husillo localizado arriba de la mesa de trabajo, los ejes se representarían de la siguiente manera:

X (izquierda y derecha)

Y (adelante y atrás)

Z (arriba y abajo)

Cada uno de los ejes tiene dos posibles direcciones en las cuales puede desplazarse: (+) positivo & (-) negativo. Estos son lo que se llama un Sistema de Ejes Cartesiano. Este sistema puede ser definido como tres ejes mutuamente perpendiculares en el que se interceptan en un punto común llamado origen. Todas las direcciones se basan desde el punto de vista del movimiento de la mesa con respecto al cabezal (husillo) de la máquina. Por ejemplo, si a la máquina se le indica moverse en la dirección positiva del eje de la X existen dos posibilidades para cumplir con este movimiento. Ya sea que la

mesa pueda moverse hacia la izquierda o el cabezal puede moverse a la derecha. Dependiendo de la configuración física de la máquina determinará cual movimiento se producirá pero el objetivo se logrará de la misma manera.

Una manera fácil de recordar la dirección (+) positiva en todos los tres ejes es usando la regla de la mano derecha como se mencionó anteriormente, apuntando directo hacia la máquina con el dedo índice, apuntar con su dedo pulgar hacia la derecha y doblar 90 grados su dedo medio hacia arriba. De esta manera su dedo medio representa la dirección (+) positiva de Z, su dedo índice (+) positivo para el eje Y & su dedo pulgar es (+) positivo en el eje X.

C. Coordenadas Absolutas e Incrementales

Existen dos métodos para dirigir el movimiento de los ejes en los equipos. Uno es relativo al programa cero de la pieza y el otro es relativo a la posición actual de la herramienta en la máquina. El modo ABSOLUTO de coordenadas requiere que el programador incluya los valores relativos al programa cero. El modo INCREMENTAL requiere que el programador incluya los valores desde la posición en la que se encuentra la herramienta a la siguiente. Esto es muy importante que el programador entienda la diferencia entre el modo absoluto e incremental.

En el modo incremental usted debería preguntarse así mismo, “¿Qué tan lejos necesita que el eje se mueva?”⁶². El movimiento es comandado desde la posición en que se encuentra la máquina (herramienta). Si el movimiento es en la dirección del eje negativo, el signo (-) debe ser incluido en el programa para ese movimiento en el eje. Por ejemplo, si usted desea dirigir el eje de la X por 20mm en la dirección negativa respecto a la posición actual, la palabra X-20.0 debería usarse.

En el modo absoluto, usted debería preguntarse así mismo, “¿Para cual posición necesito mover el eje?”⁶³ En el modo absoluto, esta posición (ó punto final) es relativa

⁶² Notas del Curso. **Fundamentos de Programación en CNC**. Lansing Community College (LCC). Michigan. 1994.

⁶³ Ibid.

siempre al programa cero de la pieza. Los programas se escriben mucho más fáciles en el modo absoluto⁶⁴.

La mayoría de los equipos de CNC usan dos tipos de códigos G para especificar el modo absoluto e incremental. Para la mayoría de los equipos en el control, el código G90 especifica el modo absoluto y el G91 especifica el modo incremental. Hasta este momento es importante que el estudiante entienda la diferencia entre estos tipos de modos de programación.

D. Códigos G y M

El instructor menciona los códigos G y M que se usan en el centro de maquinado que se encuentra en el laboratorio de CNC. Véase **ANEXO A** “Lista de Códigos G & M para el Centro de Maquinado Cincinnati Milacron de 3-ejes”.

II. Programa Cero

El uso del programa cero permite al programador tener una localización conveniente de coordenadas en la pieza de trabajo que se requieren en el programa de CNC. Esta localización se deja a criterio del programador. La selección adecuada del programa cero permitirá calcular los puntos de coordenadas de la pieza de una manera mucho más fácil para el programador. En muchos casos, las coordenadas que van dentro del programa se pueden tomar directamente del dibujo de fabricación de la pieza. La posición más acertada para escoger el programa cero es donde el punto de referencia en el dibujo se concentra todas las dimensiones en la pieza.

A. Localización Apropiaada y Segura del Cambio de Herramienta en la Máquina.

Para realizar un cambio de herramienta en un equipo de CNC se debe hacer con mucha precaución para evitar colisiones en piezas de trabajo, porta-herramientas y dispositivos de sujeción así como dañar el equipo. A continuación se enumeran los pasos a seguir en el cambio de herramienta tanto para una máquina semiautomática y automática. El comando que se utiliza para la ejecución de esta es el **M6**.

⁶⁴ Olivo, P. Thomas. **Blueprinting Reading and Technical Sketching for Industry**. Delmar Publishers Inc. 2nd Edition. USA. 1992. p.276.

- M6 es usado para la selección de la herramienta que se va a utilizar
- M6 es usado con los comandos de selección de herramienta, T y con la velocidad del husillo, S

La secuencia de operación M6 es como sigue⁶⁵:

1. Antes de que ocurra cualquier otro movimiento, el eje Z es retractado hacia el punto de retorno de la máquina con movimiento lineal rápido
2. Cualquier movimiento en los ejes X & Y son realizados
3. Al termino de los movimientos en los ejes X & Y la herramienta comandada por el programa, el operario procede a colocarla o se ejecuta automáticamente
4. Cuando la herramienta especificada se ha colocado y el husillo ha iniciado su operación, el operador debe oprimir la tecla de RETURN para una máquina con cambio manual de herramientas, mientras que para una automática esta no necesita de la intervención de un operario
5. Cuando la tecla de RETURN ha sido presionada en máquinas con cambio de herramienta manual, la posición del eje Z es ajustada por la nueva longitud de la herramienta y el programa continua. Para máquinas con cambio de herramientas automáticas esta se realiza sin la intervención del operario

Figura 3.2. Secuencia del Cambio de Herramienta

M6 – Cambio de Herramienta



Fuente: Elaboración Propia

⁶⁵ Notas del Curso. **Fundamentos de Programación en CNC**. Lansing Community College (LCC). Michigan. 1994.

En las siguientes secciones el instructor explica y describe con más detalle los códigos G que se utilizan en el centro de maquinado Cincinnati Milacron de 3-ejes.

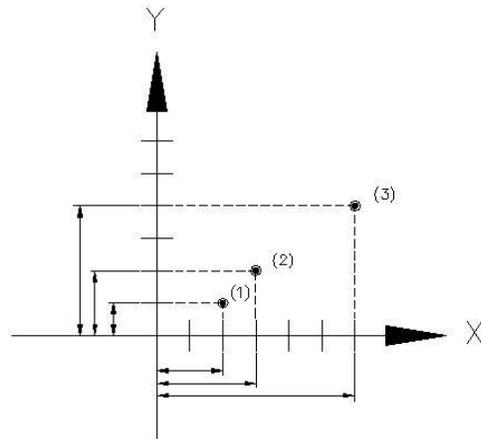
B. Combinación de Códigos G90 y G91

➤ G90 – Posición en modo absoluto⁶⁶

Todas las posiciones se realizan con relación al programa cero, $X=0$ $Y=0$ $Z=0$.

- (1) G0 G90 X2 Y1 ; desplazarse a $X=2.0$, $Y=1.0$
- (2) G1 G90 X3. Y2. ; desplazarse a $X=3.0$, $Y=2.0$
- (3) G0 G90 X6.0 Y4.0 ; desplazarse a $X=6.0$, $Y=4.0$

Figura 3.3. Posición Modo Absoluto



Fuente: Elaboración Propia

➤ G91 – Posición en modo incremental

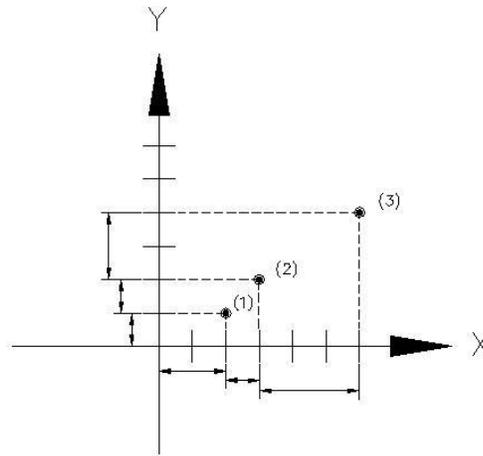
Todas las posiciones se realizan con respecto al último punto de coordenadas $G0$ $G90$ $X0$ $Y0$; desplazamiento hacia el origen

- (1) G0 G91 X2. Y1. ; desplazamiento a $X=2.0$, $Y=1.0$
- (2) G1G91 X1.0 Y1.0 ; desplazamiento a $X=3.0$, $Y=2.0$

⁶⁶ Cincinnati Milacron 3 Axis -Programming and Operation Manual. pp. 2.1.26-2.1.28.

(3) G1 G91 X3 Y2 ; desplazamiento a X=6.0, Y=4.0

Figura 3.4. Posición Modo Incremental



Fuente: Elaboración Propia

C. Desplazamiento Rápido G00

- Esta instrucción Lista de Códigos G & M para el Centro de Maquinado Cincinnati Milacron de 3-ejes los ejes a la velocidad máxima del motor al punto final definido. Ignora el avance, y viaja a la máxima velocidad definida en el programa
- Los ejes X, Y & Z usados con G0, indican el destino del desplazamiento. Las posiciones de X, Y & Z en modo absoluto definen los valores absolutos de los ejes X, Y & Z al termino del desplazamiento. Para posiciones X, Y & Z en modo incremental, los valores definen el desplazamiento de las distancias a lo largo de los ejes X, Y & Z.
- G0 no es un desplazamiento lineal (línea recta). El propósito es el desplazar la herramienta de un punto a otro cuando no esta cortando material
- Si la herramienta esta siendo desplazada hacia arriba (en la dirección en +Z), el movimiento de desplazamiento deberá ser +Z seguido de X & Y. Si la herramienta esta siendo desplazada hacia abajo (en la dirección de -Z), el movimiento de desplazamiento deberá ser -Z seguido de X & Y.

D. Interpolación Lineal G01

- Desplazamiento programado con un avance determinado a un punto final.
- X, Y & Z usados con G1, define el destino del desplazamiento. Las posiciones de X, Y & Z en modo absoluto definen los valores absolutos de los ejes X, Y & Z al termino del desplazamiento. Para posiciones X, Y & Z en modo incremental, los valores definen el desplazamiento de las distancias a lo largo de los ejes X, Y & Z.
- G1 puede generar un desplazamiento simultáneo en los tres (3) ejes. Este comando tiene el propósito de desplazar el/los eje(s) en una línea recta, desde un punto otro durante la operación de mecanizado.

E. Cancela Ciclos Fijos o Repetitivos G80

Cuando G80 es programado los ejes se desplazan de la siguiente manera:

- Desplazamiento rápido en X y/o Y
- Desplazamiento rápido en el eje Z a un plano cerca de la superficie a barrenar. G80 ignora cualquier desplazamiento de avance en Z. Estos dos pasos ocurrirán en el mismo orden cada vez que se programe G80
- También G80 cancela todos los ciclos fijos Z comandados por, G81-G89

F. Ciclo Fijo o Repetitivo de Taladrado G81

- Este comando provee un avance hacia abajo y un desplazamiento rápido hacia arriba generando de esta manera una serie de barrenos a la misma profundidad
- G81 requiere las posiciones X & Y, una profundidad Z y un avance.
- La profundidad Z es una distancia incremental no asignada desde un punto inicial,
G90 Z0. F100 ; posición Z y se asigna un avance
G81 X4.0 Y5.0 Z1.2 ; taladra un orificio 1.2 unidades de profundidad en X=4.0, Y=5.0
X5.0 ; taladra un orificio 1.2 unidades de profundidad en X=5.0, Y=5.0
X6.0 ; taladra un orificio 1.2 unidades de profundidad en X=6.0, Y=5.0
Y6.0 ; taladra un orificio 1.2 unidades de profundidad en X=6.0, Y=6.0
G80 ; cancela el ciclo fijo de taladrado.

III. Interpolación Circular G02 y G03⁶⁷

- **G2 – Interpolación Circular**, arco en movimiento en el sentido de las manecillas del reloj.
- Se desplaza con un avance programado para definir un punto final. Viaja en un movimiento circular en el sentido de las manecillas del reloj
 - X, Y & Z se usan con G2, definen el destino final del movimiento. Para posiciones absolutas los valores de X, Y & Z definen las posiciones absolutas de los ejes X, Y & Z al terminar el desplazamiento. Para posiciones incrementales los valores de X, Y & Z definen los desplazamientos de las distancias a lo largo de los ejes X, Y & Z
 - Para generar círculos completos, no es necesario programar los valores de desplazamientos en los ejes X, Y & Z
 - I, J & K se usan con G2, definen el centro del arco o círculo del desplazamiento. Para posiciones absolutas los valores de I, J & K definen los valores de los centros en los ejes X, Y & Z. Para posiciones incrementales los valores de I, J & K definen las distancias desde los centros de los ejes X, Y & Z y los puntos iniciales en los ejes X, Y & Z. Esto es, para posiciones incrementales:
I = inicio X – centro X,
J = inicio Y – centro Y &
K = inicio Z – centro Z.
 - G2 funciona en dos (2) ejes con desplazamiento simultáneo. Esto es con el propósito de desplazarse en un movimiento circular y en el sentido de las manecillas del reloj desde un punto a otro durante el mecanizado
- **G3 – Interpolación Circular**, arco en movimiento en el sentido contrario a las manecillas del reloj.
- Se desplaza con un avance programado para definir un punto final. Viaja en un movimiento circular en el sentido contrario de las manecillas del reloj

⁶⁷ Cincinnati Milacron 3-Axis p.2.1.12.

- X, Y & Z se usan con G3, definen el destino final del movimiento. Para posiciones absolutas los valores de X, Y & Z definen las posiciones absolutas de los ejes X, Y & Z al terminar el desplazamiento. Para posiciones incrementales los valores de X, Y & Z definen los desplazamientos de las distancias a lo largo de los ejes X, Y & Z
- Para generar círculos completos, no es necesario programar los valores de desplazamientos en los ejes X, Y & Z
- I, J & K se usan con G3, definen el centro del arco o círculo del desplazamiento. Para posiciones absolutas los valores de I, J & K definen los valores de los centros en los ejes X, Y & Z. Para posiciones incrementales los valores de I, J & K definen las distancias desde los centros de los ejes X, Y & Z y los puntos iniciales en los ejes X, Y & Z. Esto es, para posiciones incrementales:
I = inicio X – centro X,
J = inicio Y – centro Y &
K = inicio Z – centro Z
- G3 funciona en dos (2) ejes con desplazamiento simultáneo. Esto es con el propósito de desplazarse en un movimiento circular y en el sentido contrario de las manecillas del reloj desde un punto a otro durante el mecanizado

A. Definición de las Letras I y J

- **I** – Esta letra define el centro de la coordenada en el eje X; esta puede contener hasta nueve (9) caracteres (dependiendo del control de la máquina) en el código, consistiendo de una (1) letra, un (1) signo positivo o negativo y hasta siete (7) dígitos (I+xxx.xxxx pulgadas) (I+xxxx.xxx métrico) que establecen el punto de origen del círculo en el eje X
- **J** – Esta letra define el centro de la coordenada en el eje Y; esta puede contener hasta nueve (9) caracteres (dependiendo del control de la máquina) en el código, consistiendo de una (1) letra, un (1) signo positivo o negativo y hasta siete (7) dígitos (I+xxx.xxxx pulgadas) (I+xxxx.xxx métrico) que establecen el punto de origen del círculo en el eje Y

B. Selección Adecuada del Origen en el Programa de CNC

Si en el dibujo de fabricación de la pieza de trabajo se muestran superficies de referencia, el programa cero se escoge a partir de estas superficies para cada uno de los ejes.

IV. Compensación del Cortador G40, G41 y G42⁶⁸

- La compensación del cortador se utiliza la letra T selección de la herramienta y M6 cambio de herramienta que automáticamente se ajusta la longitud del cortador por la máquina alejándose así de la pieza de trabajo según se haya definido en el programa de CNC. El ajuste automático que se realiza elimina la necesidad de calcular la longitud, diámetro o radio del cortador cuando esta escribiendo el programa de CNC de la pieza
- Los ajustes de compensación del cortador se toman como la mitad del diámetro de la herramienta (radio del cortador)
- Los ajustes de compensación del cortador solamente se generan en el plano XY. La compensación del cortador no son validas para arcos circulares en los planos XZ y YZ
- Los ajustes de compensación no son validos para los códigos G77, G78 y G79 que son ciclos especiales de fresado
- Los ajustes de compensación no son validos para los códigos (G72, G73) o para la generación de nuevo origen (G92) en posición absoluta

¡Importante!

¡Primero debe seleccionar una herramienta usando el comando T seguido de un comando de cambio de herramienta M6 antes de usar G41 o G42!

➤ **G40 – Cancelar compensación del cortador**

- G40 cancela G41 y G42

⁶⁸ Cincinnati Milacron 3-Axis p.3.41.

- G40 regresa el ajuste de posición de la herramienta a cero (0). Si G41 y G42 están activos esto causa un desplazamiento del cortador desde una posición de ajuste a una posición de ajuste nula. Si G41 y G42 no están activos no causa ningún desplazamiento en la herramienta

¡Importante!

Asegúrese de que la herramienta este alejada de la pieza de trabajo o algún otro dispositivo antes de activar G40.

➤ **G41 - Compensación del Cortador a la Izquierda**

- G41 ajusta la herramienta a la mitad del diámetro del cortador hacia la izquierda de la pieza de trabajo, relativo a la dirección de la trayectoria de esta
- G41 no puede ser usado cuando G42 este activo. G40 debe usarse primero para cancelar G42 antes de usar G41

➤ **G42 – Compensación del Cortador a la Derecha**

- G42 ajusta la herramienta a la mitad del diámetro del cortador hacia la derecha de la pieza de trabajo, relativo a la dirección de la trayectoria de esta
- G42 no puede ser usado cuando G41 este activo. G40 debe usarse primero para cancelar G41 antes de usar G42

La compensación del cortador es fácil de usar. Solamente ponga el código G41 o G42 en una bloque del programa de CNC y la compensación del cortador se activara automáticamente. Sin embargo, recuerde que la compensación del cortador físicamente desplaza la herramienta cuando este se activa y desactiva. Esto significa que debe tener cuidado cuando se programa el inicio y final de las posiciones del cortador. Coloque el cortador alejado de la orilla de la pieza de trabajo cuando se active y desactive la compensación del cortador.

V. Demostración de la Trayectoria de la Herramienta en el Simulador

En esta sección el instructor enseña al estudiante cómo utilizar un software, que se utiliza en el laboratorio, para obtener una ayuda visual y revisar al mismo tiempo el programa de CNC elaborado por éste.

- El programa de CNC se escribe en una terminal de computadora utilizando un editor de texto.
- Una vez que se ha terminado el programa se guarda en un disco flexible.
- Se carga el programa de CNC a la terminal de computadora que tiene el software de simulación.
- El software de simulación lee el programa de CNC y verifica si el programa está bien escrito (códigos G y M, puntos decimales, letras, comentarios en el programa, etc.)
- Si el simulador no encuentra ningún error en el programa, en este momento el estudiante puede visualizar la trayectoria de la herramienta en la pantalla de la computadora.
- El software tiene la capacidad de iniciar la simulación usando todas las herramientas programadas o sólo una de ellas.
- El software tiene la capacidad de acercarse o alejar la pieza de trabajo para ver más a detalle la trayectoria de la herramienta y verificar posibles colisiones con los dispositivos de sujeción (si estas están dibujadas aparte por el estudiante), piezas, compensaciones de herramienta, etc.
- Una vez que el estudiante está satisfecho de lo analizado en la simulación y los cambios que se han hecho en el programa, este guarda nuevamente el programa de CNC en un disco flexible.
- El siguiente paso es cargar el programa en la máquina para mecanizar la pieza de trabajo que el instructor dejó como trabajo.
- El programa de CNC se pone a prueba en la máquina. Primero se corre el programa para que el control verifique posibles errores de sintaxis. Segundo, se corre el programa en el aire (arriba de la pieza de trabajo) para verificar posibles colisiones. Tercero, si todo parece estar bien, se corre el programa en su totalidad pero con

mucho cuidado ajustando el avance del equipo de más a menos o viceversa para prevenir colisiones.

- Sí por alguna razón el programa esta incorrecto. El estudiante pasa a corregir el programa en la computadora y vuelve a correrlo en la máquina hasta que este produzca la pieza requerida de acuerdo a dimensiones del dibujo⁶⁹

VI. Introducción al Centro de Máquinado Cincinnati Milacron de 3-ejes⁷⁰

La siguiente foto muestra el centro de maquinado que se encuentra en el Laboratorio de CNC del colegio para que los alumnos realicen sus practicas.

Figura 3.5. Centro de Maquinado Cincinnati Milacron de 3-ejes



Fuente: Laboratorio de CNC, Lansing Community College (LCC). Michigan. 1994.

El instructor inicia la clase introduciendo la “gramática” que se debe utilizar para escribir programas de CNC correctamente en este centro de maquinado. A continuación se mencionarán algunos incisos.

Letras o Direcciones⁷¹ usadas y formato para escribir programas en la máquina:

⁶⁹ Notas del Curso. **Fundamentos de Programación en CNC.** Lansing Community College (LCC). Michigan. 1994.

⁷⁰ **Cincinnati Milacron 3-Axis** pp.2.1.3-2.1.8.

⁷¹ Nota: Letras o direcciones se utilizaran indistintamente.

- Unidades Inglesas:
X-3.4 Y-3.4 Z-3.4 R-3.4 I-3.4 J-3.4 K-3.4 F3.1 F3.1
- Unidades Métricas:
X-4.3 Y-4.3 Z-4.3 R-4.3 I-4.3 J-4.3 K-4.3 F4
O ó N4 G2 S4 T8 M2
- El punto decimal no puede ser usado: El control del equipo automáticamente controlara y contara el número de lugares del punto decimal mostrado en el programa de CNC. Por ejemplo: X20000 Y15000 seria igual a X=20.0 Y=15.0. X23375 Y17250 seria igual a X=23.375 Y=17.250
- Ceros localizados a la izquierda pueden ser omitidos en todas las letras (direcciones) como por ejemplo, 0023500 puede escribirse 23500= 23.5
- Todas las letras son del tipo MODAL, excepto G04 (pausa) y G92 (cambio de programa cero): códigos o letras del tipo Modal permanecen activos hasta que estos son cambiados o cancelados por otro código o letra
- Se pueden usar espacios entre los códigos y letras en el programa para hacerlo más fácil de leer
- Cada una de las líneas en el programa se debe incluir al final la tecla de “Enter”
- G1 es usado para interpolación lineal (desplazamiento en línea recta en fresado): X & Y en la misma línea causara un desplazamiento recto. La letra F (avance) es requerida
- G2 (sentido horario) y G3 (sentido antihorario) se usan para interpolación circular (desplazamiento circular en fresado)
Los códigos G2 y G3 deben incluir:
Las letras X & Y como punto final
Las letras I & J para indicar el centro del circulo
Los puntos de inicio, final y centro del circulo deben hacer un triangulo dentro de .001”
Se requiere la letra F (avance)

A. Descripción de las Velocidades y Avances en el Centro de Maquinado

El instructor desarrolla esta sección dando una explicación del significado de velocidades y avances en el corte de metales.

B. Explicar Interpolación Helicoidal⁷²

El instructor presenta esta sección con un ejemplo de programación y dibujos explicativos para que el estudiante asimile esta sección. Los arcos helicoidales pueden ser interpolados a lo largo de un cilindro paralelo a cualquiera de los tres ejes lineales. Los ejes del cilindro son seleccionados por las siguientes funciones preparatorias.

G17 Eje Paralelo a Z (X, Y en círculo, Z lineal)

G18 Eje Paralelo a Y (X, Z en círculo, Y lineal)

G19 Eje Paralelo a X (Y, Z en círculo, X lineal)

Las mismas reglas y limitaciones en interpolación circular se aplican a interpolación helicoidal con las siguientes condiciones:

Se necesitan tres datos de información en un bloque helicoidal: las definiciones del centro del arco, avance de la rosca y el punto final del arco. Dos de las letras (direcciones) I, J o K son usadas para definir las dimensiones X, Y o Z del centro del arco. La tercera letra (dirección) I, J o K es el paso a lo largo del eje del cilindro en pulgadas por radianes (2π radianes=360 grados). El punto final del arco es definido por X, Y & Z. Si los valores de X, Y, Z, I, J o K no cambian desde un bloque anterior, este no necesita ser programado nuevamente. El control de la máquina calcula el radio de la hélice desde el punto inicial del arco al centro. Si el punto final no cae en el arco definido por el centro, el radio calculado y el paso, el control generara un arco interpolación helicoidal tan lejos como sea posible y luego hacer el movimiento al final del punto programado con desplazamiento lineal.

El radio máximo es 838.8607 pulgadas. El radio mínimo es 0.0001 pulgadas. El paso mínimo es 0.001 pulgadas por radian (0.000628 pulg/360 grados). El paso máximo es 838.8607 pulgadas por radian (5270.7295 pulg/360 grados).

O1 G0 X76250 Y100000

T1 M6

⁷² Cincinnati Milacron 3-Axis pp.4.1.20.

O2 G0 X76250 Y100000 Z312 F150 S1500 M3
N3 G2 X100000 Y123750 Z0 I100000 J100000 **K199**
N4 X123750 Y100000 Z-312
N5 X100000 Y76250 Z-624
N6 X76250 Y100000 Z-936
N7 X100000 Y123750 Z-1248

➤ **Fresado Helicoidal Utilizando el Modo de Contorneado – Interpolación Helicoidal**⁷³

El programa anterior y la figura siguiente muestran la programación de una rosca de 8 hilos utilizando interpolación helicoidal.

Datos: 6½ - 8 hilos por pulgada

.1250 avance en 360 grados o el paso de la rosca

.1250 / 4 = .0312 avance en 90 grados

K = valor en pulgadas por radianes o el paso a lo largo del eje del cilindro en pulgadas/radianes.

Dimensión $K = (\text{Paso} / \text{Revolución}) / 2 \pi$

Dimensión $K = .1250 / 2 \pi = .1250 / 6.2832 = .0198 = \underline{.0199}$

En el programa será escrito como **K = 199** (véase programa de CNC arriba)

En la secuencia O2, el cortador se desplaza rápidamente a la posición 1.

En la secuencia N3, el cortador avanza a la posición 2.

Utilizando Interpolación Helicoidal, la letra Z es la distancia desplazada por medio de la guía Z y la letra K es el valor en pulgadas por radianes.

En la secuencia N4 el cortador continúa avanzando a la posición 3 utilizando interpolación Helicoidal y así sucesivamente a la posición 4, 5 y 6. Esta secuencia continuara dependiendo de la longitud de la rosca requerida en el programa.

⁷³ Cincinnati Milacron 3-Axis pp.4.1.21.

N210 G18 (plano X-Z)

N220 G2 X0 Z-30000 I0 K10000 - (B)

N230 X40000 Z10000 - (C)

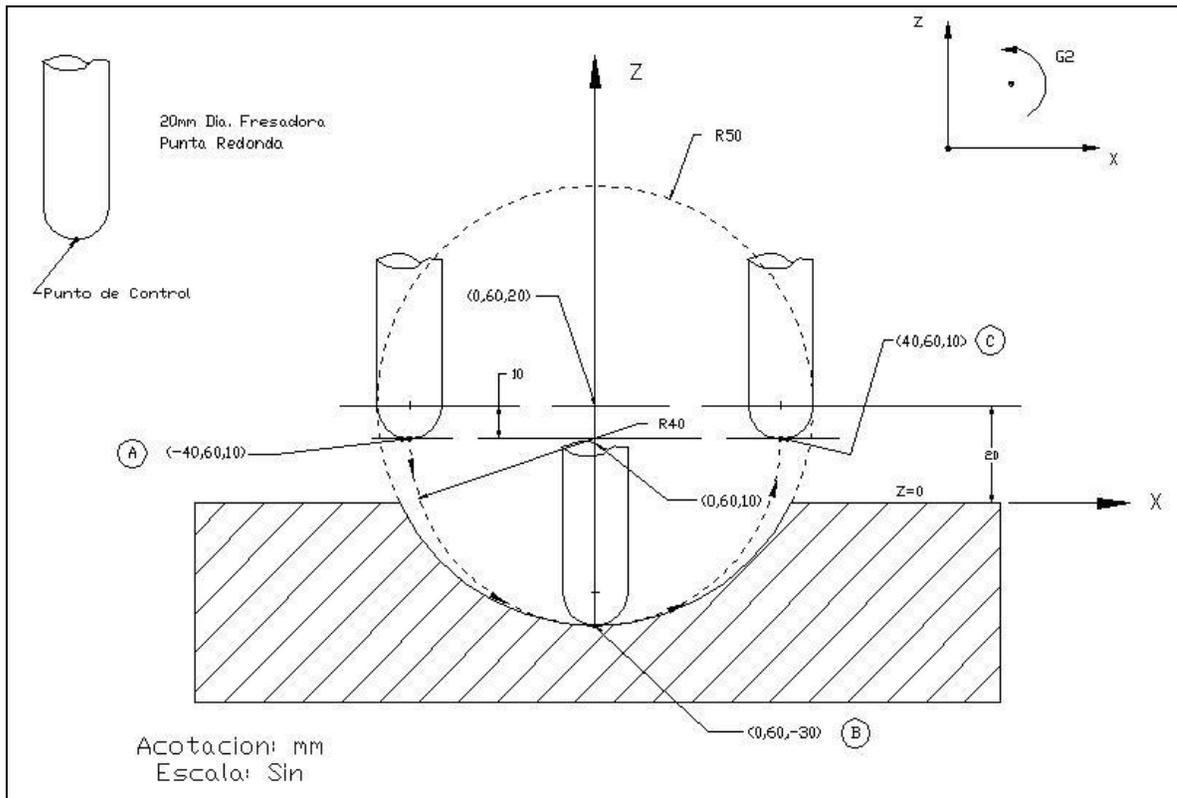
N240 G0

-

N G17 (cambia a plano X-Y)

-

Figura 3.7. Interpolación Utilizando Plano X-Z, G18



Fuente: Elaboración Propia con Notas del Curso. **Fundamentos de Programación en CNC.** Lansing Community College (LCC). Michigan. 1994.

D. Subrutinas en el Centro de Maquinado Cincinnati Milacron⁷⁵

Las subrutinas son usadas en donde operaciones similares de maquinado son repetidas una y otra vez. La subrutina es un programa que es guardado en el control de la

⁷⁵ Cincinnati Milacron 3-Axis pp.3.3.1-3.3.6.

máquina y es llamado por el programa principal cuando se necesita. Algunas subrutinas cuentan con variables que permiten al programador asignar valores específicos de acuerdo a las necesidades en la operación de un maquinado en particular.

Las variables son identificadas con el signo “&” seguido por un número; &#. El número inicia con cero y se va incrementando por uno para cada variable que aparece en la subrutina. Los valores que van a ser asignados dentro de las variables necesitan aparecer en el mismo orden en el que aparecen en la subrutina. Como un ejemplo, usando la subrutina que aparece abajo, si el programador desea barrenar todas esas localizaciones especificadas en la subrutina .95” de profundidad con un avance de 15 pulg/min y unas revoluciones del husillo de 1700, el comando siguiente sería dado como:

O110 T20 M6

N120 (CLS, I9999 Q &-9500 – ڤ)

Este comando llamaría la subrutina 9999 y asignara las variables como:

G81 Z-9500 F150 S1700

El curso de CNC que se imparte en esta institución educativa incluye un taller de máquinas-herramienta, un laboratorio de máquinas CNC, un salón de clase, un centro de cómputo exclusivo para la programación de CNC ya sea manual o por medio del uso de varios paquetes de computadora CAD/CAM/CNC. Al inicio del curso, el instructor solicita a una casa editorial la suscripción por un año de una revista técnica especializada en el campo de CNC para todos los estudiantes. La revista presenta artículos de interés en el área de maquinados, programación y todo lo que compete al CNC. De esta manera el estudiante se mantiene actualizado de los pormenores en esta área durante y después del curso.

La institución provee al estudiante todo lo necesario para tomar el curso de CNC. Como por ejemplo, incluye el papel para imprimir los programas, una terminal de computadora, discos flexibles para guardar los programas, material para la elaboración de la pieza o piezas a maquinar, herramientas, los equipos, etc.

A los estudiantes más destacados durante el curso, el instructor les asigna la tarea de correr programas a los demás estudiantes en las máquinas y ayudarles a corregir estos.

De esta manera el estudiante aprende a analizar, modificar y corregir programas adquiriendo más experiencia, pues el estilo de programación puede variar de programador a programador, en este caso entre estudiantes. También este aprenderá a preparar la máquina y colocar las herramientas adecuadas para verificar los programas.

Lansing Community Collage esta afiliada a una organización en el ámbito nacional no lucrativa llamada “Vocational Industrial Clubs of America” (VICA). Cada año esta organización patrocina el evento “Skills USA Championship” en Kansas City, Missouri en el mes de Junio. En este evento participan los estudiantes seleccionados de las escuelas técnicas o “Community Colleges” en el ámbito nacional en las diferentes áreas tanto industrial, técnicas, de salud, educación, servicios, automotriz, electrónica, etc. La finalidad de estas competencias es que el estudiante se enfrente a retos para resolver problemas que pudiera encontrar en su vida profesional así como para darles el reconocimiento al logro alcanzado y continuar motivándolos para que sigan preparándose en sus respectivas áreas. La competencia es planeada por comités técnicos cuyos integrantes son personas que están activas en la industria representando las diferentes áreas de competencia. Durante el concurso, los jueces asignan una serie de actividades a crear o resolver, al estudiante o a un grupo de estudiantes, para luego evaluar los resultados en la rapidez, seguridad y procedimientos que se llevaron a cabo para desarrollar determinada tarea. En estas competencias llegan a concursar arriba de 3,600 estudiantes con 54 diferentes ramas en el área técnica⁷⁶. Esto genera un verdadero reto para los participantes por sobresalir en sus respectivas áreas

Una de las competencias que se llevan a cabo es la de Tecnología de Manufactura Automatizada. Los estudiantes involucrados en esta área son los que toman cursos en las áreas de CAD, máquinas-herramienta y otras ramas relacionadas a la manufactura. En la competencia se evalúa a los equipos en esta área tecnológica el cual involucra el conocimiento de CAD/CAM y CNC.

Este tipo de competencias se debería implantar en México a nivel de escuelas o institutos de enseñanza técnicas en todo el país. Las grandes corporaciones podrían apoyar este tipo de eventos para beneficio de los estudiantes y escuelas en general. Las

⁷⁶ News & Information for Users of CAMAX Products. **MAXIMIZE**. 1st Quarter. 1996. p.4.

empresas en su momento podrían seleccionar a los mejores estudiantes para trabajar en sus empresas cuando estos terminen sus estudios.

En general esta institución educativa está generando el elemento humano necesario con un grado de participación de sus estudiantes en todos los sentidos para un mejor aprendizaje en el área de CNC.

3.1.2. Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey (ITESM), México

Esta institución educativa ofrece materias en donde se incluyen temas relacionados al CNC tanto en las carreras de Ingeniería como en cursos de educación continua a través de su Centro de Sistemas Integrados de Manufactura (CSIM).

En el presente trabajo se seleccionó el curso “Sistemas Integrados de Manufactura” porque éste incluye el tema de CN con un contenido más amplio. Cabe mencionar que esta institución ofrece cursos de capacitación de CN específicos para las empresas que así lo solicite. Aparecerán etiquetados “**Comentarios del Autor**” para distinguir el temario original de la materia con mis observaciones acerca de este.

Ubicación: Planteles del ITESM en México donde se ofrecen carreras de Ingeniería Industrial y Mecánico Administrador.

Equipos de CNC: Centro de Maquinado y Centro de Torneado.

Software CAD/CAM: AutoCAD, Mastercam, Pro-E

Clave: In00884⁷⁷

Nombre: SISTEMAS INTEGRADOS DE MANUFACTURA

(3-0-8. Requisito: Haber aprobado M00863 o cursado In00882 . 8 IIS, 9 IMA).

Equivalencia: In95884.

Comentario del Autor: A continuación se muestra el temario completo del curso que el profesor debe cumplir durante el semestre para impartir las diferentes secciones de esta

⁷⁷ Temario del Curso In00884. **Sistemas Integrados de Manufactura**. ITESM. México.

materia. El tema de CN se encuentra dentro de la sección 3 bajo el nombre “Sistemas de Control Numérico”. Esta parte es la que nos interesa para el presente trabajo.

3.1.2.1. Temario del Curso

1. INTRODUCCIÓN A LA MANUFACTURA
2. ROBÓTICA
3. SISTEMAS DE CONTROL NUMÉRICO (Tiempo estimado Teoría: 37 Hrs.)
 - 3.1 Introducción
 - 3.1.1 Principios del Control Numérico
 - 3.1.2 Clasificación del CN
 - 3.1.3 El rol del CN en la integración de la manufactura
 - 3.2 Fundamentos del CN
 - 3.2.1 Máquinas-Herramienta de CN
 - 3.2.2 Fundamentos del Corte de Metales
 - 3.2.3 Parámetros de maquinado
 - 3.3 Programación
 - 3.3.1 Códigos de programación en CN
 - 3.3.2 Funciones de recorrido y misceláneas de CN
 - 3.3.3 Programación en modo absoluto y modo incremental
4. INGENIERÍA CONCURRENTE
5. TECNOLOGÍA DE GRUPOS
6. PLANEACIÓN Y CONTROL DE LA MANUFACTURA
7. SISTEMAS INTEGRADOS POR COMPUTADORA
8. CONTROLADORES LÓGICOS PROGRAMABLES

Comentario del Autor: Los objetivos específicos de aprendizaje que se incluyen en el temario para el profesor que va a impartir el curso en lo que se refiere al Control Numérico son los siguientes:

3. SISTEMAS DE CONTROL NUMÉRICO

- 3.1 Conocer diferentes equipos de CN utilizados en la industria así como sus aplicaciones.
- 3.2 Conocer los diferentes lenguajes de programación de CN.
- 3.3 Entender la lógica de los sistemas de CN.
- 3.4 Ser capaz de calcular los requerimientos en el maquinado.
- 3.5 Aplicar las funciones de recorrido y misceláneas necesarias para fabricar una pieza.

Comentario del Autor: En el temario se describe y sugiere al profesor una metodología de la enseñanza así como ciertas actividades a desarrollar para reforzar lo aprendido como se menciona a continuación:

METODOLOGÍA SUGERIDA Y ACTIVIDADES DE APRENDIZAJE.

- 1.- Exposición por parte del maestro de los temas, presentando aplicaciones y casos y encargando tareas para reforzar lo visto en clase.
- 2.- Asignación de investigaciones bibliográficas del estado del arte en algunos temas.
- 3.- Trabajo en equipo en prácticas integradoras de robótica, CNC, PLC y CIM.
- 4.- Uso de videos ilustrativos en algunos temas.
- 5.- Lecturas de apoyo a los temas.

Comentario del Autor: Enseguida, se presenta una bibliografía importante para que los estudiantes la consulten durante el periodo que dura el curso. A parte de libros recomendados se le pide al estudiante consultar revistas técnicas actuales para que se mantengan al tanto de lo último en la materia. También se incluye material de apoyo utilizado en los laboratorios.

LIBRO(S) DE TEXTO.

Bibliografía Actualizada

COMPUTER-AIDED MANUFACTURING

Chang, Tien-Chien; Wysk, Richard A.; Wang, Hsu-Pin, Prentice Hall 1991

LIBROS DE CONSULTA.

COMPUTER-INTEGRATED DESIGN AND MANUFACTURING

Bedworth, David D.; Henderson, Mark R.; Wolfe, Philip M., McGraw-Hill 1991

COMPUTER CONTROL OF MANUFACTURING SYSTEMS

Koren, Yoram, McGraw-Hill, 1983

FLEXIBLE MANUFACTURING SYSTEM HANDBOOK

Automation and Management Systems Division

Noyes Publications, Park Ridge, N.Y. 1984

AUTOMATION, PRODUCTION SYSTEMS, AND COMPUTER-AIDED
MANUFACTURING

Groover, M.P., Prentice-Hall, 1987

PRODUCTION & OPERATIONS MANAGEMENT

Chase, Richard B.; Aquilano, Nicholas J., Irwin, 1992

REVISTAS

- 1) Production Engineering
- 2) Journal of Manufacturing Systems
- 3) Computer-Aided Design
- 4) Industrial Engineering
- 5) International Journal of Production Research
- 6) Operations Research
- 7) Journal of Industrial Engineering
- 8) Manufacturing Engineering
- 9) Management Science
- 10) Robotics Today

MATERIAL Y/O SOFTWARE DE APOYO

- 1) Platinum
- 2) PAMS
- 3) Metashop
- 4) AMNET
- 5) Val II
- 6) ACL
- 7) Controlador lógico
- 8) Celda Flexible de Manufactura
- 9) Manuplan

Comentario del Autor: A continuación se describe el perfil del profesor. Cualquiera que vaya a impartir esta clase debe contar como mínimo con una maestría en las áreas señaladas. Mi recomendación aquí sería requerir por lo menos un año de experiencia en el campo laboral para los profesores.

PERFIL DEL MAESTRO.

Que el profesor posea al menos una maestría en el área de Ingeniería Industrial, Ingeniería Mecánica, Ingeniería de Control o Sistemas de Manufactura.

3.2. EMPRESA

3.2.1. Delphi, Michigan, E.U.

Empresa dedicada al mecanizado de rotores y ensamblado de frenos de disco para automóviles y camionetas.

Ubicación: Saginaw, Michigan, E.U.

Equipo de CNC: Tornos Verticales Invertidos EMAG de Alta Producción, 3-ejes y Taladros Verticales Invertidos EMAG de Múltiple Husillos y con Cambiador de Herramienta.

Control: Indramat

Software CAD/CAM: AutoCAD, Programación manual.

Software Simulación CNC: Math Base Metal Removal (MBMR)

Esta compañía cuenta con aproximadamente 90 máquinas de CNC del tipo Torno Vertical Invertido EMAG integradas en celdas automáticas de producción. Se cuenta también con una serie de taladros verticales invertidos de múltiple husillos y con intercambiador de herramienta. Estos equipos son llamados Verticales Invertidos porque el cabezal se encuentra en la parte superior de la máquina el cual se desplaza en el eje X de atrás hacia adelante viendo la máquina de frente. El plato de sujeción con mordazas que sujeta la pieza gira y se mueve con movimiento lineal y con desplazamientos de arriba abajo en el eje Z. La torreta se encuentra en la parte frontal e inferior de la máquina la cual gira en sentido horario y anti-horario a las manecillas del reloj en el eje B dependiendo de la herramienta a utilizar durante el mecanizado. Esta cuenta con doce (12) posiciones para alojar diferentes tipos de herramientas de acuerdo al proceso y tipo de pieza de trabajo. Más adelante se presenta la figura de un torno donde se puede observar la configuración de la máquina.

Se crearon unos cursos de capacitación, por parte de la empresa fabricante de estas máquinas con el fin de capacitar a los Ingenieros de Manufactura involucrados en la operación, compra y puesta en marcha de estos equipos. La metodología y descripción del curso consistió principalmente en lo siguiente:

A cada uno de los participantes se le asignó una terminal de computadora que contiene el software de la máquina para navegar en las diferentes pantallas y estar familiarizado con el control Indramat de esta. El objetivo del entrenamiento fue enseñar principalmente al Ingeniero a crear, guardar y editar programas de CNC, así como la configuración de la máquina, utilización correcta de las herramientas de corte, palpadores verificadores de la pieza de trabajo, subrutinas en la programación paramétrica o macro, etc. Este entrenamiento se llevo a cabo en tres días de 8 horas por clase. Aproximadamente se llevaron 8 horas de práctica en la planta, dependiendo de la disponibilidad del equipo, para la ejecución de algunos programas. El instructor proveyó una carpeta con copias de parte de algunas secciones de manuales de programación de la máquina, dibujos de herramientas de corte, copia de algunos programas de CNC, etc.

3.2.1.1. Temario del Curso

1er día, duración: 8 Horas/Clase (incluye práctica)

- ▶ Tema 1
 - “Tools”
 - “Set up Tool List”
- ▶ Tema 2
 - “M-code”
 - “@ List “
 - “Relationship to User Screen”
 - “Display @ and Events in GUI”
 - “Event relationship to NC/PLC”
- ▶ Tema 3
 - “NC program Shuttle”
 - “Organization Program # 1”
 - “Option Program # 98 “
 - “Organization Pr.# 99 “

2ndo día, duración: 8Horas/Clase (incluye práctica)

- ▶ Tema 4
 - “Probe set up and different Styles for different rotors”
 - “Probe relationship to Machine 0”
 - “Offset Tables are used for Probe set ups”
- ▶ Tema 5
 - “Part Program with,”
 - “Organization (to check Status Part in Chuck)”
 - “Part program (Geometry According to Drawing)”
 - “Measurement Organization”
 - “Measurements Points”
 - “R&R Study”
 - “Reverse Vectors”

“Home Program (Set up all Part Specified Values)”

▶ Tema 6

“Measurement in General”

“Parameter for different Measurements”

3er día, duración: 8 Horas/Clase (incluye práctica)

▶ Tema 7

“Back up in general MT-CNC”

“Back up NC and Tools”

“Back up Drive Parameter”

▶ Tema 8

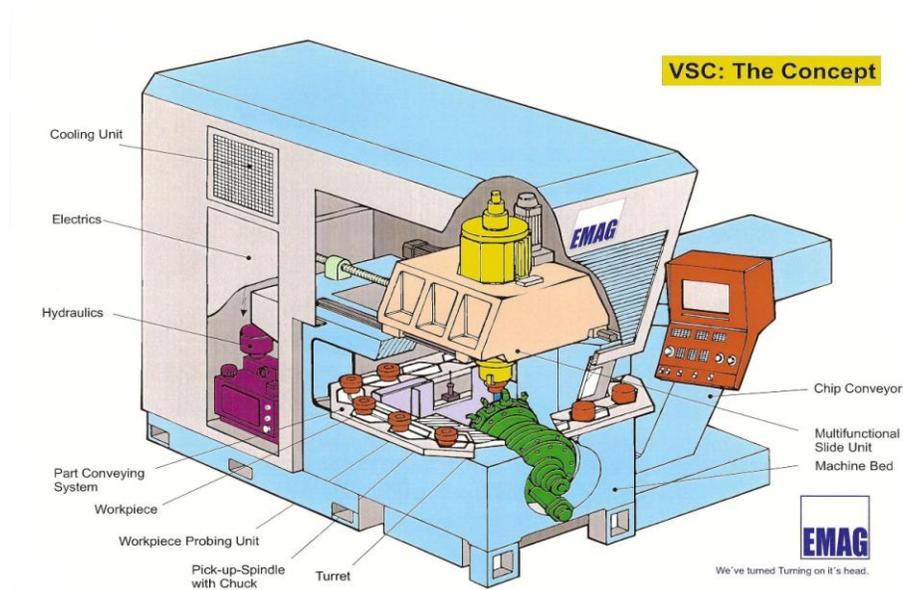
“PLC Program Input/Output/Identifier”

▶ Anexos

A continuación se describe en breve parte de las secciones del tema 1. Estas secciones aquí presentadas se encuentran en el manual “**Indramat Quick Reference Guide**” para las máquinas EMAG VSC-400 que el instructor proporcionó para este curso.

Antes de iniciar el Tema 1, el instructor muestra y explica la configuración del Torno Vertical Invertido así como sus componentes que por mencionar los más importantes son la torreta, el sistema transportador de piezas de trabajo o “shuttle”, el palpador de medición de la pieza de trabajo, husillo con plato sujetador de tres mordazas, transportador de viruta, unidad de control, etc. La figura fue presentada por medio de un proyector de acetatos para su descripción.

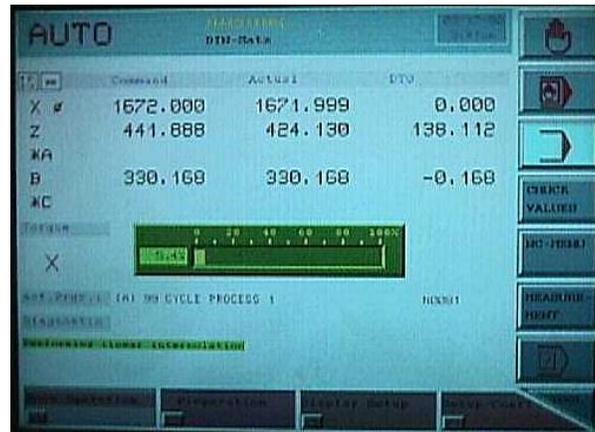
Figura 3.8. Torno Vertical Invertido



Fuente: Notas EMAG Curso de CNC. EMAG-USA – Delphi.

La siguiente figura muestra la pantalla principal en donde se muestra las coordenadas X & Z de la pieza. La coordenada B pertenece a la torreta y esta dado en unidades de ángulo (grados), la coordenada C es la orientación del husillo y A es el transportador de la pieza. El instructor explica que esta pantalla muestra todas las secciones en donde el ingeniero puede tener acceso a la información necesaria en el control de CNC. De aquí se puede entrar a verificar el programa de CNC, vida de las herramientas, hacer los ajustes de estas, salvar o editar programas de CNC, seleccionar programas, diagnosticar problemas en el equipo, etc.

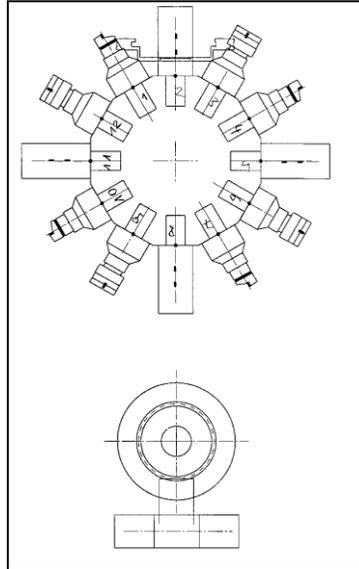
Figura 3.9. Pantalla Principal del Panel de Control en Torno Vertical Invertido



Fuente: Notas EMAG Curso de CNC. EMAG-USA – Delphi.

► **Tema 1**

El instructor hace hincapié en el número de herramientas que se pueden colocar en la torreta de doce (12) posiciones dependiendo del diámetro del rotor como se puede observar en la figura 3.10. Si el diámetro de la pieza interfiere en una de las herramientas adyacentes instaladas en la torreta, se recomienda eliminar una o dos de ellas para evitar posibles colisiones. El instructor recomienda un número par de herramientas en la torreta para balancearla cuando se ejecuta un cambio de herramienta durante el mecanizado.

Figura 3.10. Torreta de Doce (12) Posiciones en el Torno Vertical Invertido


Fuente: Notas EMAG Curso de CNC. EMAG-USA – Delphi.

El instructor muestra la siguiente pantalla del control en donde explica la forma de introducir la geometría, descripción, ajustes u “offsets” por desgaste, ajustes u “offsets” permanentes y número de las herramientas figura 3.11. El instructor explica en detalle esta sección ya que es de suma importancia el describir e introducir los datos necesarios correctos en las herramientas para evitar posibles colisiones y daños en el equipo.

Figura 3.11. Lista de Herramientas en el Monitor del Panel de Control

Locat.	Name	Geo	T. Beaks	Offset
001	TURN PLATE ID & PILOT C'PERS	L1(R) 139.8000	0.0000	0.0000
	T-Nr. :	L2(K) -25.5000	0.0000	0.0000
	Index :	R(RS) 1.6000	0.0000	0.0000
	Status :			
002				
003	FIN PLATE & HOT ID, DGH -A-	L1(R) 134.9500	-0.1063	0.0000
	T-Nr. :	L2(K) -25.2400	-0.1041	0.0000
	Index :	R(RS) 1.6000	0.0000	0.0000

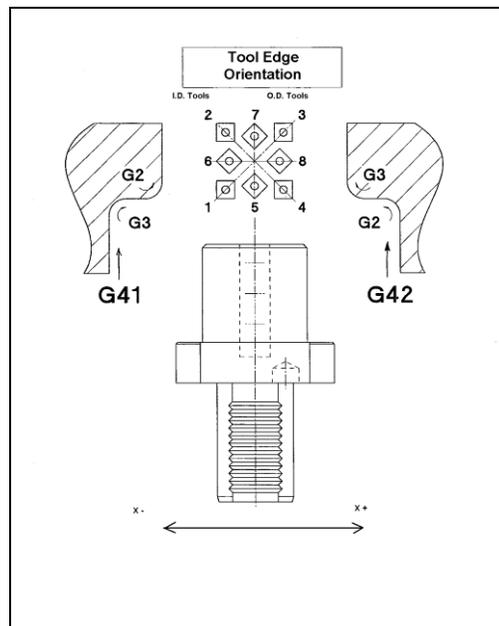
Please select value by pressing <ENTER>

Modfy Modfy =-DIFF G17 INCH Previous Next Station
 ABSOLUTE ABSOLUTE ABSOLUTE G18 G19 <->PM Edge Edge Index

Fuente: Notas EMAG Curso de CNC. EMAG-USA – Delphi.

Aquí se explica las diferentes posiciones y orientaciones de los insertos así como los códigos G para una correcta programación. Los números del 1 al 7 que se muestran en la figura 3.12. se refieren, si la herramienta ejecutará un torneado interior o exterior. Estos números son parte de los datos que se deben introducir en la lista de herramientas de la figura anterior. También se muestra la dirección de la coordenada en el eje de la X.

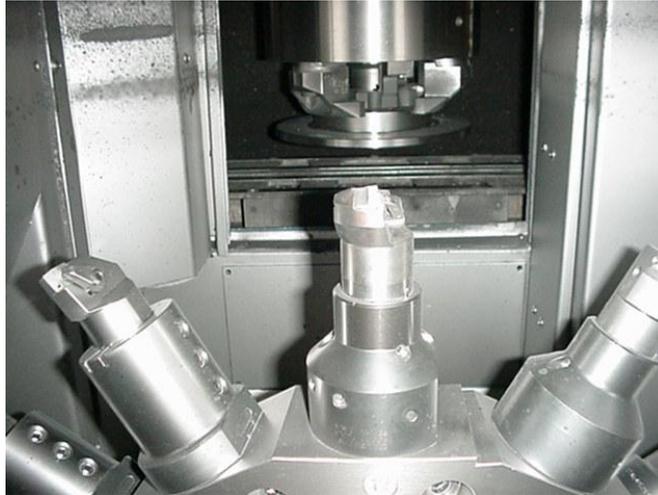
Figura 3.12. Orientación del Filo de la Herramienta en el Torno Vertical Invertido



Fuente: Notas **EMAG** Curso de CNC. EMAG-USA – Delphi.

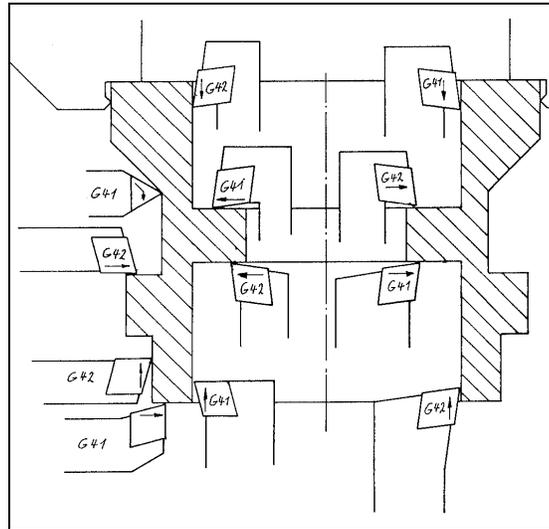
A continuación se muestra como la pieza de trabajo esta sujeta en el plato sujetador de tres mordazas y las herramientas utilizadas para mecanizarla. Nótese en la figura 3.13. que la pieza se alimenta automáticamente por medio de un transportador de la pieza de trabajo que corre sobre la mesa (de izquierda a derecha), enseguida el husillo se mueve en forma vertical hacia abajo para sujetar la pieza automáticamente una vez que ésta se encuentra en la posición correcta de carga. Después el husillo se desplaza hacia arriba lo suficiente para estar al nivel de las herramientas de corte para luego iniciar el giro y desplazarse hacia la torreta para iniciar el mecanizado de la pieza. La torreta puede girar en sentido horario o antihorario dependiendo de la posición de la herramienta durante el mecanizado.

Figura 3.13. Herramientas de Corte en el Torno Vertical Invertido Mostrando Plato Sujetador de Tres Mordazas y la Torreta con Herramientas



Fuente: Notas EMAG Curso de CNC. EMAG-USA – Delphi.

La figura 3.14. muestra diferentes códigos a utilizar de acuerdo a la orientación de la herramienta y si es torneado interior o exterior. Cabe hacer mención que los códigos de programación dependen del tipo de herramienta a utilizar. Por la configuración del torno invertido se debe tener cuidado en el uso de éstos pues para tornos de CNC “convencionales” estos códigos no corresponderían a los que se muestran aquí.

Figura 3.14. Orientación de la Herramienta en el Torno Vertical Invertido


Fuente: Notas EMAG Curso de CNC. EMAG-USA – Delphi.

► Tema 2

En las siguientes figuras se muestran algunas de las listas de los códigos M, símbolos @, letras Q y Eventos E para la programación del CNC del equipo y la comunicación entre este y el equipo automatizado alrededor de la celda de producción. Estos pueden incluir los transportadores de rodillos, el transportador de viruta, puertas de acceso a los equipos, etc. El instructor comenta que estos códigos y variables de programación presentados en esta sección son sólo informativos. En los códigos M no existe mucha diferencia en la aplicación comparada con otros equipos. Para las variables éstas son más específicas, esto quiere decir que probablemente no las veamos en otro tipo de equipo.

► Tema 3

Programas # 01, #98 y #99 para la programación del “Shuttle” de la pieza de trabajo a mecanizar, palpador de medición y algunos otros parámetros del equipo automatizado.

Esta parte del equipo automático transporta y presenta la pieza de trabajo en una posición dentro de la máquina para que el plato sujetador de tres mordazas sujete y realice el mecanizado. También se programa el transportador de la pieza en el eje A para

cuando ésta esté terminada pueda continuar con la siguiente operación. También se presenta la programación del palpador de medición que esta localizado en el interior de la máquina protegido por una cubierta deslizable para evitar caída de viruta y ocasionar lecturas erróneas durante las mediciones.

- El programa “*01 / Organisation Shuttle” realiza una función en el transportador de la pieza. En el curso se le explica al Ingeniero en detalle el significado sólo de algunas partes del programa que se deben modificar cuando se va a producir otra pieza diferente. Se puede utilizar el mismo programa para no empezar desde cero pues estos programas requieren muchas horas de trabajo para su elaboración.
- En el programa “*98 /Options Process 0 Shuttle” se definen los parámetros de desplazamiento del transportador de la pieza de trabajo en el eje A, las RPM máximas del husillo, el tipo de palpador de medición utilizado y los desplazamientos en el eje Z del husillo.

Figura 3.15. Variables “@” Asignados y Utilizados para la Programación del Palpador de Medición

<p>Organisation process 0 Load measuring probe dimensions</p> <p>Definitions : @6 : 100 = 1 measuring probe available @6 : 100 = 0 no probe</p> <p>Values for probe / ball 1</p> <p>@1 = Position of probe in X centre of ball radius @2 = Position of probe in Z upper edge of ball @3 = Ball diameter @4 = Switch offset in X @5 = Switch offset in Z @6 = Number of probe (1 - 4 permissible) @7 = Process probe is used in (1)</p>
--

Fuente: Notas EMAG Curso de CNC. EMAG-USA – Delphi. VSC-400 Manual del Operador.

- En el programa “*99 /Cycle Process 0 Shuttle” se encuentra parte de los movimientos del palpador de medición así como las instrucciones de cuando aceptar y rechazar piezas fuera de especificación. Aquí se le recuerda nuevamente al

Ingeniero que sólo se modifica el programa cuando la pieza a verificar va a cambiar de modelo o se va a cambiar una medida en la pieza actual. Se recomienda tener mucho cuidado en cambiar parámetros para evitar colisiones y/o daños a los equipos.

► Tema 4

Aquí se enseña donde se encuentran los parámetros del palpador de medición y las dimensiones y tolerancias de la pieza de trabajo en el programa. También se muestra los diferentes tipos de palpadores de acuerdo a la configuración de la pieza a medir como se muestra en la figura 3.16. El instructor utilizó el proyector tipo cañón para mostrar la diferencia entre los palpadores en dos máquinas.

Estos palpadores junto con los programas de CNC tienen la capacidad de retroalimentar automáticamente a las herramientas de corte para hacer los ajustes necesarios cuando la pieza de trabajo está fuera de especificación. Con esto se logra que las piezas se encuentren siempre en la medida nominal durante la vida de la herramienta. Estos palpadores de medición se encuentran en el interior de la máquina.

Figura 3.16. Palpadores de Medición Torno Vertical Invertido.



Fuente: Notas EMAG Curso de CNC. EMAG-USA – Delphi.

► Tema 5

Aquí se enseña el programa de CNC para el mecanizado de una pieza en el Torno Vertical Invertido así como los movimientos de cambio de herramienta en la torreta, actualización de la vida de la herramienta, número de la herramienta, velocidades y avances, detector de colisiones, etc. El instructor utilizó un proyector de acetatos utilizando marcadores para hacer anotaciones durante la explicación y presentación del programa como se muestra en la figura 3.17. Cabe mencionar que el programa no está completo por razones obvias.

Figura 3.17. Programa de CNC en el Torno Vertical Invertido

```

%NPG:0:01:1:080
;+++++
;+ WORKPIECE: 18021359DD ROTOR DISC BRK. OP.10 LINE 1 +
;+ DATUM: 18.04.95 EMAG - VSC 0131.94700 +
;+ ".START G50 Z=@30" (ORGANISATION PICK-UP) +
;+++++
N0000 REV .HOME
N0001 .START G48 G50 Z=@30 ;APPROACH HOME POSITION
N0002 @0=1.@50 BEQ .BRB ;PROCESS JUMP
N0003 @0=6.@50 BEQ .WPM ;Jump workpiece measurement
N0004 .AUTOM BSR .FT1LAD ;CYCLE AUTOMATION PICK-UP
N0005 BRA .START ;BRANCH BACK
N0006 .BRB
;T1 MTP ;TOOL NO. 1 (100 deg. bar chamfering)
N0007 MRY
N0008 Q5010
N0009 BSR .TN
N0010 BSR .T1_0
N0011 M82 ;Montr. on
N0012 G0 G16 G90 G95 X157 Z80.0 S800 M103 M50 ;
N0013 REV .REV1 @3:101=1
N0014 G01 G94 Z55.0 F40000 ; ___Approaching
N0015 G01 G95 X164 Z47.0 F.35 ; ___Chamfer plate I.D.
N0016 G01 G94 X70 Z25.0 S2400 ; ___Clear
N0017 G01 G94 Z14.5 ; ___Approaching
N0018 G01 G95 X71 Z5.0 F.35 ; CHAMFER PILOT
N0019 G01 G94 G97 X100 Z70 S1700 ; Clear for turret index x166
N0020 BSR .TN1
N0021 T2 MTP ;TOOL NO. 2 (80 deg. Bar, ID turning)
N0022 MRY
N0023 WES 28
N0024 BSR .TN
N0025 BSR .T2_0
N0026 G00 G96 X166 Z53.04 S850 M82 ; APPROACH TO PART
N0027 G01 G96 G95 X281 F.65 S850 ; ROUGH I.B. PLATE F.45 S650
N0028 G01 G94 X175.2 Z54.05 ; CLEAR
N0029 G01 G94 Z53.4 ; ___Approaching
N0030 G01 G95 X170 Z49.9 F.45 ; ___Chamfer I.B. plate
...
N0038 G01 G95 X86.0 Z9.5 F.35 ; FINISH TURN CHAMFER I.D.
N0039 G01 G95 X149.98 F.55 ; ROUGH DATUM -A-
N0040 G01 G95 Z12.8 ; FINISH CORNER
N0041 G01 G94 X145 Z70 S2400 M83 ; CLEAR FOR TURRET INDEX
N0042 BSR .TN2
N0043 T3 MTP ;TOOL NO.3 (Finish Pilot Diameter)
N0044 MRY
N0045 WES 28
N0046 BSR .TN
N0047 BSR .T3_0
N0048 G0 G95 X70.735 Z8.0 S2600 Q5002 ; APPROACHING
N0049 G04 F0.1 ; DWELL TIME
N0050 G01 G95 Z-1.50 F.18 ; FINISH PILOT DIA.
...
N0133 .HOME
N0134 M105
...
N0168 @0:54=278.0 ;WORKPIECE DIAMETER
N0169 @0:28=0.1 ;DWELL TIME AFTER CLAMPING RP
N0170 @0:30=330.0 ;POS Z BEFORE GRIPPING RP
N0171 @0:31=283.5 ;POS Z GRIPPING RP
...
N0183 @3:33=670 ;CHUCK CL.EXTERN. LOWER LIMIT TENSILE STRESS
N0184 @3:34=640 ;CHUCK CL.EXTERN. WITHOUT PART TENSILE STRESS
N0185 @3:35=50 ;RELEASE AXIS MOVEMENT TENSILE STRESS
...
N0197 @5:60=0600 BSR .TN1 ;max. tool life tool #1
N0198 @5:61=0300 BSR .TN2 ;max. tool life tool #2
N0199 @5:62=2500 BSR .TN3 ;max. tool life tool #3
N0200 Q1005
...
N0206 END OF PROGRAM
    
```

Fuente: Notas EMAG Curso de CNC. EMAG-USA – Delphi.

► **Tema 6**

Aquí se le indica al Ingeniero de Manufactura que el Torno Vertical Invertido cuenta con un control que tiene la capacidad de medición de la pieza de trabajo durante el proceso con el palpador de medición. La ventaja de este método de medición en el control es que la señal generada por el palpador es procesada directamente al CNC. Anteriormente se transfería la señal al CNC por medio del PLC. Esta es una nueva modalidad en los controles actuales.

A continuación se presentan diferentes formas y variables utilizadas para la programación del palpador de medición dependiendo si se van a verificar dimensiones en diámetro o longitudinales.

Figura 3.18. Algunos Parámetros para Palpador de Medición en el Torno Vertical Invertido

Measurement internal diameter :	
@4 : 51 =	Rated size (acc. to drawing).
@4 : 52 =	Upper tolerance (acc. to drawing).
@4 : 53 =	Lower tolerance (acc. to drawing).
@4 : 54 =	Practical value for measuring point.
@4 : 56 =	Free running dimension Z
@4 : 57 =	Protection dimension X
@4 : 58 =	Protection dimension Z
@4 : 60 =	1st meas. position Z
@4 : 63 =	Type of measurement 0 = 2-point measurement 1 = 1-point measurement + direction -1 = 1-point measurement - direction
@4 : 64 =	Number of measuring points for multiple measurement
@4 : 65 =	Starting angle for measurement
@4 : 66 =	Advance angle for multiple measurement
@4 : 67 =	Number of probe for 1st measuring point
@4 : 68 =	Number of probe for 2nd measuring point

Fuente: Notas EMAG Curso de CNC. EMAG-USA – Delphi. VSC-400 Manual del Operador.

▶ **Tema 7**

Aquí se enseña el procedimiento de guardar parte o todos los programas de CNC utilizando el disco flexible. Estos deben guardarse en un lugar seguro por si se llegara a perder los programas en el control o por alguna otra eventualidad. Se recomienda que cada vez que se implemente una mejora en el proceso en cuanto a velocidades de corte y avance se guarde inmediatamente el programa.

▶ **Tema 8**

El instructor enseña parte del PLC para un mejor entendimiento de lo que esta pasando alrededor del equipo. Este es utilizado principalmente por los Ingenieros de Control para diagnosticar fallas en la celda de manufactura. El instructor sólo le muestra al Ingeniero de Manufactura en donde se localiza este en el software del panel de control y se le da una breve explicación de su utilidad.

▶ **Anexos**

Aquí el instructor incluyó parte del **VSC-400 Manual del Operador** del Torno Vertical Invertido EMAG. Este tiene como objetivo que el Ingeniero consulte las secciones que podría utilizar.

CAPÍTULO IV. METODOLOGÍA PROPUESTA PARA LA ENSEÑANZA DEL CNC

La siguiente metodología esta diseñada de tal manera que se pueda enseñar en tres versiones diferentes según el conocimiento de los participantes a nivel Técnico (T) -este incluye también a operadores, Ingeniero (I) –incluyendo programadores y supervisores y por ultimo la Gerencia (G) –incluyendo también al personal de promoción y ventas.

En base al análisis de las diferentes metodologías en los capítulos anteriores, la propuesta y esencia de este trabajo es la siguiente.

4.1 PASOS PROPUESTOS PARA LA METODOLOGÍA DE LA ENSEÑANZA EN GENERAL DEL CNC

Cada uno de estos pasos se describirá brevemente en la sección 4.2.

1. Determinar la necesidad de la enseñanza del CNC en la empresa
2. Pre-requisitos para tomar el curso de CNC
3. Determinar el nivel de conocimientos del personal antes del curso
4. Desarrollo de los temas a nivel técnico (T), ingeniero (I) y gerencia (G)
5. Material de apoyo
6. Impartición del curso
7. Actividades teórico-prácticas
8. Evaluación después del curso
9. Certificación
10. Re-certificación del personal
11. Duración
12. Objetivos
13. Elaboración del curso
14. Actualización del curso

A manera de tabla comparativa se presenta algunas sugerencias de cómo distribuir en porcentaje (%) los temarios y el lugar en donde se impartan los cursos para los técnicos, ingenieros y gerencia.

EMPRESA METALMECÁNICA
CAPACITACIÓN DEL PERSONAL EN CNC

	TÉCNICO (T) /OPERADOR	INGENIERO (I) /PROGRAMADOR /SUPERVISOR	GERENCIA (G) /PROMOCIÓN /VENTAS
Salón de clase	35%	75%	95%
Equipos-Práctica	100%	75-85%	5%
Temario p/ Técnico (T)	100% / 35%	75% / 50% / 75%	0%
Temario p/ (I) & (G)	0%	100% / 100% / 75%	85% / 85% / 95%

4.2. BREVE DESCRIPCIÓN DE LOS PASOS DE LA METODOLOGÍA

4.2.1. Determinar la Necesidad de la Enseñanza del CNC en la Empresa

Si se presentan las siguientes condiciones se recomienda que la empresa imparta un curso de CNC al personal involucrado:

- La empresa adquiere por primera vez una o más máquinas de CNC
- La empresa adquiere una máquina de CNC más sofisticada que las que se tienen actualmente
- La empresa adquiere e instala un sin número de celdas de producción
- Cuando el personal es de nuevo ingreso
- Cuando es requerido por el personal para actualizarse
- Cuando la empresa así lo requiera
- Nuevas tecnologías llámese software o hardware en los equipos

4.2.2. Pre-Requisitos para Tomar el Curso de CNC

Se requiere que todo el personal técnico (T), ingeniero (I) y gerente (G)⁷⁸ cuenten con un conocimiento teórico y práctico básico en la operación y manejo de máquinas-

⁷⁸ Para simplificar en esta sección solo indicaremos Técnico (T) pero aquí también se incluye a operadores. Ingeniero (I) incluye programadores y supervisores. Gerencia (G) incluye también personal de promoción y ventas.

herramienta convencionales. Es deseable que el técnico e ingeniero tengan experiencia en un taller mecánico, como mínimo 6 meses. Para la gerencia no es necesario tener experiencia en el manejo de máquinas-herramienta convencionales pero si es deseable contar con conocimientos mínimos de mantenimiento, planeación de la producción, etc.

Si el técnico e ingeniero no tienen los conocimientos básicos antes mencionados, se recomienda que tome las siguientes asignaturas como preparación antes de tomar el curso de CNC. Esto es con la finalidad de que el técnico e ingeniero aprendan y asimilen más rápidamente el curso.

- Taller de Máquinas-Herramienta
- Diseño Asistido por Computadora o “Computer-Aided Design” (CAD)
- Metalurgia
- Procesos de Manufactura
- Matemáticas Elementales
- Computación

En resumen el técnico (T), ingeniero (I) y gerencia (G) deberían tener:

- Experiencia en la operación manual de torno y máquinas fresadoras verticales convencionales, requerido para (T) e (I)
- Conocimiento práctico del uso de herramientas tanto en operaciones de torneado como fresado, requerido para (T) e (I)
- Conocimiento en la nomenclatura y geometría de herramientas de corte, requerido para (T) e (I)
- Conocimiento práctico de las brocas y sus aplicaciones, requerido para (T) e (I)
- Conocimiento en los procesos de manufactura, requerido para (T) e (I)
- Experiencia en el cálculo de velocidades y avances para tornos y máquinas fresadoras, requerido para (T) e (I)
- Conceptos básicos de computación, requerido para (T), (I) y (G)
- Habilidad en conceptos básicos de matemáticas, requerido para (T) e (I)
- Experiencia en mantenimiento preventivo, requerido para (T) e (I)
- Planeación de la producción, requerido para (I) y (G)

4.2.3. Determinar el Nivel de Conocimientos del Personal antes del Curso

Antes de iniciar el curso se debe evaluar al personal para saber el nivel en el que están. Para esto se pueden elaborar formularios con una serie de preguntas básicas relacionado al CNC con diferentes grados de dificultad. Esta misma evaluación se debe aplicar nuevamente al final del curso para ver el aprovechamiento y aprendizaje del mismo.

4.2.4. Desarrollo de los Temas a Nivel Técnico (T), Ingeniero (I) y Gerencia (G)

Los temas de CNC están dirigidos al personal de una empresa a nivel técnico, Ingeniero y Gerencia que están involucrados directa o indirectamente con equipos de CNC. En el temario solo se indica al personal que se sugiere omitir en algunas secciones.

➤ Ejemplo de un Temario de CNC dirigido a Técnicos (T), Ingenieros (I) y Gerencia (G)

Nombre del Curso: CONTROL NUMÉRICO COMPUTARIZADO (CNC)

I. Importancia del CNC en la industria

- A. Breve historia
- B. Aplicación del CNC
- C. Puestos de trabajo

II. Máquinas de CNC

- A. Tipo de máquinas
 - 1. Descripción
 - 2. Funcionamiento
- B. Ventajas y Desventajas
- C. Mantenimiento
- D. Reglas generales de seguridad alrededor de las máquinas de CNC

III. Introducción a los sistemas de CNC

- A. Tipo de sistemas
- B. Designación de los ejes en las máquinas

- C. Herramientas de corte
- D. Dispositivos de sujeción [**Omitir (G)**]

IV. La programación de CNC

- A. Ejemplos de programas en tornos y centros de maquinado
- B. Estructura de programación en tornos y centros de maquinado [**Omitir (G)**]
- C. Programación manual [**Omitir (G)**]
- D. Subprogramas [**Omitir (G)**]
- E. Programación en modo absoluto e incremental [**Omitir (G)**]
- F. Programación paramétrica o macro [**Omitir (G)**]
- G. Programación empleando CAD/CAM [**Omitir (G)**]

V. Códigos de programación

- A. Funciones de desplazamiento en general [**Omitir (G)**]
- B. Funciones misceláneas en CNC [**Omitir (G)**]
- C. Ciclos fijos o repetitivos de programación [**Omitir (G)**]
- D. Programación de las herramientas [**Omitir (G)**]
- E. Programación y cálculo de los avances y velocidades de la herramienta [**Omitir (G)**]
- F. Programación y cálculo del giro del husillo [**Omitir (G)**]
- G. Análisis del plan de trabajo [**Omitir (G)**]
- H. Elección de los medios de maquinado [**Omitir (G)**]
- I. Montaje y preparación de máquinas de CNC (Centros de Maquinado y Torneado) [**Omitir (G)**]

4.2.5. Material de Apoyo

A continuación se presenta una lista de materiales, referencias y actividades que se recomienda al instructor para un mejor aprovechamiento del personal en el aprendizaje del CNC.

- Utilizar un proyector tipo cañón conectada a una computadora
- Utilizar el software PowerPoint para las presentaciones
- Mostrar fotos conteniendo diversas máquinas de CNC y sus procesos

- Presentar mini videos de diferentes equipos en operación
- Consultar sitios de Internet relacionados a la programación de CNC
- Cada participante debe contar con una computadora
- Utilizar blocs con caballete para hacer anotaciones y plumones de colores diferentes
- Utilizar gis y pizarrón si están disponibles
- Consultar revistas técnicas relacionadas a CNC
- Asistir a exposiciones de la industria metalmecánica
- Visitar distribuidores de máquinas de CNC
- Visitar empresas que tengan en sus procesos máquinas de CNC (si lo permiten)
- Consultar libros y manuales relacionados al CNC
- Contar con una mini-Fresadora y un mini-Torno de CNC para las prácticas. Esto es ampliamente recomendado ya que no se interrumpirá la producción en la planta por utilizar los equipos durante el entrenamiento.

4.2.6. Impartición del Curso

Las instalaciones en donde se va a impartir el curso de CNC son muy importantes. A continuación se presenta una lista de lo que debe incluir un salón de clase.

- El salón de clase debe contar con una buena iluminación y ventilación
- Debe contar con mesas y sillas lo mas cómodas posible
- De preferencia debe estar con paredes pintadas de blanco
- Debe contar con suficientes tomas de corriente y que sean de fácil acceso
- Debe contar con acceso a Internet inalámbrica o con conexión por cable
- Ubicar la mini fresadora y mini torno en un lugar adecuado y seguro

A continuación se presenta una lista de lo que debe tener presente el instructor antes de practicar con los mini equipos de CNC:

- Asegurarse que el personal lea y entienda las reglas generales de seguridad alrededor del equipo de CNC. Es obligatorio que el instructor desarrolle y proporcione estas reglas
 - Utilizar anteojos de seguridad todo el tiempo
 - Verificar que los equipos de CNC cuenten con todos los elementos de seguridad antes de su operación.
 - El personal debe utilizar una tableta portapapeles para hacer anotaciones pertinentes
- Cabe mencionar que esto es solo una guía de seguridad para el instructor.

4.2.7. Actividades Teórico-Prácticas

De preferencia las siguientes actividades se recomiendan para los técnicos (T) en un 100% y para los ingenieros (I) en un 50% de acuerdo a la disponibilidad y conocimiento de estos.

➤ Proyectos para la Mini Fresadora y Mini Torno de CNC

En esta sección, el instructor debe aplicar su experiencia en el campo del CNC. Estos proyectos deberán asignarse a los Técnicos mientras se enseña el curso de programación. Los proyectos se deben elaborar con un grado de dificultad a medida que se vaya presentando el material. De esta manera el Técnico aplicará los conocimientos aprendidos en cada sección. Si el tiempo y disponibilidad del personal lo permiten, se debe dejar a cada uno de ellos el preparar y montar la máquina para ejecutar su propio programa.

➤ Proyectos para la Mini Fresadora de CNC

- Programación de CNC empleando punto a punto para generar una pieza con orificios
- Programación de CNC empleando desbaste y acabado de superficies planas, así como el contorno de la pieza.
- Programación y montaje de la máquina
- Programación de una pieza usando tres herramientas

- Programación y maquinado de piezas complejas empleando como mínimo tres herramientas
- Programación de una pieza a discreción del estudiante

➤ **Proyectos para el Mini Torno de CNC**

- Programación de torneado cilíndrico y careado
- Programación de una pieza de forma simple #1
- Programación de una pieza de forma simple #2
- Programación de maquinados interiores
- Programación de radios y conicidades
- Programación de macros
- Programación de una pieza de forma compleja #3
- Programación de una pieza a discreción del estudiante

4.2.8. Evaluación después del Curso

Al término del curso el instructor le proporcionará al estudiante la misma evaluación que se le aplicó al principio. Con esto se verificará si el personal asimiló y entendió los conceptos básicos del CNC.

4.2.9. Certificación

La empresa deberá emitir un certificado de constancia al término del curso.

4.2.10. Re-Certificación del Personal

Se recomienda que la empresa lleve a cabo una re-certificación para el personal según las circunstancias lo permitan. Se recomienda hacerlo cada año para que se mantengan actualizados.

4.2.11. Duración

Las horas de entrenamiento indicadas abajo se consideran como mínimas. La empresa/instructor tiene la libertad de agregar más horas según sea necesario.

Horas clase: 2 hr. / semana

4.2.12. Objetivos

- Dado un dibujo de fabricación de una pieza, el estudiante será capaz de proceder a elaborar un programa de CNC desde el inicio, para (T) e (I)
- Dado un dibujo de fabricación de una pieza, el estudiante será capaz de identificar las superficies a maquinar, para (T) e (I)
- El estudiante será capaz de identificar el tipo de maquinado en superficies, para (T) e (I)
- El estudiante será capaz de identificar diferentes equipos de CNC y sus operaciones, para (T), (I) y (G)
- El estudiante será capaz de entender la importancia del mantenimiento de los equipos, para (T) e (I)
- El estudiante será capaz de identificar las herramientas de acuerdo a las operaciones a realizar en diferentes equipos, para (T) e (I)
- El estudiante será capaz de entender la estructura de un programa de CNC, para (T) e (I)
- El estudiante aprenderá las reglas generales de seguridad alrededor de los equipos de CNC, para (T), (I) y (G)
- El estudiante podrá identificar los códigos G y M, para (T) e (I)

4.2.13. Elaboración del Curso

A continuación se describirá a modo de ejemplo de cómo desarrollar una parte del curso utilizando para ello la elaboración de un programa de CNC paso a paso. Esta sección está dirigida para el nivel Técnico (T) e Ingeniero (I) exclusivamente. La siguiente presentación tiene por objeto mostrar y ofrecer al instructor una opción de cómo desarrollar algunas secciones. Este ejemplo se puede aplicar para una mini Fresadora de CNC o para un Centro de Maquinado.

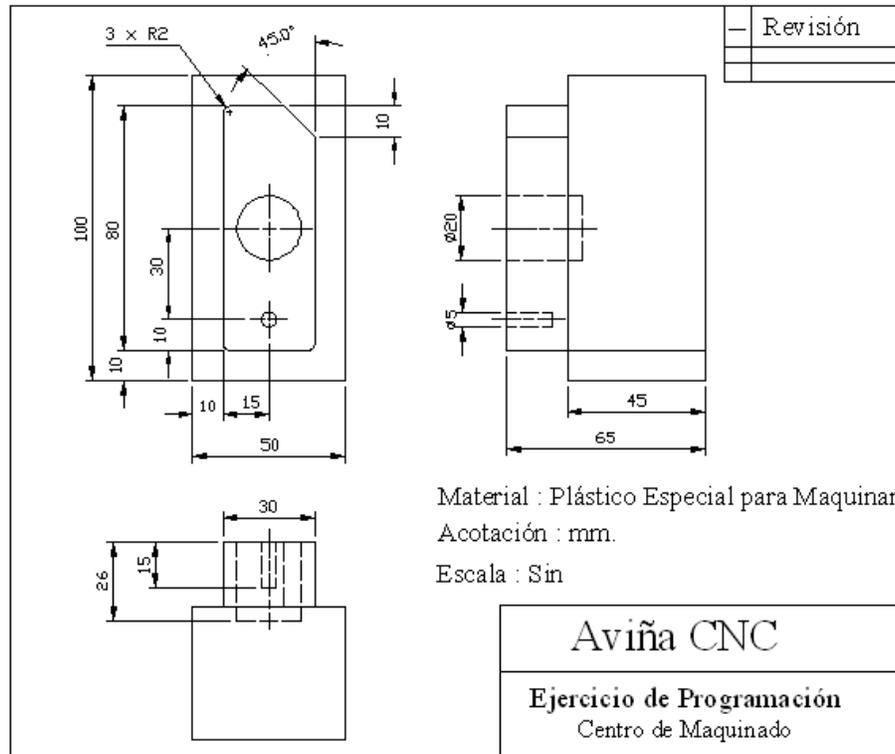
◆ **Ejemplo para la Elaboración de un Programa de CNC para un Centro de Maquinado dirigido a Técnicos (T) e Ingenieros (I).**

El instructor puede seguir paso a paso estas mismas secciones empleando un **ejemplo práctico de programación para una pieza específica**. De esta manera los estudiantes tendrán la oportunidad de crear sus programas, ejecutar y preparar la máquina para el mecanizado de la pieza. Se recomienda utilizar ayuda visual como el proyector tipo cañón conectado a una computadora, bloc con caballete y pizarrón para hacer anotaciones cuando se requiera.

Considérese solamente como una guía, el instructor puede agregar/eliminar secciones que crea conveniente de acuerdo a las necesidades del personal.

- **1° Paso. Estudiar Dibujo de Fabricación.** Analizar y definir dimensiones acotadas, acabados superficiales, tratamientos térmicos, identificar superficies planas o de revolución, tolerancias, tolerancias geométricas, puntos de referencia, etc. Para nuestro ejemplo se presenta a continuación el dibujo con el que vamos a trabajar.

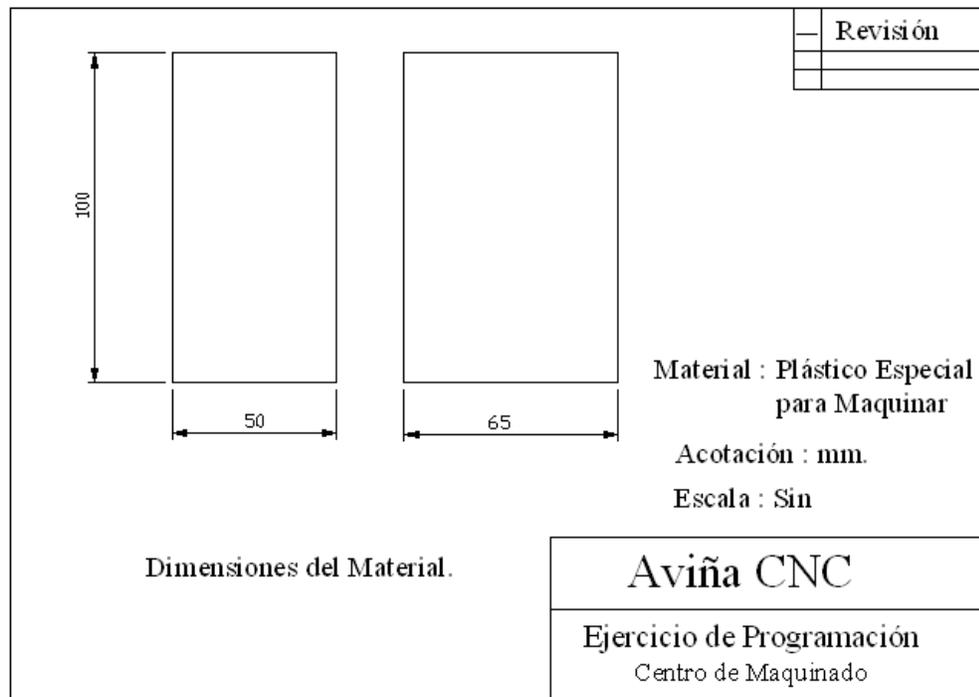
Figura 4.1. Dibujo Ejercicio de Programación en un Centro de Maquinado



Fuente: Elaboración Propia.

- **2° Paso. Definir Materia Prima a Utilizar.** Una vez estudiado el dibujo de fabricación se procede a definir las dimensiones de la materia prima a utilizar que en este caso puede ser de 50 x 65 x 100 mm. Como se indica en la siguiente figura. El instructor puede utilizar el material que desee pero se recomienda utilizar uno del tipo plástico duro especial para maquinado.

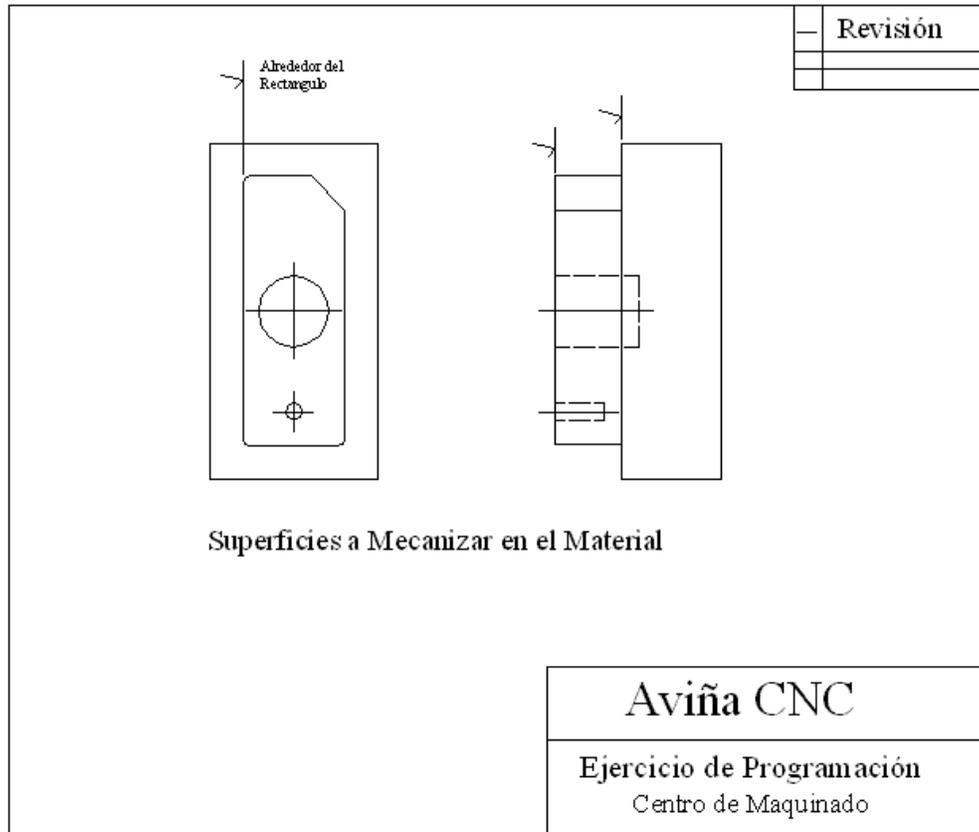
Figura 4.2. Dimensiones de la Materia Prima



Fuente: Elaboración Propia.

- **3º Paso. Identificar Superficies a Mecanizar.** Procedemos a marcar las superficies a mecanizar con líneas gruesas como se muestra en el siguiente dibujo.

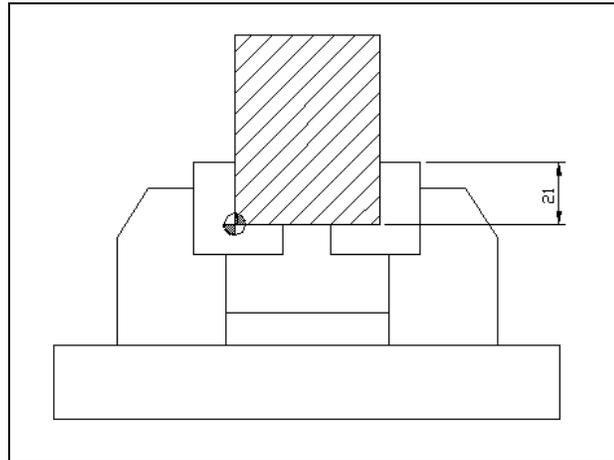
Figura 4.3. Identificación de las Superficies a Mecanizar



Fuente: Elaboración Propia.

- **4° Paso. Elegir Dispositivos de Sujeción.** El dispositivo de sujeción que vamos a utilizar para nuestro ejemplo será un tornillo de banco que se colocará en la mesa de trabajo del centro de maquinado.

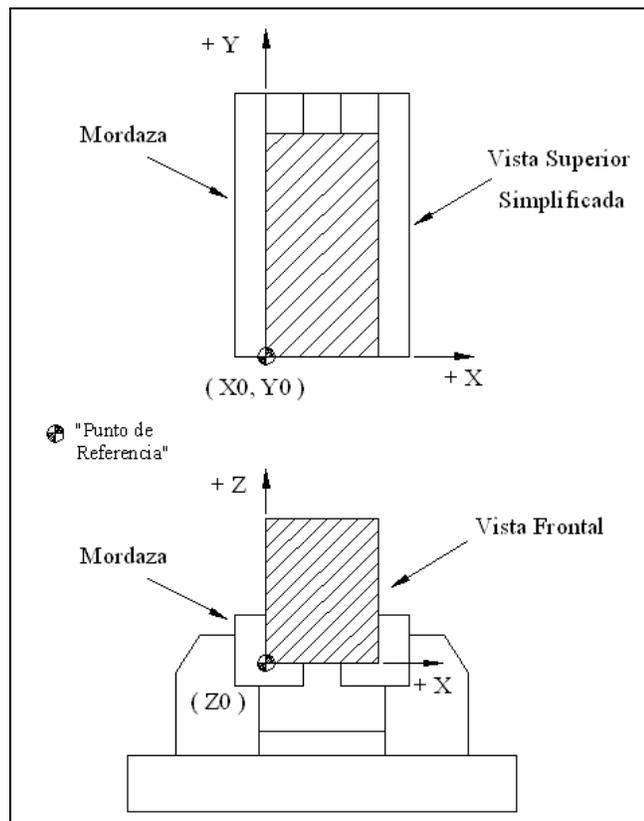
Figura 4.4. Tornillo de Banco Sujetando la Materia Prima



Fuente: Elaboración Propia.

- **5° Paso. Selección del Origen.** Aquí vamos a definir el origen cero en la pieza de trabajo. Para este ejemplo vamos a escoger la esquina inferior izquierda del material debido a que las otras dimensiones del dibujo de fabricación parten de allí. Otra razón por la que se escoge este punto es que la esquina de la pieza coincide con la esquina de la mordaza en el tornillo de banco. Esta localización se puede encontrar fácilmente utilizando un localizador de bordes o “edge finder”⁷⁹.

Figura 4.5. Origen Cero en la Pieza de Trabajo



Fuente: Elaboración Propia.

⁷⁹ Mike Rehmus. **The Edge Finder**. Rev. 4 de Diciembre 1996. Consultada en febrero de 2007. <<http://www.metalwebnews.com/howto/edge/edgefind.html>>.

- **6° Paso. Fases del trabajo y asignación de herramientas.** Una vez definido el origen de la pieza “programa cero” en el programa de CNC, se procede a desarrollar las fases de trabajo y asignar las herramientas adecuadas para el mecanizado de la pieza. A continuación se presenta en forma de tabla las operaciones que se van a realizar en el centro de maquinado para nuestro ejemplo de programación.

Tabla 4.1. Fases del Trabajo y Lista de Herramientas

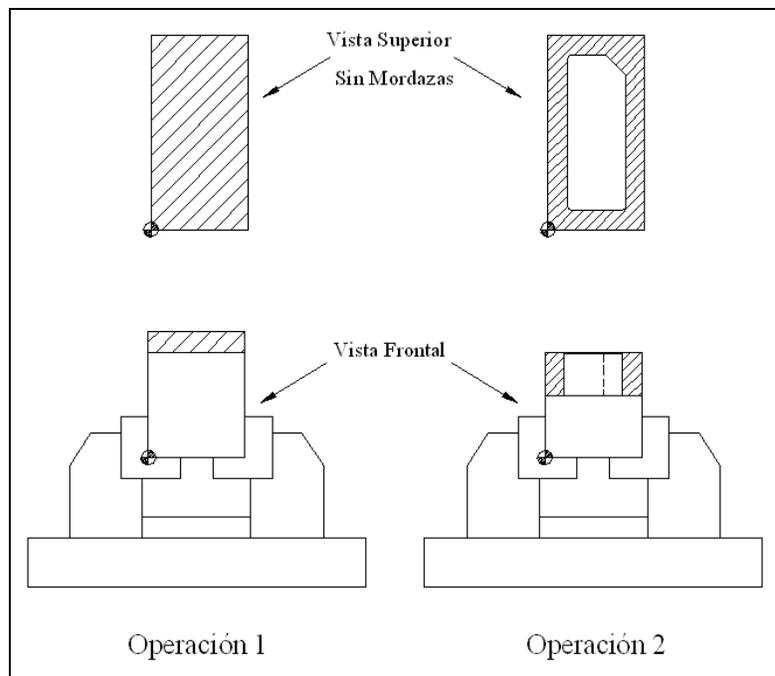
Op.	Fase de Trabajo	# de Herr.	Descripción de Herramientas	Número de Dientes
1	Desbaste. Remoción de material dejando 1 mm. para el acabado final en superficie plana superior.	1	Ø76 mm. (3”), Fresa de filos múltiples fijos o intercambiables.	6
2	Desbaste. Remoción de material dejando 1 mm. para el acabado final alrededor del rectángulo.	2	Ø19 mm. (3/4”), Fresa de dos cortes ⁸⁰ para desbaste.	4
3	Acabado. Superficies planas, chaflán y radios.	3	Ø19 mm. (3/4”), Fresa de dos cortes para acabado.	4
4	Acabado. Barrenado Ciego de Ø 5 x 15 mm. de profundidad con superficie plana.	4	Ø5 mm, Fresa de dos cortes.	2
5	Desbaste y Acabado. Barreno Ciego de Ø 20 x 26 mm. de profundidad con superficie plana.	5	Ø8 mm. (5/16”), Fresa de dos cortes para desbaste.	4
		6	Ø6 mm (15/64”), Fresa de dos cortes para acabado.	2

Fuente: Elaboración Propia.

⁸⁰ Nota para la operación.2 en la columna “Descripción de Herramientas” en la tabla. La “Fresa de Dos Cortes” tiene los filos en el extremo (cara) y en la parte cilíndrica del cortador.

- **7° Paso. Describir las Operaciones en el Mecanizado.** Refiérase a las figuras.
- ✂ **Operación 1.** Seleccionar herramienta, T1 M6. Utilizar una fresa de filos múltiples fijos o intercambiables, Ø76 mm. para el mecanizado de superficies planas. Desbastar parte superior del material de trabajo, opuesta al tornillo de banco, a una distancia de 51 mm. con respecto al origen en el eje positivo de la Z, dejando 1 mm. extra de material para el acabado final. En esta operación se utiliza Interpolación Lineal con Avance en el programa de CNC.
- ✂ **Operación 2.** Efectuar cambio de herramienta, T2 M6. Utilizar una fresa de dos cortes para desbaste, Ø20 mm. Desbastar exceso de material alrededor del rectángulo generando el chaflán y sus tres (3) radios en las esquinas dejando 1mm. extra de material para el acabado final. En esta operación se utiliza Compensación de Herramienta a la Derecha, Interpolación Lineal con Avance y Circular en el programa de CNC.

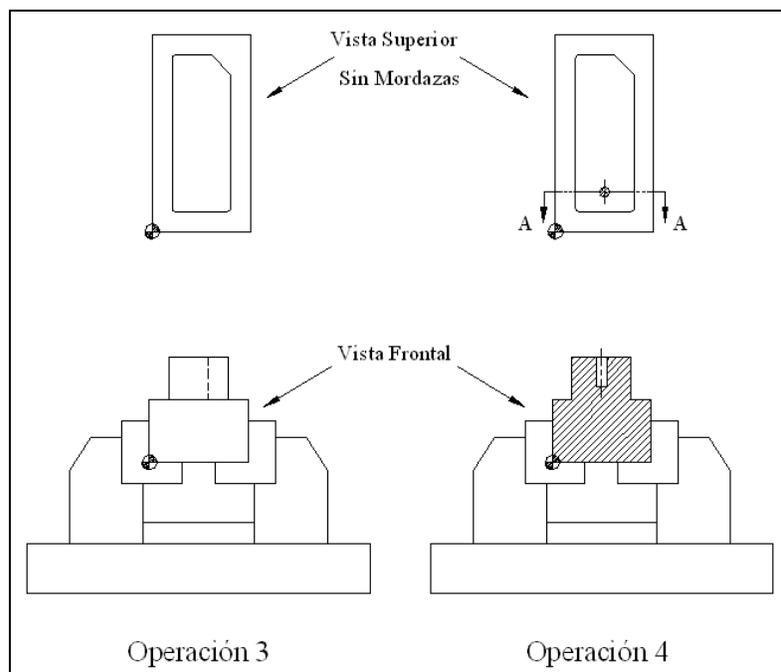
Figura 4.6. Operación 1, Desbaste de Superficie Superior y Operación 2, Desbaste de las Superficies Planas del Rectángulo



Fuente: Elaboración Propia.

- ✘ **Operación 3.** Efectuar cambio de herramienta, T3 M6. Utilizar una fresa de dos cortes para acabado, $\varnothing 19$ mm. Realizar acabado final de superficies planas. Remoción de exceso de material de 1 mm. de la parte superior del rectángulo y alrededor de este. En esta operación se utiliza Compensación de Herramienta a la Derecha, Interpolación Lineal con Avance y Circular en el programa de CNC.
- ✘ **Operación 4.** Efectuar cambio de herramienta, T4 M6. Mecanizar barreno ciego de $\varnothing 5$ mm. x 15 mm. de profundidad utilizando una fresa de dos cortes, $\varnothing 5$ mm. En esta operación la herramienta se localiza exactamente arriba de la superficie para luego entrar directamente en el material con un avance especificado hasta alcanzar la profundidad deseada. De acuerdo al dibujo de fabricación el barreno en su profundidad es de superficie plana por lo que no se utiliza broca ya que el material es plástico. Para otros casos, dependiendo del material a mecanizar, esta misma operación se puede realizar empleando primero una broca de centros o una broca menor al diámetro del agujero para remover material. En esta operación se utiliza Interpolación Lineal con Avance en el programa de CNC.

Figura 4.7. Operación 3, Acabado Final de Superficies Planas y Operación 4, Mecanizado de Barreno Ciego de $\varnothing 5$ mm. x 15 mm. de Profundidad



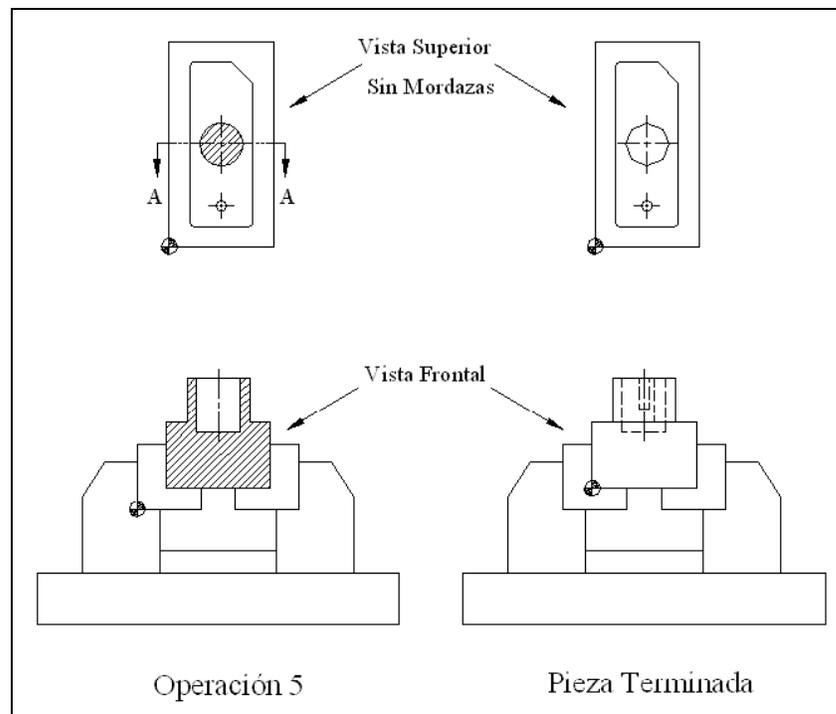
Fuente: Elaboración Propia.

✘ **Operación 5.** Mecanizar barreno ciego de $\varnothing 20$ mm. x 26 mm. de profundidad con superficie plana.

- Efectuar cambio de herramienta, T5 M6. Utilizar una fresa de dos cortes, $\varnothing 8$ mm. para desbastar el barreno dejando 1 mm. de material tanto en la superficie cilíndrica como en el fondo del barreno para el acabado final. En esta operación se utiliza Interpolación Circular en el programa de CNC.
- Efectuar cambio de herramienta, T6 M6. Utilizar una fresa de dos cortes, $\varnothing 6$ mm. para realizar el acabado final del diámetro y profundidad requerido. En esta operación se utiliza Interpolación Circular en el programa de CNC.

✘ **Pieza Terminada.** Una vez que la operación 5 ha finalizado la pieza queda terminada. Estará lista para ser retirada del dispositivo de sujeción y colocarla en el contenedor de producto terminado para su verificación de acuerdo al control de verificación del producto.

Figura 4.8. Operación 5, Mecanizado de Barreno Ciego de $\varnothing 20$ mm. x 26 mm. de Profundidad y Pieza Terminada



Fuente: Elaboración Propia.

- **8° Paso. Elaboración del Programa de CNC.** Antes de proceder a elaborar el programa para nuestro ejemplo, debemos recordar que un bloque se compone de lo siguiente, véase figura.

Figura 4.9. Representación General en Un Bloque de Programación

N	G	X Y Z	I J K	F	S	T	M
Número de Bloque	Función Preparatoria	Direcciones de Desplazamiento/Posición	Direcciones Interpolación Circular	Función Vel. de Avance	Función Vel. Giro del Husillo	Función Herramienta	Función Miscelánea

Fuente: Elaboración Propia.

En nuestro ejemplo el programa de CNC se presenta en forma de cuadrícula con títulos en la parte superior representando las diferentes letras y códigos que se pueden utilizar en una línea o bloque de programación. Al final de cada bloque se describe en una forma breve lo que sucede con las funciones G y M durante el programa.

Figura 4.10. Ejemplo de Programación

N # de Bloque	G Función Preparatoria	X± Posición	Y± Posición	Z± Posición	I/J/K± Posición	F Vel. de Avance	S Vel. Giro del Husillo	T Función Herramienta	M Función Miscelánea	Breve Descripción de lo que Ocurre en el Programa con las Funciones G y M.
N005	(ORIGEN - PROGRAMA CERO: EN FRENTE, ABAJO Y A LA IZQUIERDA DE LA PIEZA DE TRABAJO - VISTA FRONTAL EN EL DIBUJO)									
N010	(OPERACIÓN 1: Ø76 mm FRESA DE FILOS MÚLTIPLES. DESBASTE)									
N015	G90 G71									Descripción de la Herramienta y Operación
N020								T1	M6	Activa Modo Absoluto y Unidades en mm.
N025	G00 G97	X25	Y180	Z51			S500		M3	Ejecutar Cambio de Herramienta por la # 1
N030	G01		Y-80			F25				Desplazamiento Rápido (G00), Girar Husillo (M3) en RPM (G97)
N035	G00			Z70						Interpolación Lineal con Avance F en el/los Eje(s) Indicado(s)
N040	(OPERACIÓN 2: Ø20 mm, FRESA DE DOS FILOS. DESBASTE)									
N045								T2	M6	Descripción de la Herramienta y Operación
N050	G00 G97	X25	Y-15	Z31			S800		M3	Ejecutar Cambio de Herramienta por la # 2
N055	G01		Y9			F40				Desplazamiento Rápido (G00), Girar Husillo (M3) en RPM (G97)
N060	G42	X38								Interpolación Lineal con Avance F en el/los Eje(s) Indicado(s)
N065	G03	X41	Y12		I38 J12					Activar Compensación de Herramienta a la Derecha
N070	G01		Y80							Interpolación Circular - sentido contrario manecillas del reloj
N075		X30	Y91							Interpolación Lineal con Avance F en el/los Eje(s) Indicado(s)
N080		X12								Interpolación Lineal con Avance F en el/los Eje(s) Indicado(s)
N085	G03	X9	Y88		I12 J88					Interpolación Circular- sentido contrario manecillas del reloj
N090	G01		Y12							Interpolación Lineal con Avance F en el/los Eje(s) Indicado(s)
N095	G03	X12	Y9		I12 J12					Interpolación Circular- sentido contrario manecillas del reloj
N100	G01	X70								Interpolación Lineal con Avance F en el/los Eje(s) Indicado(s)
N105	G40									Cancelar Compensación de Herramienta
N110	(OPERACIÓN 3: Ø19 mm, FRESA DE DOS FILOS. ACABADO FINAL)									
N115								T3	M6	Descripción de la Herramienta y Operación
N120	G00 G97	X25	Y-15	Z30			S900		M3	Ejecutar Cambio de Herramienta por la # 3
N125	G01		Y10			F50				Desplazamiento Rápido (G00), Girar Husillo (M3) en RPM (G97)
N130	G42	X38								Interpolación Lineal con Avance F en el/los Eje(s) Indicado(s)
N135	G03	X40	Y12		I38 J12					Activar Compensación de Herramienta a la Derecha
N140	G01		Y80							Interpolación Circular- sentido contrario manecillas del reloj
N145		X30	Y90							Interpolación Lineal con Avance F en el/los Eje(s) Indicado(s)
N150		X12								Interpolación Lineal con Avance F en el/los Eje(s) Indicado(s)
N155	G03	X10	Y88		I12 J88					Interpolación Circular- sentido contrario manecillas del reloj
N160	G01		Y12							Interpolación Lineal con Avance F en el/los Eje(s) Indicado(s)
N165	G03	X12	Y10		I12 J12					Interpolación Circular- sentido contrario manecillas del reloj
N170	G01	X70								Interpolación Lineal con Avance F en el/los Eje(s) Indicado(s)
N175	G40									Cancelar Compensación de Herramienta
N180	(OPERACIÓN 4: Ø5 mm, FRESA DE DOS FILOS. ACABADO FINAL)									
N185								T4	M6	Descripción de la Herramienta y Operación
N190	G00 G97	X25	Y20	Z52			S800		M3	Ejecutar Cambio de Herramienta por la # 4
N195	G01			Z35		F20				Desplazamiento Rápido (G00), Girar Husillo (M3) en RPM (G97)
N200	G00			Z52						Interpolación Lineal con Avance F en el/los Eje(s) Indicado(s)
N205	(OPERACIÓN 5: Ø8 mm, FRESA DE DOS FILOS. DESBASTE)									
N210								T5	M6	Descripción de la Herramienta y Operación
N215	G00 G97	X25	Y50	Z52			S800		M3	Ejecutar Cambio de Herramienta por la # 5
N220	G92	X0	Y0							Desplazamiento Rápido (G00), Girar Husillo (M3) en RPM (G97)
N225	G01			Z25		F40				Establecer Nueva Coordenada de Origen en el Programa (G92)
N230	G41	X5	Y-12							Interpolación Lineal con Avance F en el/los Eje(s) Indicado(s)
N235	G03	X9	Y0		I5 J0					Activar Compensación de Herramienta a la Izquierda
N240		X0	Y9		I0 J0					Interpolación Circular- Sentido Contrario Manecillas del Reloj
N245		X-9	Y0							Interpolación Circular- Sentido Contrario Manecillas del Reloj
N250		X0	Y-9							Interpolación Circular- Sentido Contrario Manecillas del Reloj
N255		X9	Y0							Interpolación Circular- Sentido Contrario Manecillas del Reloj
N260		X5	Y12		I5 J0					Interpolación Circular- Sentido Contrario Manecillas del Reloj
N265	G00			Z52						Desplazamiento Rápido en el/los Eje(s) Indicado(s)
N270		X0	Y0							Desplazamiento Rápido en el/los Eje(s) Indicado(s)
N275	G92	X25	Y50							Establecer Nueva Coordenada de Origen en el Programa (G92)
N280	G40									Cancelar Compensación de Herramienta
N285	(OPERACIÓN 5: Ø6 mm, FRESA DE DOS FILOS. ACABADO FINAL)									
N290								T6	M6	Descripción de la Herramienta y Operación
N295	G00 G97	X25	Y50	Z52			S900		M3	Ejecutar Cambio de Herramienta por la # 6
N300	G92	X0	Y0							Desplazamiento Rápido (G00), Girar Husillo (M3) en RPM (G97)
N305	G01			Z24		F50				Establecer Nueva Coordenada de Origen en el Programa (G92)
N310	G41	X5	Y-12							Interpolación Lineal con Avance F en el/los Eje(s) Indicado(s)
N315	G03	X10	Y0		I5 J0					Activar Compensación de Herramienta a la Izquierda
N320		X0	Y10		I0 J0					Interpolación Circular- Sentido Contrario Manecillas del Reloj
N325		X-10	Y0							Interpolación Circular- Sentido Contrario Manecillas del Reloj
N330		X0	Y-10							Interpolación Circular- Sentido Contrario Manecillas del Reloj
N335		X10	Y0							Interpolación Circular- Sentido Contrario Manecillas del Reloj
N340		X5	Y12		I5 J0					Interpolación Circular- Sentido Contrario Manecillas del Reloj
N345	G00			Z52						Desplazamiento Rápido en el/los Eje(s) Indicado(s)
N350		X0	Y0							Desplazamiento Rápido en el/los Eje(s) Indicado(s)
N355	G92	X25	Y50							Establecer Nueva Coordenada de Origen en el Programa (G92)
N360	G40									Cancelar Compensación de Herramienta
N365									M5	Paro del Husillo
N370									M30	Fin del Programa, Pero Regresa al Principio del Programa

Fuente: Elaboración Propia.

4.2.14. Actualización del Curso

Se recomienda actualizarlo como mínimo cada año. Esto garantizará que los temarios y prácticas se acomoden a las necesidades de la empresa y personal. Se recomienda crear un equipo de trabajo en que se incluyan personas de diferentes niveles de conocimientos en CNC así como personas que tengan la habilidad en redactar y preparar material educativo. Con esto se logrará una mejora en el curso a medida que la empresa lo necesite. El curso debe considerarse como un documento “vivo” ya que las tecnologías en los equipos y los métodos de enseñanza van cambiando y mejorando con el tiempo.

4.3. VENTAJAS Y DESVENTAJAS DE LA METODOLOGÍA PROPUESTA

Ventajas Técnicas:

- El personal técnico (T) y de ingeniería (I) adquirirá los conocimientos suficientes para programar máquinas de CNC utilizando para ello una mini-Fresadora y mini-Torno para no interrumpir labores de producción en la planta
- El personal (T) e (I) tendrán la habilidad de calcular velocidades y avances
- El personal (T), (I) y gerencia (G) tendrán la habilidad de entender la estructura básica de programas del CNC
- El personal tendrá una visión general en el aprovechamiento del equipo y de las herramientas de corte
- El Técnico podrá minimizar tiempos de cambio de modelo en los equipos

Desventajas Técnicas:

- El personal encargado de desarrollar el curso consumirá muchas horas la primera vez
- El personal (T), (I) y (G) desatenderán sus labores cotidianas
- Una vez que el personal (T) e (I) hayan aprendido el CNC en la empresa estos podrían buscar otro empleo mas renumerado

Ventajas Administrativas:

- El supervisor de producción tendrá la libertad de asignar el trabajo a cualquier Técnico
- El personal será más efectivo y eficiente en su trabajo ya que entenderá la programación y la operación del equipo
- Entre Técnicos se minimizarán variaciones en la ejecución del mismo trabajo
- La calidad de las piezas se elevará considerablemente por la reducción de piezas de rechazo en los procesos. **La efectividad del entrenamiento se medirá por este índice en el tiempo.**
- La productividad se elevará ya que los tiempos muertos se minimizarán debido a que el personal podrá resolver problemas de programación. **La efectividad del entrenamiento se medirá por este otro índice en el tiempo.**

Desventajas Administrativas:

- Existe la posibilidad de que se requiera emplear una persona, experta en elaboración de cursos, de tiempo completo por un determinado tiempo para desarrollar el curso en la empresa
- Para algunos empleados en la planta de producción habrá más requisitos para subir de puesto u para obtener mejores salarios
- Si la empresa no cuenta con un departamento de capacitación, se tendrá que crear uno

4.4. COSTOS DE CAPACITACIÓN

El costo de los cursos es otro factor que considero obliga a las empresas a crear sus propios programas de entrenamiento en CNC. Esta metodología propuesta ayudará a las empresas a contar con una guía para desarrollar sus propios temas de CNC y así ahorrar en lo posible en el entrenamiento de su personal.

Para tener una idea de los costos de los cursos de programación de CNC en dos empresas dedicadas a este ramo en los Estados Unidos de Norteamérica se enuncian los siguientes:

a) Un curso de dos días costaría como mínimo \$2,500.00 dólares⁸¹

b) Otro curso de cuatro días llamado “G-Code programming” le costaría a la empresa la cantidad de \$1,580.00 dólares⁸² por persona esto sin incluir transportación, hospedaje y alimentos. Cabe mencionar que estos cursos no cubren la práctica en equipos de CNC.

Otra fuente muy importante en donde se analizan los costos asociados del entrenamiento del personal se analizan en el libro “**Tool and Manufacturing Engineers Handbook Knowledge Base**”, capítulo 4 “Continuous Improvement and Training”, páginas 4-1 a 4-11, 1998, editado por la Sociedad de Ingenieros de Manufactura o “Society of Manufacturing Engineers” (SME) en donde explica en detalle las ventajas que las empresas adquieren al entrenar a su personal.

A manera de ejemplo y para ver el costo de enviar a una persona a los Estados Unidos de Norteamérica para tomar un curso de programación, supongamos lo siguiente:

Nuestra empresa metalmecánica se localiza en la Ciudad de México la cual adquirió por primera vez un equipo de CNC. Uno de los Técnicos deberá tomar el curso en la ciudad de Detroit en el estado de Michigan. Los costos asociados de enviarlo serían los siguientes (precios de acuerdo al año 2008 en los E.U.A.):

- Curso Teórico de CNC: \$2,000.00 USD por dos días
- Hospedaje: \$180.00 USD por dos días
- Desayuno: incluido en el hospedaje
- Almuerzo: incluido en la Empresa que suministra el curso
- Cena: \$30.00 USD por dos días
- Renta de automóvil: \$120.00 USD por dos días
- Gasolina: \$30.00 USD por dos días
- Transportación aérea: \$500.00 viaje redondo y entre semana

⁸¹ Industrial Machinery Co. **CNC In-House Training**. Consultada en noviembre de 2007.

<http://industrialmachinery.com/store/index.php?main_page=page&id=5&chapter=5&zenid=354d4847d6c45eec8c9d7200e55bef69>

⁸² Training Brochure 2008 Class Schedule. **Fanuc Programming**. Consultada en noviembre de 2007.

<http://cs24i.fanucamerica.com/fa_training/training_home.asp>

A la empresa le costaría en total la cantidad de \$2,860.00 USD por una persona y cuatro días fuera de la empresa ya que se incluye dos días de viaje.

CONCLUSIONES

- ❖ La capacitación en control numérico computarizado (CNC) del personal en la industria metalmecánica es de vital importancia ya que tiene el objetivo de utilizar de la mejor manera la maquinaria con CNC y sobre todo para incrementar la productividad y disminuir piezas de rechazo dentro de la empresa.
- ❖ La metodología desarrollada servirá de base al departamento de recursos humanos que desee coordinarse con los ingenieros para una implementación de un curso de CNC más estructurado y sustancioso; también servirá para aquellos que tengan un mínimo de conocimiento en CNC para elaborar algunos cursos básicos y sencillos.
- ❖ Con la utilización de la tecnología del CNC, se ha reducido considerablemente el tiempo en la manufactura de nuevos productos desde su concepción hasta su fabricación.
- ❖ La humanidad, se ha beneficiado con la aplicación del CNC, ya que la calidad y variedad de los productos que se pueden fabricar se ha incrementado considerablemente cubriendo sin problemas la demanda del consumidor y con precios competitivos.
- ❖ Los beneficios de los cursos de capacitación en CNC, se reflejarán en: la reducción de accidentes personales, reducción de tiempos muertos en los procesos de maquinado, omisión de colisiones entre dispositivos de sujeción y máquina-herramienta, una mejor optimización de los equipos, etc.

Recomendaciones:

- 1- Los talleres que cuentan con equipos de CNC deben contar como mínimo con un curso básico de capacitación para sus empleados

- 2- Los centros de estudio como la UPIICSA-IPN deben dedicarse más al CNC y apoyar en el entrenamiento del personal en todos los niveles a la industria metalmeccánica
- 3- Los centros de estudio deben promover y organizar competencias entre los estudiantes en el área de CNC con proyectos pequeños de fabricación aplicando el Diseño y Manufactura Computarizados (CAD/CAM). Esta actividad debe llevarse a cabo por lo menos una vez al año a nivel institución educativa local y cada dos años a nivel de instituciones educativas en toda la República Mexicana. Esto tiene la finalidad de crear competitividad y creatividad entre los estudiantes en este ramo.
- 4- En virtud de no haber contado con el tiempo suficiente para hacer un desarrollo mas completo de la metodología planteada considero pertinente profundizar en la tecnología de los procesos de corte que conlleve a una mejor explotación de la maquinaria y herramientas de corte modernos.

BIBLIOGRAFÍA

- Asai, K., Takashima, S. y P.R. Edwards. **Manufacturing Automation Systems and CIM Factories**. Editorial Chapman & Hall. London. 1994.
- Baumeister III, Theodore, Avallone, Eugene A., Baumeister, Theodore. **Manual del Ingeniero Mecánico**. Editorial McGraw Hill. 8va. Edición (2nda. Edición en Español). Mexico, D.F. 1982.
- Beard, Tom. "How Shops Are Programming." **Modern Machine Shop**. April 1994.
- Boothroyd, Geoffrey. **Fundamentos del Corte de Metales y de las Máquinas-Herramienta**. Editorial McGraw-Hill Latinoamericana, S.A. Mexico, D.F. 1978.
- Catálogo de Materias**. Lansing Community College (LCC). Michigan, 1994
- Cincinnati Milacron 3 Axis -Programming and Operation Manual**. FANUC AMERICA Corporation. **Custom Macro B Programming Course**. USA. 2006.
- Genest, David H. "Integrating Quality With Manufacturing." **Modern Machine Shop**. April 1992
- Godfrey, Alan e Israelsson, John. "Optimize Your Machining Processes." **Modern Machine Shop**. April 1999.
- INDRAMAT -CNC **Programming Reference Manual**. Publication # IAE74763. Rev. P2. 7/93. USA. 1993.
- Indramat Quick Reference Guide**. EMAG-USA
- Jonathan, Su-Chen Lin. **CNC: From Programming to Networking**. Editorial Thomson Delmar. USA. 1994.
- Kief, Hans B. **CNC for Industry**. Editorial Hanser Gardner Publications. Cincinnati, OH. 1999.
- Krar, Steve F. y Oswald, John.William. **Technology of Machine Tools**. Editorial McGraw-Hill. 4th Edition. USA. 1990.
- Luggen, William W. **Fundamentals of Numerical Control**. Delmar Publishers Inc. USA. 1984.
- Madison, James. **CNC Machining Handbook**. Publisher Industrial Press Inc. N.Y., USA. 1996.
- News & Information for Users of CAMAX Products. **MAXIMIZE**. 1st Quarter. 1996.
- Notas del Curso. **Fundamentos de Programación en CNC**. Lansing Community College (LCC). Michigan. 1994.
- Notas **EMAG Curso de CNC**. EMAG-USA – Delphi.
- Oberg, Erik. Jones, Frankling D., Horton, Holbrook L. y And Ryffel, Henry H. **Machinery's Handbook**. Editorial Industrial Press Inc. 24th Edition. N.Y. 1992.
- Olesten, Nils O. **Numerical Control**. October 21. 1970.
- Olivo, P. Thomas. **Blueprinting Reading and Technical Sketching for Industry**. Delmar Publishers Inc. 2nd Edition. USA. 1992.
- Rehg, James A. & Kraebber, Henry W. **Computer-Integrated Manufacturing**. Editorial Prentice Hall. 2nd Edition. June 5th 2000.

Society of Manufacturing Engineers (SME). **Basic Principles of CNC**. Technical Paper #MS92-184.

Temario del Curso In00884. **Sistemas Integrados de Manufactura**. ITESM. México.

VSC-400 Vertical Lathe Manual de Programación. EMAG-USA

VSC-400 Vertical Lathe Manual del Operador. EMAG-USA

De la Internet:

About Abrasivejet **About Abrasivejet Machining**. OMAX Precision Abrasive Waterjet Systems.

Consultada en noviembre de 2006. <http://www.omax.com/about_abrasive.php>.

CAD/CAM. Marketing Terms. Consultada en enero de 2007 <<http://www.answers.com/topic/cad-cam>>.

ESAB Cutting Systems. Consultada en noviembre de 2006. <<http://www.esabcutting.com/>>.

Industrial Machinery Co. CNC In-House Training. Consultada en noviembre de 2007.

<http://industrialmachinery.com/store/index.php?main_page=page&id=5&chapter=5&zenid=354d4847d6c45eec8c9d7200e55bef69>.

Manufactura Integrada por Computadora. **CIM Definición**. Consultada en noviembre de 2007.

<<http://html.rincondelvago.com/manufactura-integrada-por-computadora.html>>.

Mateos, S., Rico, J.C., Cuesta, E., y Valiño, G. **Aspectos Tecnológicos del Punzonado**. Departamento de Ingeniería de Fabricación. Universidad de Oviedo. Consultada en octubre de 2006.

<<http://www.metalunivers.com/Tecnica/Hemeroteca/ArticuloCompleto.asp?ID=1826>>.

Mike Rehmus. **The Edge Finder**. Rev. 4 de Diciembre 1996. Consultada en febrero de 2007.

<<http://www.metalwebnews.com/howto/edge/edgefind.html>>.

Pérez, Alberdi y Lopez. **Introducción al Mecanizado de Alta Velocidad**. Consultada en noviembre de 2006.

<<http://www.metalunivers.com/Arees/altavelo/tutorial/tekniker/indtroduccion.htm>>.

Práctica, En la. La Presencia Amigable de TRUMPF es la Clave para el Crecimiento de ebm-papst.

Noticias e Informes de Grupo TRUMPF. Edición Norteamericana. Publicación Express. Otoño

2004. Consultada en noviembre de 2006. <<http://www.us.trumpf.com/31.img-cust/TE-S04-Sp.pdf>>.

Prensas plegadoras: se fabrican bajo estrictos controles para asegurar la máxima fiabilidad. **Prensas**

plegadoras Durma CNC. Consultada en noviembre de 2006.

<<http://www.interempresas.net/MetalMecanica/FeriaVirtual/ResenyaProducto.asp?R=1307>>.

Training Brochure 2008 Class Schedule. **Fanuc Programming**. Consultada en noviembre de 2007.

<http://cs24i.fanucamerica.com/fa_training/training_home.asp>.

What is Parametric Programming? CNC Concepts, Inc. Consultada en enero de 2007.

<<http://www.cncci.com/resources/parametric%20programming.htm>>.

Referencias.

Libros:

- Alamonte, C. y González, M. **Tecnología Aplicada en la Capacitación de las Máquinas Herramientas.** Editorial HP. 2° Edición. México. Septiembre de 1978.
- Arriaga Segundo, Leobardo. **Las Máquinas Herramienta con Control Numérico.** Editorial IPN. México. 1990.
- Asai, K., Takashima, S. y P.R. Edwards. **Manufacturing Automation Systems and CIM Factories.** Editorial Chapman & Hall. London. 1994.
- Gerling, Heinrich. **Alrededor de las Maquinas-Herramientas.** Editorial Reverté, S.A. 2° Edición. España. 1981.
- Gonzalez Nuñez, Juan. **El Control Numérico en la Máquinas-Herramientas.** Compañía Editorial Continental, S.A. de C.V. Segunda Edición. México. 1990.
- Leatham-Jones, Barry. **Introduction to CNC.** Ed. John Wiley & Sons, Inc. USA. 1986.
- Lynch, Mike. **Computer Numerical Control for Machining.** Editorial McGraw-Hill, Inc. N.Y. November 1991.
- Madison, James. **CNC Machining Handbook.** Publisher Industrial Press Inc. N.Y., USA. 1996
- Ramos W., J. y Villanueva P., S.A. **Manual de Métodos de Fabricación.** Laboratorio de Procesos de Manufactura U.P. Zacatenco. Editorial ESIME-IPN. México. 1980.
- Rehg, James A. & Kraebber, Henry W. **Computer-Integrated Manufacturing.** Editorial Prentice Hall. 2nd Edition. June 5th 2000.
- Society of Manufacturing Engineers (SME). **Fundamentals of Manufacturing.** Editorial SME. Dearbon, MI. USA. 1993.
- Warren S., Seames. **Computer Numerical Control: Concepts and Programming.** Delmar Publishers, 3rd Edition. 1995.

Revistas Periódicas:

- American Machinist.** Editorial Penton Publication. Varias.
- CNC WEST.** Publicacion bimestral. Editorial Arnold Publication, Inc. California. Varias.
- Cutting Tool Engineering.** Varias.
- Modern Machine Shop.** Varias
- Society of Manufacturing Engineers (SME). **Manufacturing Engineering.** Varias.

Manuales:

- Machinability Data Center. **Machining Data Handbook.** Institute of Advanced Manufacturing Sciences, Inc. 3rd Edition. Volume Two. Cincinnati, Ohio. USA. 1980.



Continuous Improvement and Training. **Tool and Manufacturing Engineers Handbook Knowledge**

Base. Capitulo 4. paginas 4-1 a 4-11. 1998. Society of Manufacturing Engineers.

Manuales de Máquinas de CNC:

DAEWOO. **CNC Program.** Training Manual. Mechatropia.

FANUC Series 16i/18i/160i/180i/160is/180is-MA. **Operator's Manual.** B-63014EN/02

Haas Automation, Inc. **Programming and Operation Manual.** VF Series Vertical Machining Center.

USA. November 1993.

ANEXO A

Lista de Códigos G & M para el Centro de Maquinado Cincinnati Milacron de 3-ejes

Códigos G

- G0 Desplazamiento rápido
- G1 Interpolación Lineal
- G2 Interpolación Circular -sentido de las manecillas del reloj
- G3 Interpolación Circular -sentido contrario a las manecillas del reloj
- G4 Pausa Temporal
- G17 Selección de Plano-XY
- G18 Selección de Plano-ZX
- G19 Selección de Plano-YZ
- G30 Cancela los Ejes de Simetría
- G31 Eje de Simetría en Y
- G32 Eje de Simetría en X
- G40 Cancela compensación de herramienta
- G41 Compensación de herramienta a la Izquierda
- G42 Compensación de herramienta a la Derecha
- G70 Programación en pulgadas
- G71 Programación en milímetros
- G73 Cambio de Escala
- G74 Interpolación Circular en un Sólo Cuadrante
- G75 Interpolación Circular en Múltiple Cuadrantes
- G77 Careado
- G78 Fresado de Ranuras
- G79 Fresado de Orificios Internos
- G80 Cancela Ciclos Fijos o Repetitivos
- G81 Ciclo Fijo de Taladrado
- G82 Ciclo Fijo de Taladrado con Pausa al Fondo

-
- G83 Ciclo Fijo de Taladrado de Orificios Profundos con Desahogo de Viruta
 - G84 Ciclo Fijo de Machueado
 - G85 Ciclo Fijo de Taladrado sin Desahogo de Viruta
 - G86 Ciclo Fijo de Mandrinado con Husillo Parado al Retraer Herramienta del Orificio
 - G89 Ciclo Fijo de Mandrinado con Pausa
 - G90 Coordenadas en Modo Absoluto
 - G91 Coordenadas en Modo Incremental
 - G92 Posición Predeterminada en modo Absoluto

Códigos M

- M0 Paro de Programa
- M1 Paro Opcional del Programa
- M2 Fin de programa
- M3 Inicia Husillo – dirección de rotación en sentido manecillas del reloj
- M4 Inicia Husillo – dirección de rotación en sentido contrario manecillas del reloj
- M5 Paro del husillo
- M6 Cambio de Herramienta
- M8 Encendido de refrigerante
- M9 Apagado de refrigerante

Fin de **ANEXO A**

ANEXO B

Guía General para la Elaboración de un Programa de Control Numérico Computarizado Desarrollado por el Autor

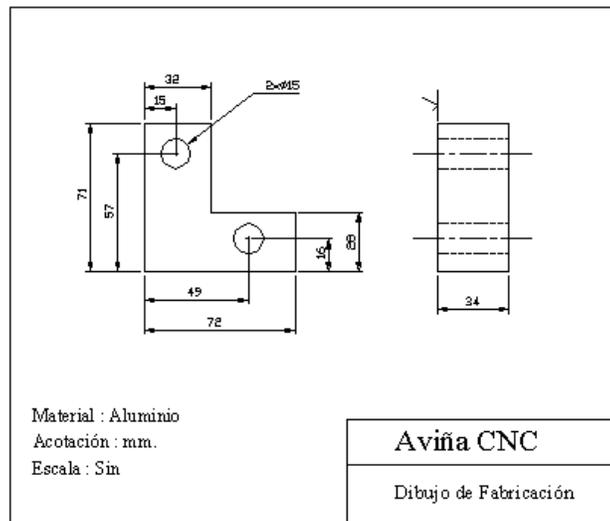
Cabe mencionar que esta guía tiene la finalidad de presentar los pasos en general necesarios para la elaboración de un programa de CNC desde el dibujo de fabricación hasta la elaboración de la primera pieza de trabajo en la máquina. El instructor puede agregar/eliminar cualquiera de estos pasos si así lo desea.

El programador de máquinas deberá decidir que equipos se utilizarán para la manufactura de acuerdo a las dimensiones, tolerancias, material y formas de la pieza.

B.1. Dibujo de Fabricación

El programador necesita analizar el dibujo de fabricación con detenimiento para conocer el tipo de material de la pieza, tolerancias en las dimensiones, acabados superficiales, formas de la pieza si son planas, de revolución, etc. para luego determinar el mejor proceso de maquinado. El programador de CNC debe ser capaz de leer e interpretar los dibujos así como las tolerancias dimensionales y geométricas o “Geometric Dimensioning and Tolerancing” (GD&T).

Figura B.1. Ejemplo Dibujo de Fabricación

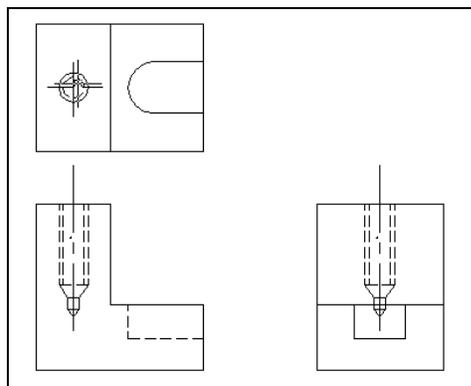


Fuente: Elaboración Propia.

B.2. Máquina

Equipo a utilizar. El programador al estar analizando el dibujo de fabricación debe formarse una visión mental de los posibles procesos de manufactura que va a utilizar como por ejemplo, los procesos de fresado, torneado, rectificando, etc. El programador decidirá, la(s) máquina(s) apropiada(s) para la manufactura de la pieza. Si la parte a fabricar tiene superficies planas, agujeros, roscas, ranuras, etc. se utilizara un Centro de Maquinado. Véase figuras siguientes:

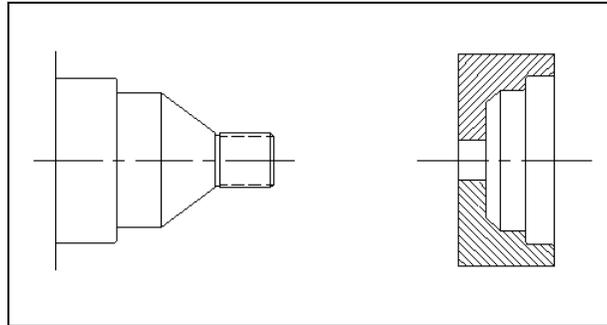
Figura B.2. Pieza para Mecanizar en Centro de Maquinado



Fuente: Elaboración Propia.

Si las partes son de forma de revolución con diámetros exteriores e interiores, roscas exteriores e interiores y contornos simétricos se empleará un Centro de Torno.

Figura B.3. Pieza para Mecanizar en Centro de Torno

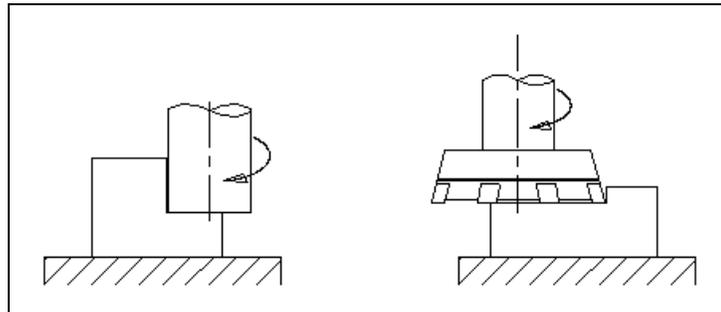


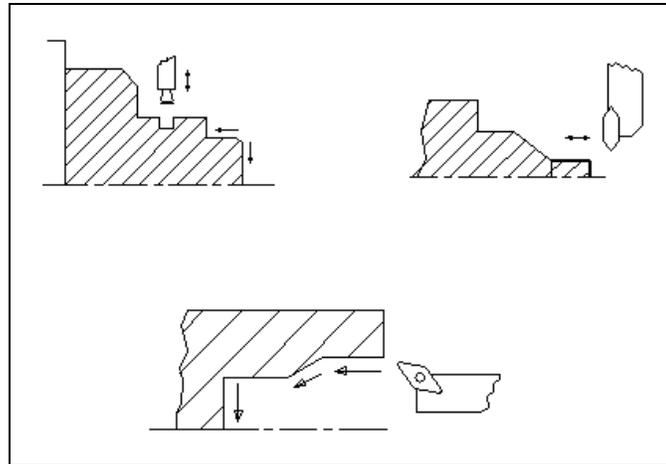
Fuente: Elaboración Propia.

B.3. Herramienta

El programador debe seleccionar las herramientas de corte adecuadas de acuerdo al material de la pieza y el proceso de maquinado a realizar. Véase figuras siguientes como ejemplo.

Figura B.4. Herramientas a Utilizar Dependiendo del Proceso. Fresado y Torno



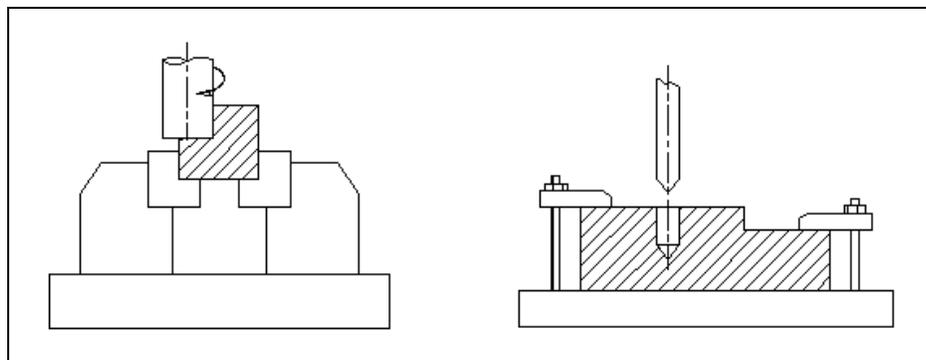


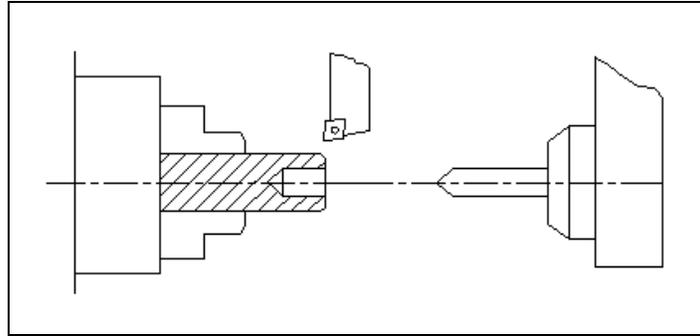
Fuente: Elaboración Propia.

B.4. Dispositivos de Sujeción

El programador deberá seleccionar los dispositivos adecuados de acuerdo a la forma de la pieza, tolerancias requeridas, secuencia de operaciones y trayectoria de la herramienta. El programador debe asegurarse que no exista interferencia entre el dispositivo y la herramienta para evitar colisiones. Algunos de estos dispositivos de sujeción pueden ser el plato de tres y cuatro mordazas, el tornillo de banco, palancas articuladas, mesas de trabajo, etc.

Figura B.5. Dispositivos de Sujeción de Acuerdo al Proceso





Fuente: Elaboración Propia.

B.5. Cálculo de Velocidades y Avances

El programador debe tener la habilidad de definir avances y velocidades de acuerdo a material de la pieza y herramienta a utilizar en el proceso. Las siguientes fórmulas, generalmente se usan para determinar la velocidad de corte:

$$V_c = (3.1416 * D * N) / 1000 \quad \text{ó} \quad V_c = (D * N) / 318 \quad (\text{versión corta})$$

$$V_c = (3.1416 * D * N) / 12 \quad \text{ó} \quad V_c = (D * N) / 4 \quad (\text{versión corta})$$

Donde: V_c = Velocidad de Corte o velocidad superficial metros/min. ó pies/min.

D = Diámetro de la parte en rotación en milímetros (mm.) ó pulgadas

Diámetro de Herramienta para Centros de maquinado

Diámetro de la pieza de trabajo en Centros de torneado

N = RPM de la pieza de trabajo o de la herramienta que gira.

La velocidad de corte del material que se va a maquinar, generalmente es un dato conocido. La información se puede obtener de manuales de la máquina, manuales técnicos de maquinado, en secciones técnicas de folletos del fabricante de insertos o por experiencia del montador u operador. Puesto que la velocidad de las máquinas-herramienta está especificada en Revoluciones por Minuto (RPM), las siguientes formulas se pueden emplear:

$$N = (1000 * V_c) / (3.1416 * D) \quad \text{ó} \quad N = (318 * V_c) / D \quad (\text{versión corta})$$

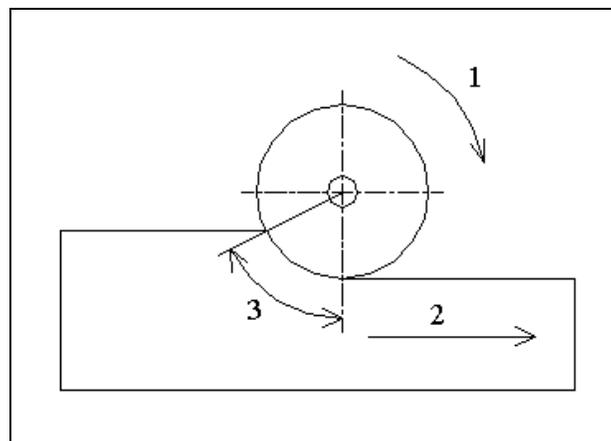
$$N = (12 * V_c) / (3.1416 * D) \quad \text{ó} \quad N = (4 * V_c) / D \quad (\text{versión corta})$$

El programador debe conocer estas fórmulas para obtener un mecanizado óptimo en el proceso. A continuación se presenta de una forma visual los procesos básicos de fresado y torneado.

Proceso del Trabajo en el Fresado.

- (1) Movimiento Principal
- (2) Movimiento de avance de la mesa
- (3) Recorrido de trabajo de un diente de fresa

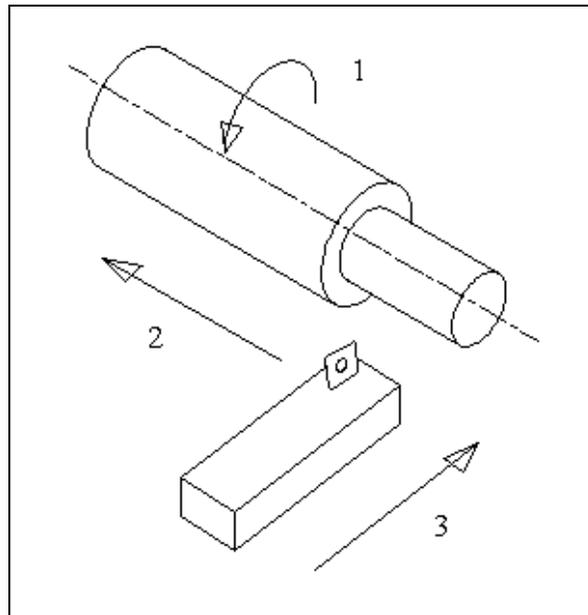
Figura B.6. Proceso de Fresado



Fuente: Elaboración Propia.

Proceso del Trabajo en el Torneado.

- (1) Movimiento Principal
- (2) Movimiento de avance de la herramienta
- (3) Movimiento de profundidad de corte

Figura B.7. Proceso de Torneado


Fuente: Elaboración Propia.

B.6. Selección del Origen (Cero) en el Programa de CNC

La selección del origen, programa cero, en la pieza de trabajo es de suma importancia para la ejecución óptima del programa, montaje y puesta en marcha en un equipo de CNC. Este se debe escoger de tal manera que las coordenadas en el programa correspondan en lo posible a las dimensiones del dibujo de fabricación. Esto evitará posibles confusiones tanto al operador como al montador de los equipos cuando se tenga que hacer ajustes en la máquina.

B.7. Escribir el Programa de CNC

El programador debe tener conocimientos de las funciones o códigos G y M para la programación, computación elemental, así como los elementos matemáticos necesarios para el cálculo de la trayectoria de la herramienta si esto se requiere. En la actualidad la mayoría de las empresas en la industria metalmeccánica cuentan con sistemas CAD/CAM para la generación de programas de CNC. Estos sistemas no siempre generan el programa como el equipo lo va a leer, por lo tanto el programador debe editar los programas.

G01	M00
G02	M01
G03	M08, etc.

B.8. Transferencia del Programa a la Máquina

A continuación se describen los pasos en general para transferir un programa de CNC a la máquina de un panel de control que se tomó como ejemplo.

- Seleccionar la perilla a modo de “EDIT”
- Presionar la tecla hasta que la etiqueta “Program” aparezca
- Presionar la tecla debajo de “Program” hasta que el programa aparezca en la pantalla
- Conecte el cable donde se tiene el programa de CNC a la máquina
- Inserte la letra “O” y el número del programa que se va a transferir
- Presione la tecla hasta que “Read” aparezca en la parte inferior de la pantalla
- Presione la tecla debajo de “Read”
- Enviar el programa desde la computadora

B.9. Verificación del Programa en la Máquina

Después de la elaboración del programa de CNC, el programador, montador u operador deberá verificarlo en la máquina. Aquí se señalan los pasos a seguir para la verificación y ejecución de un programa nuevo⁸³:

B.9.1. Máquina sin Movimiento Físico de sus Ejes

Esta opción permite a la unidad de control de la máquina o “Machine Control Unit” (MCU) buscar en el programa errores de formato y sintaxis. Una vez que el programa y la información adicional necesaria como el “Origen del Programa”, “Compensación de Herramientas”, etc. se ha cargado, el programador/operario selecciona la perilla o “switch” en posición de encendido para activar esta opción. El

⁸³ Madison pp.362-364.

programa se ejecutará rápidamente a través de los bloques si la perilla del “Control de Variación de Avances” o “Feed Override” se selecciona a su máximo. Durante la ejecución del programa, el husillo es activado así como el cambio de herramientas mientras la Unidad de Control simula la ejecución del programa. Sin embargo, los ejes de la máquina (X, Y, Z, etc.) no se moverán. El Control generara una alarma y parara el programa solo si existe un error de formato y sintaxis.

B.9.2. Corrida en Seco o “Dry Run”

Una vez que el ciclo de máquina sin movimiento físico de los ejes ha sido satisfactoriamente terminado, el programador/operario estará listo para ejecutar el programa con todos los movimientos de los ejes de la máquina. El propósito de llevar a cabo esta opción es para verificar posibles problemas de movimientos y evitar posible colisiones. Los dispositivos de sujeción deberían estar en posición y sin la pieza de trabajo en la posición de maquinado. Los desplazamientos de todos los ejes en la máquina se ejecutarán de un modo muy rápido (sin diferenciar los comandos de corte de la pieza con avance y los movimientos de desplazamiento rápido de la máquina) por lo que el programador/operario debe tener muy en cuenta de presionar el botón de “Emergencia” o “Emergency Stop” en caso de posible colisión. Para usar esta modalidad la perilla de “Corrida en Seco” o “Dry Run” debe estar en la posición de encendido.

B.9.3. Ejecución del Programa sin Corte de la Pieza de Trabajo

El programador/operario debería ejecutar siempre esta opción sin la pieza de trabajo en el dispositivo de sujeción en la máquina utilizando la perilla de Corrida en Seco o en posición de apagado. Con esta modalidad, los desplazamientos de los ejes en la máquina se moverán de acuerdo a lo programado. Esto quiere decir que los avances de corte y velocidad así como los desplazamientos rápidos se realizarán en una forma normal como se vería si se estuviera mecanizando la pieza de trabajo. Aquí se podrán detectar posibles errores de programación en los avances y desplazamientos rápidos que pudieran presentarse durante el mecanizado. En algunos casos esta condición se puede utilizar para verificar el tiempo de maquinado.

B.9.4. Maquinado de la Primer Pieza de Trabajo

Muchos programadores de CNC programan las herramientas con un desplazamiento rápido para acercarse a la superficie de la pieza de trabajo antes de iniciar el maquinado. Durante los procedimientos de verificación, el programador/operario debe tener precaución cuando la herramienta se acerca por primera vez a la superficie de la pieza. De esta manera la perilla de “Control de Variación de Avances” o “Feed Override”, debería fijarse a un mínimo para que se puedan detectar posibles errores de movimiento. También se debe activar la opción de la “Ejecución de Bloque por Bloque” o “Single Block” para cada una de las herramientas cuando estas se aproximan a la pieza de trabajo y durante desplazamientos rápidos en nuevas superficies maquinadas. Con esta modalidad se podrán evitar colisiones en superficies maquinadas y no maquinadas.

Fin de **ANEXO B**