



INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL

**ESCUELA SUPERIOR DE INGENIERÍA MECÁNICA Y ELÉCTRICA
UNIDAD AZCAPOTZALCO
SECCIÓN DE ESTUDIOS DE POSGRADO E INVESTIGACIÓN**

**Desarrollo e implementación de un postprocesador
generador de código de control numérico para un
centro de maquinado de uso industrial**

TESIS
QUE PARA OBTENER EL GRADO DE
MAESTRO EN
INGENIERÍA DE MANUFACTURA

PRESENTA:

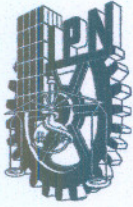
ING. LUIS MOSQUEDA REA

DIRIGIDA POR:

**DR. IGNACIO ADRIÁN ROMERO
DRA. OLIVIA GUEVARA GALINDO**

MÉXICO, D.F. 2009





INSTITUTO POLITÉCNICO NACIONAL
SECRETARÍA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

SIP-14

ACTA DE REVISIÓN DE TESIS

En la Ciudad de México D.F. siendo las 12:00 horas del día 23 del mes de Noviembre del 2009 se reunieron los miembros de la Comisión Revisora de Tesis designada por el Colegio de Profesores de Estudios de Posgrado e Investigación de SEPI-ESIME UA para examinar la tesis de titulada:

"Desarrollo e implementación de un postprocesador generador de código de control numérico para un centro de maquinado de uso industrial"

Presentada por el alumno:

MOSQUEDA

Apellido paterno

REA

Apellido materno

LUIS

Nombre(s)

Con registro:

B	0	6	1	0	2	6
---	---	---	---	---	---	---

Aspirante al grado de: MAESTRO EN INGENIERÍA DE MANUFACTURA

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

LA COMISIÓN REVISORA

Presidente

Dr. Jaime Pacheco Martínez

Director de Tesis
Primer Vocal

Dr. Ignacio Adrián Romero

Secretario

M.C. José Rubén Aguilar Sánchez

Director de Tesis
Segunda Vocal

Dra. Olivia Guevara Galindo

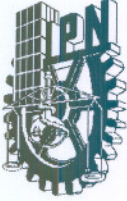
Tercer Vocal

Dr. Ulises Figueroa López

EL PRESIDENTE DEL COLEGIO

Dr. Jaime Pacheco Martínez





INSTITUTO POLITECNICO NACIONAL
SECRETARIA DE INVESTIGACIÓN Y POSGRADO

CARTA DE CESIÓN DE DERECHOS

En la Ciudad de México, Distrito Federal, el día 30 del mes de Noviembre del año 2009, el que suscribe **Ing. Luis Mosqueda Rea**, alumno del programa de **Maestría en Ingeniería de Manufactura**, con número de registro B061026, adscrito a la sección de estudios de posgrado e investigación de la ESIME Unidad Azcapotzalco, manifiesta que es autor intelectual del presente trabajo de tesis, bajo la dirección de : **Dr. Ignacio Adrián Romero** y **Dra. Olivia Guevara Galindo**.

Cede los derechos del trabajo titulado: *Desarrollo e implementación de un postprocesador generador de código de control numérico para un centro de maquinado de uso industrial*, al Instituto Politécnico Nacional para su difusión, con fines académicos y de investigación.

Los usuarios de la investigación no deben reproducir el contenido textual, gráficas o datos del trabajo sin el permiso expreso del autor y/o director del trabajo.

Si el permiso se otorga, el usuario deberá dar el agradecimiento correspondiente y citar la fuente del mismo.

Atentamente

Ing. Luis Mosqueda Rea

RESUMEN

RESUMEN

En este trabajo se presenta mediante la aplicación de cinco fases, el desarrollo, ejecución y aplicación de un postprocesador utilizado en la manufactura automatizada, dicha herramienta es un requisito indispensable para obtener código de control numérico ya que entrega el programa dependiendo de las necesidades propias del armario de control.

Se estudia el desarrollo de un caso práctico de aplicación para la validación del postprocesador propuesto, el caso consta de cinco fases, las tres primeras son la ingeniería inversa, el modelado en CAD y las trayectorias de maquinado en CAM, para posteriormente en la fase cuatro desarrollar e implementar el postprocesador que generará el código de maquinado, ya con el programa de maquinado, en la fase cinco se lleva a cabo la manufactura en el CNC correspondiente. De las dos primeras fases se obtiene un modelo virtual de una botella que será preparada para su maquinado en la fase tres, en esta misma fase se genera el programa de control numérico a partir del postprocesador desarrollado en la fase cuatro.

La importancia del postprocesador radica en que se tiene que elaborar de forma exclusiva para cada armario de control, ya que aun cuando la programación ISO es estandarizada varía el formato y algunas funciones de movimiento de una máquina a otra provocando errores de ejecución en la máquina de CNC.

El postprocesador se ubica dentro del software de manufactura asistida y una vez que las estrategias de maquinado satisfacen el requisito geométrico y dimensional se debe llamar al postprocesador, el cual se encarga de convertir información de posición de herramienta en código para mover una máquina CNC. Por lo tanto la salida del postprocesador es el programa de control numérico para fabricar el componente previamente diseñado, este programa es enviado al CNC por medio de una comunicación serial que permite el envío de información por lotes, es decir, ejecuta cierta cantidad de información y posteriormente la desecha para permitir una nueva carga.

Finalmente se analizan los parámetros de corte para garantizar una alta remoción de viruta en el menor tiempo posible, garantizando movimientos controlados al utilizar un postprocesador personalizado.

RESUMEN

ABSTRACT

In this paper, through application of five phases, development, implementation and application of a post-processor used in automated manufacturing, the tool is a prerequisite for numerical control code and delivering the program depending on the needs of the control cabinet.

It studies the development of a practical case of application for validation of the proposed postprocessor, the case consists of five phases, the first three are reverse engineering, CAD modeling and CAM machining paths, and later in stage four develop and implement the postprocessor to generate machining code and the machining program, in phase five is done in the CNC manufacturing. In the first two phases we obtain a virtual model of a bottle that is ready for machining in phase three, at the same stage generates the numerical control program from the postprocessor developed in phase four.

The importance of the postprocessor is that it needs to develop exclusively for each control cabinet, because even though the programming is standard ISO format varies and some features of movement from one machine to another thereby resulting in execution in the machine CNC.

The postprocessor is located within the aided manufacturing software and once machining strategies satisfy the geometric and dimensional requirement must call the postprocessor, which is responsible for converting information of position code to move a tool in a CNC machine. Therefore the output of the postprocessor is the numerical control program to make the previously designed component, this program is sent to the CNC via a serial communication that allows the sending of information by batch, so that running a certain amount of information and subsequently discarded to allow a new charge.

Finally studies the cutting parameters to ensure high chip removal in the shortest possible time, ensuring controlled movements using a custom postprocessor.

INDICE DE FIGURAS

ÍNDICE DE FIGURAS

FIGURA		PÁGINA
Figura 1.1	Molde de inyección	2
Figura 1.2	Molde de termoformado	2
Figura 1.3	Molde de soplado	2
Figura 2.1	Principio de triangulación	18
Figura 2.2	Nube de puntos en ASCII	18
Figura 2.3	Modelo en alambre	20
Figura 2.4	Construcción de superficie	20
Figura 2.5	Modelo en superficies	21
Figura 2.6	Modelo partido	22
Figura 2.7	Cálculo de volumen en mm ³	23
Figura 2.8	Sistema coordenado	24
Figura 2.9	Herramientas para cavidades	25
Figura 2.10	Máquina de alta velocidad HSC 20 LINEAR	26
Figura 2.11(a)	Estrategias de desbaste en mastercam	27
Figura 2.11(b)	Estrategias de acabado en mastercam	27
Figura 2.12	Grados de libertad para una máquina CNC Maho 700S	28
Figura 2.13	Información general del postprocesador	29
Figura 2.14	Variables debug	30
Figura 2.15	Definición de formato	30
Figura 2.16	Asignación del formato	32
Figura 2.17	Fórmulas y ciclos	33

INDICE DE FIGURAS

Figura 2.18	Definición de strings	34
Figura 2.19	Postblocks	35
Figura 2.20	Sistema de preguntas en mastercam	36
Figura 2.21	Programa de control numérico	37
Figura 2.22	Configuración de cable RS 232C	38
Figura 2.23(a)	Herramienta de desbaste	39
Figura 2.23(b)	Herramienta de acabado	39
Figura 3.1	Digitalizado por contacto	43
Figura 3.2	Modelo de reproducción rápida	46
Figura 3.3	Modelo a partir de puntos	46
Figura 3.4	Prototipo de un mecanismo	47
Figura 3.5	Colocación de targets	51
Figura 3.6	Proceso de digitalizado	51
Figura 3.7	Nube de puntos parcial	52
Figura 3.8	Nube de puntos terminada	52
Figura 3.9	Puntos unidos al sistema de coordenadas	53
Figura 3.10	Puntos en block de notas	53
Figura 3.11	Malla poligonal sobre nube de puntos	54
Figura 3.12	Modelo en alambre	54
Figura 3.13	Modelo al 25% de avance	55
Figura 3.14	Modelo al 50% de avance	55
Figura 3.15	Modelo al 75% de avance	55
Figura 3.16	Modelo en superficies	56
Figura 3.17	Prototipo	56

INDICE DE FIGURAS

Figura 4.1	Modelo en catia	60
Figura 4.2	Definición de parámetros	63
Figura 4.3	Operaciones sobre el modelo	64
Figura 4.4	Modelo físico	65
Figura 4.5	Equipo Zscanner	66
Figura 4.6	Nube de puntos en catia	66
Figura 4.7	Nube de puntos seccionada	67
Figura 4.8	Malla poligonal para wireframe	67
Figura 4.9	Curvas base para superficies	68
Figura 4.10	Primeras superficies	68
Figura 4.11	Modelo al 75% de avance	68
Figura 4.12	Modelo virtual	69
Figura 4.13	Modelo para calcular volumen	70
Figura 4.14	Cálculo de volumen en mastercam	70
Figura 4.15	Línea de partición	72
Figura 4.16	Modelo orientado para manufactura	72
Figura 4.17	Geometría para maquinado en torno	74
Figura 4.18	Geometría para maquinado en fresadora	74
Figura 4.19	Movimientos en una máquina CNC	75
Figura 4.20	Parámetros de herramienta	79
Figura 4.21	Parámetros de superficie	80
Figura 4.22	Parámetros de desbaste	80
Figura 4.23	Parámetros de movimiento	81
Figura 4.24	Trayectorias de desbaste	81

INDICE DE FIGURAS

Figura 4.25	Librería de herramientas en mastercam	82
Figura 4.26	Relación de profundidad y avance	83
Figura 4.27	Simulación de maquinado	83
Figura 5.1	Cam-Postprocesador-Cnc	86
Figura 5.2	Estructura del archivo CL Data	87
Figura 5.3	Declaración de formato de salida	89
Figura 5.4	Programa con el formato de la fig. 5.3	89
Figura 5.5	Asignación de formato numérico en el programa CN	90
Figura 5.6	Lista de condiciones de inicio	90
Figura 5.7	Ciclos enlatados	91
Figura 5.8	Definición de strings	92
Figura 5.9	Definición de strings con target	92
Figura 5.10	String completo	93
Figura 5.11	Estructura de postblock	96
Figura 5.12	Configuración de ejes maho 700S	99
Figura 5.13	Declaración de formato para postprocesador maho	100
Figura 5.14	Formato de salida para máquina maho	101
Figura 5.15	Formato 3.3	101
Figura 5.16	Asignación de formato para postprocesador maho	102
Figura 5.17	Strings para planos de trabajo	102
Figura 5.18	Postblocks definidos por usuario	103
Figura 5.19	Postblocks predefinidos	103
Figura 6.1	Modelo físico	114
Figura 6.2	Simulación de maquinado de cavidades	114

INDICE DE FIGURAS

Figura 6.3	Protocolo de comunicación CNC – CAD/CAM	116
Figura 6.4	Porta herramientas ISO 40	117
Figura 6.5	Montaje cono porta herramienta	117
Figura 6.6	Almacén de herramientas	118
Figura 6.7	Herramienta para desbaste	118
Figura 6.8	Herramienta para acabado	119
Figura 6.9	Husillo porta herramienta	119
Figura 6.10	Calibrador de altura	120
Figura 6.11	Cero de referencia	120
Figura 6.12	Longitud de herramienta	121
Figura 6.13	Coordenada en memoria	121
Figura 6.14	Reloj indicador para centrado	122
Figura 6.15	Dispositivo de centrado	122
Figura 6.16(a)	Bloque para maquinado	123
Figura 6.16(b)	Dimensión del bloque	123
Figura 6.17	Desbaste al 5 por ciento	123
Figura 6.18	Cavidad desbastada	123
Figura 6.19	Acabado al 10 por ciento	124
Figura 6.20	Cavidad terminada	124
Figura 6.21	Cavidad terminada en CNC	124

INDICE DE TABLAS

ÍNDICE DE TABLAS		PÁGINA
TABLA		
Tabla 1.1	Costo-tolerancia en maquinado convencional	4
Tabla 1.2	Metodología utilizada en la tesis	9
Tabla 1.3	Etapas en ingeniería inversa	10
Tabla 1.4	Etapas en diseño asistido por computadora	10
Tabla 1.5	Etapas en manufactura asistida por computadora	11
Tabla 1.6	Etapas en el desarrollo del postprocesador	11
Tabla 1.7	Etapas en el maquinado CNC	12
Tabla 2.1	Contracción de moldeo en termoplásticos	23
Tabla 2.2	Datos de corte	25
Tabla 2.3	Definición de variable	31
Tabla 3.1	Fase 1, Etapa Ingeniería Inversa	40
Tabla 4.1	Fase 2, Etapas CAD	57
Tabla 4.2	Calculo de volumen con superficies	69
Tabla 4.3	Contracción de termoplásticos	71
Tabla 4.4	Fase 3, Etapas CAM	73
Tabla 4.5	Velocidad de corte	78
Tabla 4.6	Avance	78
Tabla 5.1	Fase 4, Etapas del postprocesador	85
Tabla 5.2	Sintaxis del formato numérico	89
Tabla 5.3	Funciones matemáticas del postprocesador	91
Tabla 5.4	Argumentos que forman postlines	96
Tabla 5.5	Formato de coordenadas	100
Tabla 6.1	Fase 5, Maquinado	113
Tabla 6.2	Filtrado de programa	115

INDICE GENERAL

ÍNDICE GENERAL

	PÁGINA
RESUMEN	i
ABSTRACT	ii
ÍNDICE DE FIGURAS	iii
ÍNDICE DE TABLAS	viii
GLOSARIO	xiv

CAPITULO I INTRODUCCIÓN

1.1	INTRODUCCIÓN	1
1.2	ANTECEDENTES	3
1.3	JUSTIFICACIÓN	5
	1.3.1 PUNTO DE VISTA TECNOLÓGICO	5
	1.3.2 PUNTO DE VISTA ECONÓMICO	6
	1.3.3 PUNTO DE VISTA SOCIAL	7
1.4	OBJETIVOS	8
	1.4.1 OBJETIVO GENERAL	8
	1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS	8
1.5	ALCANCE DE LA TESIS	8
1.6	METODOLOGÍA PROPUESTA	9
	1.6.1 FASE 1 INGENIERÍA INVERSA	10
	1.6.2 FASE 2 DISEÑO ASISTIDO POR COMPUTADORA	10
	1.6.3 FASE 3 MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA	11
	1.6.4 FASE 4 DESARROLLO DEL POSTPROCESADOR	11
	1.6.5 FASE 5 COMUNICACIÓN Y MAQUINADO	12
1.7	ORGANIZACIÓN DE LA TESIS	12

CAPITULO II ESTADO DEL ARTE

2.1	INTRODUCCIÓN	14
2.2	OPERACIONES DE LA INGENIERÍA INVERSA	17
	2.2.1 DIGITALIZADO TRIDIMENSIONAL	17
	2.2.2 CONSTRUCCIÓN DE SUPERFICIES	19

INDICE GENERAL

2.2.3	PROTOTIPOS	20
2.3	OPERACIONES EN DISEÑO ASISTIDO	21
2.3.1	MODELO EN SUPERFICIES	21
2.3.2	LÍNEA DE PARTICIÓN	22
2.3.3	FACTOR DE CONTRACCIÓN	22
2.3.4	CÁLCULO DE VOLUMEN	23
2.3.5	ORIENTACIÓN DEL MODELO	24
2.4	OPERACIONES EN MANUFACTURA ASISTIDA	24
2.4.1	TIPO Y CANTIDAD DE HERRAMIENTAS	24
2.4.2	PARÁMETROS DE CORTE	25
2.4.3	ESTRATEGIAS DE MAQUINADO EN MASTERCAM	27
2.5	DESARROLLO DEL POSTPROCESADOR	28
2.5.1	CINEMÁTICA DE LA MÁQUINA CNC	28
2.5.2	ESTRUCTURA DEL POSTPROCESADOR	29
2.5.3	INFORMACIÓN GENERAL DEL POSTPROCESADOR	29
2.5.4	DEPURAR POSTPROCESADOR	30
2.5.5	DEFINICIÓN DEL FORMATO	30
2.5.6	ASIGNACIÓN DEL FORMATO	32
2.5.7	FORMULAS Y CICLOS ENLATADOS	33
2.5.8	ETIQUETAS STRINGS	34
2.5.9	BLOCKS PARA POSTPROCESADOR	35
2.5.10	SISTEMA DE PREGUNTAS EN MASTERCAM	36
2.5.11	CÓDIGO DE CONTROL NUMÉRICO	37
2.6	COMUNICACIÓN Y MAQUINADO	38
2.6.1	PUERTO SERIAL Y DNC	38
2.6.2	MAQUINADO	39

CAPITULO III INGENIERÍA INVERSA

3.1	INTRODUCCIÓN	41
3.2	PROCESO DE LA INGENIERÍA INVERSA	41
3.2.1	DIGITALIZADO POR CONTACTO	43
3.2.2	DIGITALIZADO SIN CONTACTO	44
3.2.3	TÉCNICA DE VISIÓN PASIVA	44

INDICE GENERAL

3.2.4	TÉCNICA DE VISIÓN ACTIVA	45
3.3	AJUSTE DE SUPERFICIES	45
3.4	PROTOTIPOS	47
3.5	APLICACIONES DE LA INGENIERÍA INVERSA	49
3.6	INGENIERÍA INVERSA EN LA MANUFACTURA DE CAVIDADES	50
3.6.1	DIGITALIZADO	50
3.6.2	NUBE DE PUNTOS	52
3.6.3	MODELO EN SUPERFICIES	53
3.6.4	PROTOTIPO VIRTUAL DEL MODELO FÍSICO	56

CAPITULO IV SISTEMAS CAD/CAM

4.1	INTRODUCCIÓN	58
4.2	ESTRATEGIAS DE MODELADO	59
4.2.1	DIBUJO EN 2 DIMENSIONES	61
4.2.2	RELACIONES GEOMÉTRICAS ENTRE ENTIDADES	62
4.2.3	SÓLIDOS	62
4.2.4	OPERACIONES BÁSICAS	63
4.2.5	OPERACIONES PREDISEÑADAS	64
4.2.6	SUPERFICIES	64
4.3	DISEÑO ASISTIDO EN LA MANUFACTURA DE CAVIDADES	65
4.3.1	PROCESO DE DIGITALIZADO	65
4.3.2	CONSTRUCCIÓN DE SUPERFICIES	66
4.3.3	CÁLCULO DE VOLUMEN	69
4.3.3.1	PROCESO PARA CALCULAR VOLUMEN	70
4.3.4	FACTOR DE CONTRACCIÓN	71
4.3.5	LÍNEA DE PARTICIÓN	72
4.3.6	MODELO ORIENTADO PARA CALCULO DE TRAYECTORIAS	72
4.4	MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA	73
4.5	CONTROL NUMÉRICO	75
4.6	MOVIMIENTO DE HERRAMIENTA	76
4.7	PARÁMETROS DE CORTE	77
4.8	MANUFACTURA ASISTIDA EN MOLDES DE SOPLADO	79
4.8.1	TRAYECTORIAS DE HERRAMIENTA	79

INDICE GENERAL

4.8.2	HERRAMIENTAS	82
4.8.3	PARÁMETROS DE CORTE	83
4.8.4	SIMULACIÓN	83
4.8.5	GENERAR CÓDIGO DE CN	84
CAPITULO V DESARROLLO DEL POSTPROCESADOR		
5.1	INTRODUCCIÓN	85
5.2	ARCHIVO (Cuter Location Data)	86
5.3	ESTRUCTURA DEL POSTPROCESADOR	87
5.3.1	DECLARACIÓN DE FORMATO	88
5.3.2	ASIGNACIÓN DE FORMATO	89
5.3.3	LISTA DE INICIALIZACIÓN, FÓRMULAS Y CICLOS ENLATADOS	90
5.3.3.1	LISTA DE INICIALIZACIÓN	90
5.3.3.2	FÓRMULAS	91
5.3.3.3	CICLOS ENLATADOS	91
5.3.4	ENLACES (STRINGS)	92
5.3.5	VARIABLES DEL POSTPROCESADOR	93
5.3.5.1	VARIABLES PREDEFINIDAS	94
5.3.6	BLOCKS PARA POSTPROCESADOR	96
5.3.6.1	OPERACIONES BOOLEANAS	97
5.3.6.2	ASIGNACIÓN (FÓRMULAS)	98
5.3.6.3	ENLACES (STRINGS)	98
5.3.6.4	STRINGS FORZADOS	98
5.3.6.5	FÓRMULAS GLOBALES	98
5.4	DESARROLLO DE POSTPROCESADOR PARA MÁQUINA MAHO	99
5.4.1	CINEMÁTICA DEL CNC	99
5.4.2	DEFINICIÓN DE FORMATO	100
5.4.3	ASIGNACIÓN DE FORMATO	101
5.4.4	ASIGNACIÓN DE ENLACES	102
5.4.5	POSTBLOCKS UTILIZADOS EN EL POSTPROCESADOR	103
5.5	POSTPROCESADOR PARA MÁQUINA MAHO 700S	105

INDICE GENERAL

CAPÍTULO VI MAQUINADO CNC

6.1	INTRODUCCIÓN	113
6.2	PROGRAMA DE CONTROL NUMÉRICO	114
6.3	TRANSFERENCIA DNC	116
6.4	HERRAMENTACIÓN DE LA MÁQUINA CNC	117
6.5	MAQUINADO CNC	122

CAPÍTULO VII VALIDACIÓN DEL MÉTODO

7.1	INTRODUCCIÓN	125
7.2	DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL POSTPROCESADOR	126
7.3	FACTORES EN LA SELECCIÓN DE MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO	127
7.4	COMPARACIÓN ENTRE UNA FRESADORA CONVENCIONAL Y UNA CNC	127
7.5	MAQUINADO DE CAVIDADES CON CAD/CAM/CNC	129

CAPÍTULO VIII ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

8.1	ANÁLISIS DE RESULTADOS	130
8.2	CONCLUSIONES	131
8.3	RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS	133

	ANEXO A	134
	ANEXO B	141
	ANEXO C	144
	BIBLIOGRAFÍA	149

GLOSARIO

GLOSARIO

PYMES	Pequeña y mediana empresa
CNC	Control numérico computarizado
MIT	Instituto Tecnológico de Massachussets
CN	Control numérico
APT	Programación automática de herramienta
CAM	Manufactura asistida por computadora
CAD	Diseño asistido por computadora
NCI	Control Numérico Intermedio
CAE	Ingeniería asistida por computadora
STL	Formato de estereolitografía
ASCII	Código americano estándar para intercambio de información
CL DATA	Datos de ubicación de cortador
ATOS	Sensor topométrico avanzado
Vc	Velocidad de corte
Fn	Avance en milímetros por minuto
Fz	Avance en milímetros por filo
a _p	Profundidad de pasada
S	Velocidad del husillo

GLOSARIO

T	Número de herramienta
M	Funciones tecnológicas
G	Funciones de recorrido
E	Parámetros de programa
n	Número de revoluciones
F _s	Definición de formato en el postprocesador
F _m	Asignación de formato en el postprocesador
USB	Universal serial bus
DNC	Control numérico directo
BTR	Behaird tape reader
IGES	Inicial graphics Exchange specification
NURBS	Non Uniform Rational B-spline
VDA	Verband der Automotive (Formato para diseño)
R.P.M.	Revoluciones por minuto
M/MIN	Metros por minuto
PST	Formato para postprocesador
COMPACT	Computer program for automatically controlled

CAPÍTULO I

CAPÍTULO I INTRODUCCIÓN

En el presente capítulo se plantean las etapas que intervienen en la manufactura asistida para fabricar un componente geoméricamente irregular ejemplificado en la fabricación de botellas de plástico. Se menciona la metodología a utilizar para la realización del trabajo, destacando el desarrollo de un postprocesador que con su descripción permitirá generar información reconocible de forma específica para cualquier máquina de control numérico; además se describe la organización de la tesis.

Actualmente en el mercado encontramos una gran diversidad de productos los cuales fueron fabricados por procesos de moldeo, sus diversos materiales ofrecen características deseables para el consumidor como son: intercambiabilidad de las partes, buen acabado superficial, excelentes propiedades mecánicas, variedad de colores, bajo peso, aislantes térmicos, etc. La mayoría de las propiedades relacionadas con el acabado del producto dependen del molde con el que fueron fabricados. Toda la industria de transformación depende de los fabricantes de moldes, los moldes de buena calidad permiten la producción en serie, fácil inyección de piezas moldeadas sin deformación, dimensiones exactas, piezas sin defectos y limpieza de las piezas a bajo costo después del moldeo. Un buen molde puede durar muchos años de servicio, el éxito de cualquier operación de moldeo puede medirse por la perfección del diseño del molde y por la calidad en la manufactura del mismo, durante la utilización, aún los mejores moldes pueden llegar a dañarse y se debe estar preparado para reparar y sustituir rápidamente las partes rotas o dañadas, para lo cual es necesario contar con los recursos adecuados.

La gran variedad de materiales y métodos de moldeo existentes han precisado el desarrollo de muchos tipos de moldes para poder aprovechar al máximo las características de los diferentes materiales, algunos moldes asociados a la manufactura asistida son los de inyección, termoformado y soplado.

Moldes de inyección. Consisten de una cavidad y un macho para formar el componente, el compuesto se platifica en la máquina de inyección y luego es obligado a pasar a través del bebedero y canales del molde y a entrar finalmente en las cavidades, como se muestra en la figura 1.1

CAPÍTULO I

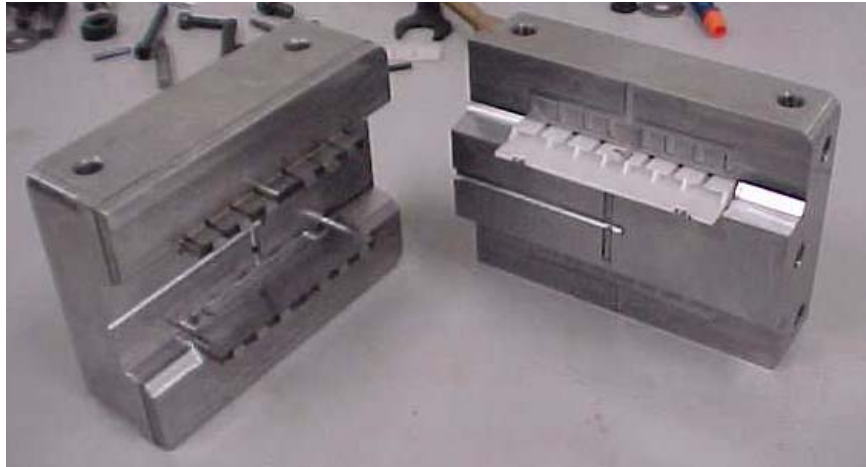


Fig. 1.1 Molde de inyección

Moldes para termoformado. Se utilizan para dar forma a láminas termoplásticas, normalmente obtenidas mediante extrusión previa, el molde consta de la forma en la cavidad o en el macho según se requiera, además de orificios de succión, como se muestra en la figura 1.2.

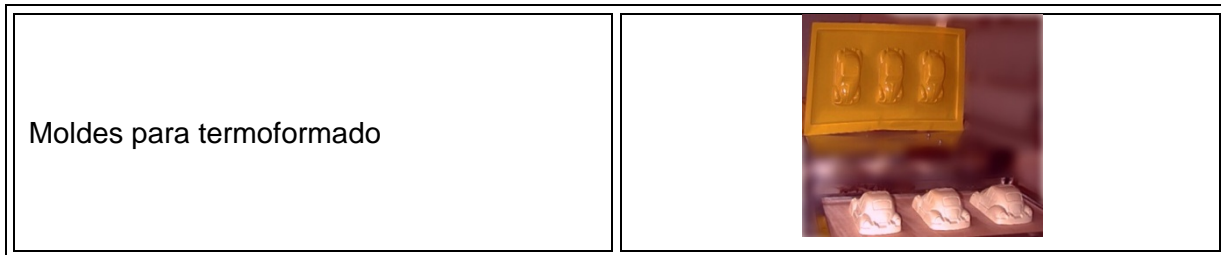


Fig. 1.2 Molde de termoformado

Moldes de soplado. Se componen de tres partes principales, cuerpos, fondos y coronas, se utilizan para obtener componentes huecos como botellas y son fabricados en materiales que sean buenos conductores como el duraluminio y el cobre berilio, como se muestra en la figura 1.3.

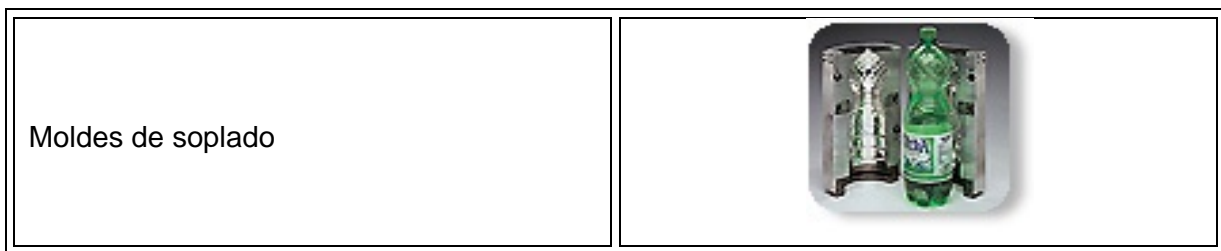


Fig. 1.3 Molde de soplado

CAPÍTULO I

El proceso de manufactura de moldes utilizado en México demanda una gran cantidad de tiempo ya que muchos procesos se realizan en máquinas herramienta convencionales, como son tornos copiadores, fresadoras universales, pantógrafo, etc.; además de la gran cantidad de equipo de control numérico subutilizado.

Un ejemplo típico es el maquinado de cavidades para recipientes huecos las cuales forman parte de los moldes de soplado, estos componentes tienen que prepararse dentro de una resina con la finalidad de formar un negativo, y posteriormente realizar la copia de la cavidad en una máquina copiadora llamada pantógrafo; los pantografos son máquinas herramienta que cuentan con 2 brazos que se mueven simultáneamente, en uno se coloca una esfera para palpar el modelo y en otro se coloca una herramienta esférica, esta herramienta remueve el material donde queda la cavidad, es imposible controlar el acabado superficial y otras variantes como el volumen.

Utilizando manufactura asistida se elimina en un gran porcentaje la posibilidad de error, garantizando un buen producto en menor tiempo, siempre y cuando se cuente con una buena máquina de control numérico y software de CAD/CAM con su correspondiente postprocesador. (Dubois, J. & Pribble W. 1995)

1.2 ANTECEDENTES

Actualmente la fabricación de moldes específicamente en la pequeña y mediana empresa (PYMES) es un proceso tardado debido a la falta o uso inadecuado de tecnología como es software especializado y máquinas de control numérico subutilizadas en el proceso, en su lugar es común utilizar todo tipo de máquinas herramienta convencionales como son: tornos paralelos, fresadoras manuales, pantógrafos, etc.

El principal problema que enfrenta esta industria es el maquinado tridimensional, es decir, se requieren movimientos coordinados en tres ejes, esto es imposible lograrlo con cualquier fresadora manual de cualquier tipo, en la mayoría de los casos se opta por un copiado por algún medio, elevando considerablemente la posibilidad de error y el costo del producto, además se obtiene una superficie de mala calidad, como se muestra en la tabla 1.1

CAPÍTULO I

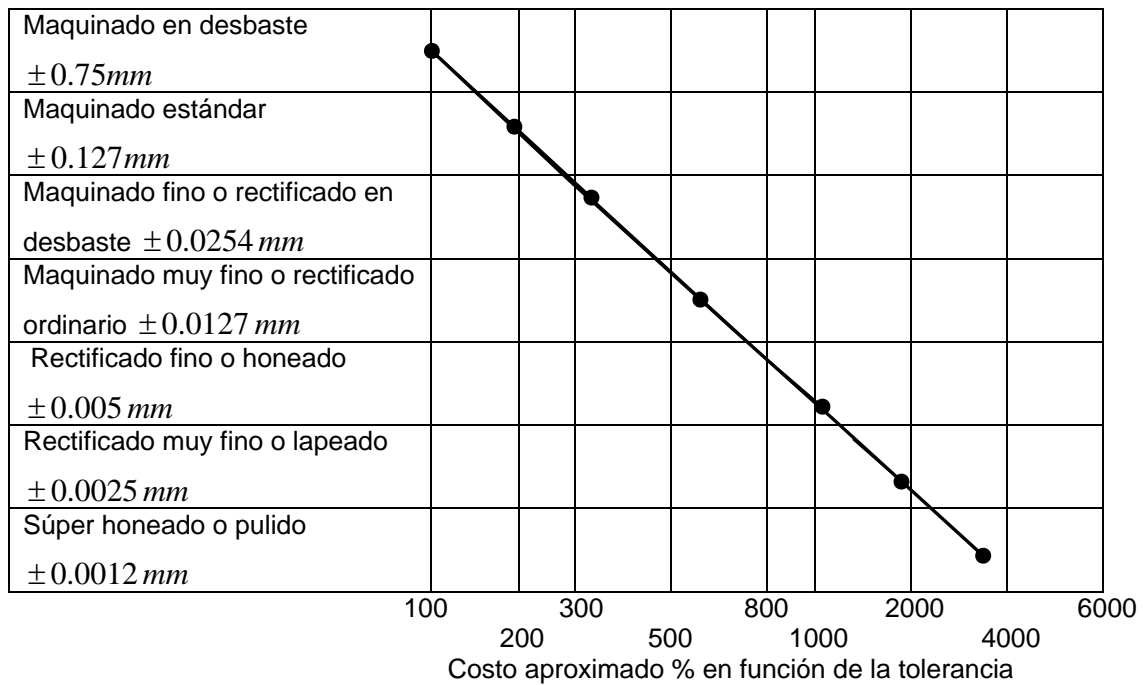


Tabla 1.1 Costo-tolerancia en maquinado convencional (James, G. B. 1993)

La industria metal mecánica en México en su mayoría forma parte de las PYMES (*Pequeña y Mediana Empresa*), y cuenta con una infraestructura de manufactura de tipo manual y equipo computarizado de forma aislada, estas empresas presentan serios problemas en la manufactura de piezas o componentes que requieren ser procesados por arranque de viruta, esto se debe en gran parte a maquinaria con muchas horas de uso, que como consecuencia presenta un gran desgaste y desajuste en sus componentes mecánicos o al uso ineficiente del CNC (*Control Numérico Computarizado*), debido a esto el proceso de manufactura se torna ineficiente para alcanzar las tolerancias requeridas en diseños exigentes, tal es el caso de la manufactura de moldes, troqueles, componentes automotrices, herramientas de corte, accesorios para máquinas herramienta, etc.

1.3 JUSTIFICACIÓN

1.3.1 *Punto de vista tecnológico*

El avance tecnológico en el mundo está en función de las necesidades de la sociedad, gran parte de los beneficios logrados por las economías más grandes del mundo son debidos a sus desarrollos tecnológicos, los cuales son implementados para una mejora considerable en sus actividades y en sus productos.

Nuestra cercanía con los Estados Unidos nos obliga a tener un alto intercambio comercial con ellos, tal es el caso de muchas máquinas herramienta vendidas a nuestro país, entre los 70's y 80's, estas máquinas en su mayoría fueron vendidas debido a la migración a los sistemas computarizados que tuvo este país, casi todos los talleres y muchas empresas en México compraron tornos y fresadoras graduadas en el sistema inglés, es por eso que muchas empresas siguen trabajando con la milésima de pulgada como unidad de medida.

Gran cantidad de máquinas habían quedado obsoletas debido al surgimiento del CN (*Control Numérico*), el cual tuvo sus inicios en el MIT (*Massachusset Institute of Technology*) en 1952, entre sus principales ventajas está la capacidad de seguir trayectorias complicadas combinando movimientos simultáneos en 3, 4 y 5 ejes.

Tres años más tarde en 1955 investigadores del MIT desarrollaron un programa de computadora al cual se le conoce como APT (*Automatically Programmed Tool*), que sirve para obtener el código aplicado a todo tipo de sistemas CN y se le conoce actualmente como CAM (*Computer Aided Manufacturing*).

1.3.2 *Punto de vista económico*

El aspecto económico en las máquinas herramienta juega un papel muy importante en las actividades de manufactura, una pieza puede requerir diferentes máquinas para ser fabricada, ya que ciertas operaciones pueden no ser posibles en ciertos equipos, es por eso que se requiere una adecuada selección de la máquina dependiendo del trabajo con la finalidad de reducir costos.

En muchos casos una pieza sencilla puede ser maquinada por un operador experimentado en menos tiempo y a menor costo sobre una máquina convencional que lo que toma realizarla sobre una máquina de control numérico ya que ésta última requiere programación y una serie de rutinas de puesta a punto; sin embargo, las piezas complejas pueden ser fabricadas de forma más económica en una máquina de control numérico, ya que una vez que el programa está realizado, las piezas pueden ser maquinadas a muy bajo costo y en tiempo reducido.

Factores considerados en la selección de máquinas de control numérico:

- El costo de una máquina CNC es 1.5 a 5 veces el de una convencional del mismo tamaño.
- Requieren personal capacitado en mantenimiento y programación.
- Tiempo muerto mínimo, fatiga inexistente, hay poco rechazo, evita errores humanos, el tiempo efectivo de corte de una máquina CNC es de 80% comparado con el 25% de una máquina convencional.
- Mejora la vida de la herramienta ya que la velocidad de corte y la profundidad de pasada se mantienen constantes.
- 25% menos rechazo y retrabajos.
- Reducción de 20 a 25% en manejo de material.
- Reducción de 30 a 40% en tiempos de inspección y control de calidad.
- Dispone de menos área ya que una CNC puede reemplazar varias máquinas convencionales por las múltiples operaciones que puede realizar.
- Los costos de herramientas y puesta a punto son bajos.
- Desarrollo de postprocesador adecuado al CNC (Farid, 1993)

1.3.3 *Punto de vista social*

En la mayoría de las universidades de México y el mundo se desarrollan programas de capacitación en las áreas de CAD/CAM/CNC ya que son la base de los últimos adelantos tecnológicos, toda la industria aeroespacial y automotriz alrededor del mundo gira entorno a estos sistemas, algunas empresas grandes dedicadas a los herramientas utilizan el concepto, mientras que otras lo ven como un objetivo difícil de alcanzar debido a la inversión que se requiere tanto en infraestructura como en capacitación.

La manufactura y diseño de un molde de soplado para una botella con capacidad de un litro utilizando sistemas CAD-CAM-CNC, tiene un precio de venta promedio entre 5 000 y 6 000 dólares con una inversión en materiales, mano de obra y equipo computacional del 40 por ciento, esto muestra el beneficio de utilizar recursos computacionales los datos son aproximados por la empresa fabricante de moldes EB-HEISE

La gran mayoría de empresas fabricantes de moldes tienen una máquina de control numérico, ésta es el componente más costoso de la implementación, dicha máquina en la mayoría de los casos es subutilizada con programación manual lo cual permite movimientos en 2 ejes y medio como máximo, mientras que las cavidades tridimensionales son fabricadas por medio de copiado con algún equipo especial.

La utilización de los sistemas computacionales en la manufactura aplica en forma general para cualquier tipo de componente a fabricar independientemente de su grado de complejidad, el proceso es el mismo para fabricar un álabe de turbina o los componentes de un molde permanente, en todos los casos es posible el digitalizado y más con geometrías atípicas, en este trabajo se analiza la manufactura de una botella con asa de sujeción ya que es una geometría difícil de procesar con máquinas herramienta convencionales mientras que con un sistema CAD-CAM y el postprocesador adecuado se obtienen grandes beneficios.

1.4 OBJETIVOS

1.4.1 *Objetivo general*

Desarrollar e implementar un postprocesador que permita obtener el código de control numérico para el controlador PHILIPS de un centro de maquinado MAHO, mediante el uso de software CAD-CAM al manufacturar una cavidad compleja.

1.4.2 *Objetivos específicos*

- Aplicar ingeniería inversa para obtener el modelo virtual de una geometría compleja modelada con superficies.
- Simular el proceso de manufactura de la geometría compleja utilizando software especializado de CAD-CAM
- Desarrollar el postprocesador que ayude a la comunicación entre el software especializado de CAD CAM y el centro de maquinado CNC.
- Manufacturar una cavidad compleja mediante el uso del postprocesador a desarrollar.

1.5 ALCANCE DE LA TESIS

El presente trabajo establece las bases y secuencia de procesos capaces de desarrollar un postprocesador que ayude a fabricar un producto útil, independientemente de su grado de complejidad, utilizando manufactura y diseño asistido por computadora en máquinas de control numérico (hasta 3 ejes directamente programables). En el software Mastercam se simula el proceso de manufactura analizando tiempos y estrategias de movimiento, si al verificar el proceso se requieren cambios solo es necesario modificar la variable correspondiente y regenerar el proceso ya que el software es asociativo.

CAPÍTULO I

Se desarrolla el postprocesador que sirve de enlace entre el software Mastercam y la máquina de control numérico, este programa se debe desarrollar para cada máquina de control numérico que se utilice, ya que da el formato según el armario de control.

Se realiza un prototipo de una cavidad el cual es fabricado por medio de un centro de maquinado Maho de control numérico con armario de control philips 432, en dicho componente se busca verificar que el postprocesador creado se adapte al controlador de la máquina CNC.

1.6 METODOLOGÍA PROPUESTA

El método consiste de un conjunto de cinco fases las cuales a su vez están subdivididas en etapas, analizando en cada etapa la secuencia de operaciones para el desarrollo del producto, como se muestra en la tabla 1.2

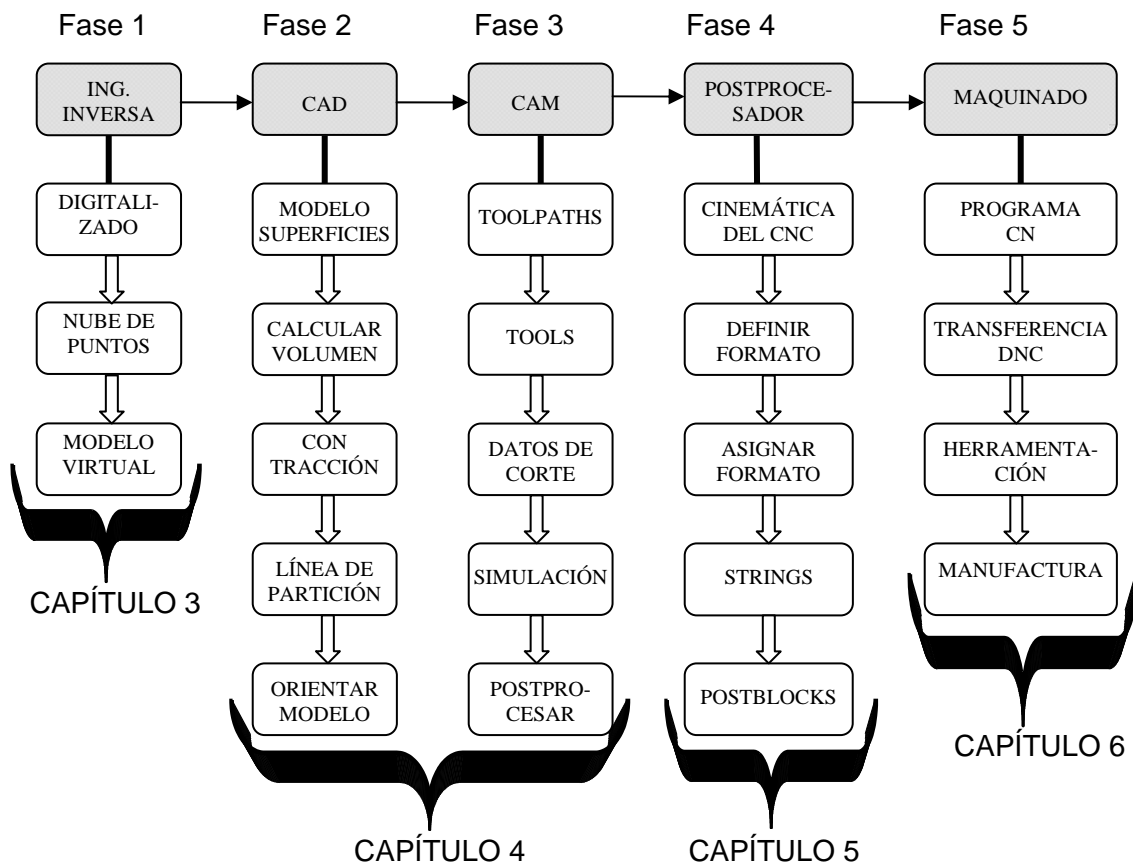


Tabla 1.2 Metodología utilizada en la tesis

CAPÍTULO I

1.6.1 Fase 1. Ingeniería Inversa

El proceso inicia con el digitalizado del modelo físico del cual se obtiene una densa nube de puntos, como se muestra en la secuencia de la tabla 1.3, estos puntos con coordenadas tridimensionales son enviados a un sistema de dibujo asistido por computadora en formato ASCII donde se elaboran las superficies, una vez que se tiene el modelo en superficies es posible producir el prototipo, para este trabajo no se obtiene el prototipo, ya que se realiza directamente la manufactura.

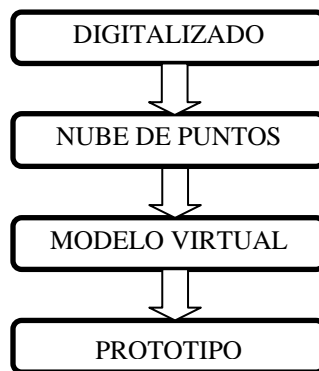


Tabla 1.3 Etapas en ingeniería inversa

1.6.2 Fase 2. Diseño asistido por computadora

En el software de CAD (*Computer Aided Design*) además de construir el modelo en superficies se ajustan factores de contracción, líneas de partición, posición en la máquina de control numérico, como se muestra en el flujo de la tabla 1.4, posteriormente el modelo es enviado a un sistema de manufactura asistida por computadora.

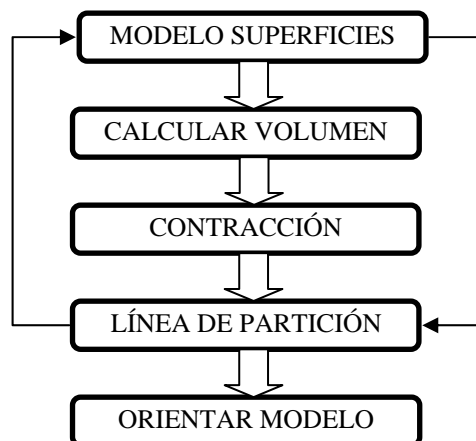


Tabla 1.4 Etapas en diseño asistido por computadora

CAPÍTULO I

1.6.3 Fase 3. Manufactura asistida por computadora

En el CAM (*Computer Aided Manufacturing*) se define el tipo y número de herramientas, velocidad de corte, avance, estrategias de desbaste y acabado y tiempo de la operación, una vez que se tienen las trayectorias de herramienta que satisfacen el requisito de calidad se genera el código mediante el postprocesador, como se muestra en la Tabla 1.5

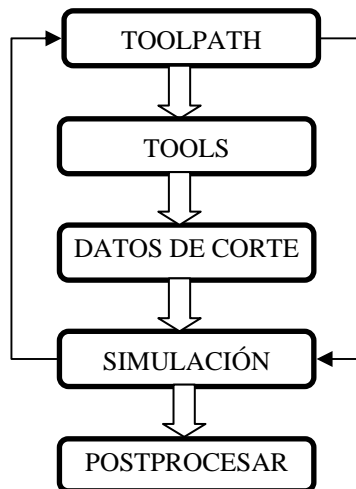


Tabla 1.5 Etapas en manufactura asistida por computadora

1.6.4 Fase 4. Desarrollo del postprocesador

Se llama al postprocesador previamente programado el cual se elabora a partir de la cinemática de la máquina CNC, éste se encarga de traducir información relacionada con la posición del cortador para obtener el código G y M que será usado en el maquinado, como se muestra en la tabla 1.6

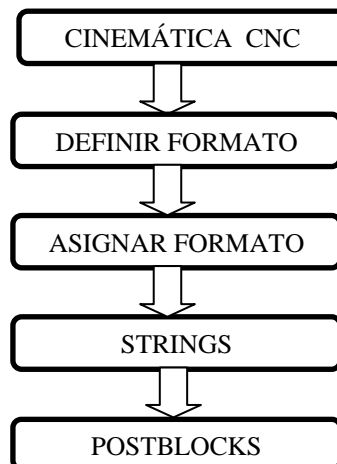


Tabla 1.6 Etapas en el desarrollo del postprocesador

CAPÍTULO I

1.6.5 Fase 5. Comunicación y maquinado

Este código se envía a la máquina CNC por medio del puerto serial RS 232 C, ya con el programa en memoria se montan las herramientas en la máquina y se calibra cada una, se realiza el montaje de material según la orientación definida en el CAD y se inicia el maquinado siguiendo la fases que se muestra en la tabla 1.7

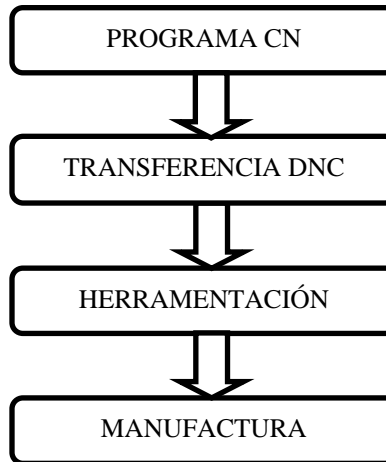


Tabla 1.7 Etapas en el maquinado CNC

1.7 ORGANIZACIÓN DE LA TESIS

El trabajo se ha estructurado en 8 capítulos y anexos. El capítulo 1 inicia con una introducción general así como la definición de alcances y objetivos; además de la metodología a utilizar y la organización del trabajo.

En el capítulo 2 se desarrolla el estado del arte enlistando las actividades fundamentales en el proceso de integración y se inicia con las bases de la ingeniería inversa la cual consiste en la conversión de un modelo físico en un modelo virtual, con la posibilidad de obtener un prototipo antes de la fabricación del herramental.

El capítulo 3 presenta un resumen de la ingeniería inversa aplicada a la fabricación de geometrías irregulares, donde se explican los métodos para obtener nubes de puntos a partir de un modelo físico utilizando un escáner sin contacto.

CAPÍTULO I

El capítulo 4 establece la relación entre los sistemas CAD/CAM como base en el desarrollo de productos moldeados, primeramente se obtiene un modelo de la cavidad cuidando detalles como: zona de partición, ángulos de salida, factores de contracción, etc. Una vez que el modelo está en condiciones adecuadas se estudia el proceso de manufactura, así como la mejor estrategia de maquinado que nos permita obtener código G y M para la máquina de control numérico correspondiente.

En el capítulo 5 se desarrolla un postprocesador para un centro de maquinado Maho, el cual permite traducir un lenguaje llamado CL Data (Cuter Location Data), en código para manufactura, estos postprocesadores son exclusivos para cada máquina y se deben adaptar al formato correspondiente.

En el capítulo 6 se desarrollan las etapas que intervienen en el maquinado de una cavidad, partiendo de la información previamente obtenida en las fases anteriores y realizando un montaje adecuado de las herramientas de corte en el almacén de herramientas disponible en la máquina de control numérico, todo con la finalidad de comprobar el buen funcionamiento del postprocesador.

En el capítulo 7 se realiza una comparación entre la manufactura convencional y los sistemas computarizados, evaluando los costos que intervienen en el proceso con la finalidad de validar y mostrar las mejoras obtenidas con las máquinas de control numérico.

En el capítulo 8 se incluye un análisis de los resultados obtenidos, conclusiones y recomendaciones para trabajos futuros.

Se anexa un CD conteniendo imágenes del proceso de maquinado de una cavidad.

Bibliografía.

Anexos.

CAPÍTULO II

CAPITULO II ESTADO DEL ARTE

En el presente capítulo se plantea la secuencia de etapas que intervienen en la fabricación de geometrías tridimensionales, desde la ingeniería inversa aplicada al desarrollo de productos incluyendo la aplicación de los sistemas CAD/CAM para acelerar el proceso de manufactura, además se detallan aspectos para el desarrollo del postprocesador con el fin de realizar el maquinado.

2.1 INTRODUCCIÓN

El software CAD del inglés (*Computer Aided Design*) y el software CAM del inglés (*Computer Aided Manufacturing*) ayuda a ingenieros y diseñadores en una amplia variedad de industrias. Con estos programas se diseñan y confeccionan productos tan variados como edificios, puentes, carreteras, aviones, barcos, coches, cámaras digitales, teléfonos móviles, ropa u obras de arte. El Dr. Patrick Hanratty desarrollo en 1957 el primer software CAM llamado "PRONTO" por eso el Dr. Hanratty ha sido muchas veces llamado el padre del CAD/CAM.

A principios de los 60 Iván Sutherland inventa en el laboratorio Lincoln del MIT (*Massachusetts Institute of Technology*) el primer sistema grafico CAD llamado "Sketchpad". Por el alto precio de estos ordenadores solo algunas compañías de aviación o automóviles desarrollaron en los 60 estos tipos de software.

Durante los años 70 este tipo de software comenzó su migración de la investigación pura hacia su uso comercial. Aunque todavía el software estaba en desarrollo por grupos internos de grandes fabricantes automotrices y aeroespaciales como General Motors, Mercedes-Benz, Renault, Nissan, Toyota, Lockheed, McDonnell-douglas, Dassault. Dassault, empresa Francesa de aviación desarrolla el primer programa CAD/CAM llamado DRAPO iniciales de definición y realización de aviones por ordenador.

Lo que había iniciado como un tema de investigación fue floreciendo comercialmente con el avance de las computadoras y en los años 80 el empleo del CAD/CAM se generalizó en la industria.

CAPÍTULO II

A partir de los 90 la industria del CAD/CAM genera un volumen de mercado de miles de millones de euros con empresas como la francesa Dassault Systemes con su famoso software "CATIA" o las estadounidenses Parametric Technology y Autodesk entre otras.

Las fresadoras de control numérico por computadora (CNC) se han desarrollado a partir de las fresadoras convencionales. En estas fresadoras convencionales las herramientas son desplazadas al menos en 3 ejes (X, Y, Z) gracias a unas manivelas movidas a mano. La base de los controles numéricos es bastante simple, se reemplaza las manivelas por motores de posicionamiento y algo de electrónica para controlar la posición de la herramienta. Existen bastantes "kits" para transformar una fresadora convencional en una de control numérico.

Los primeros controles numéricos no utilizaban interfaz, controlaban la posición de las herramientas gracias a una banda perforada. Pero pronto se controlaron estas maquinas con una pequeña computadora, un teclado y una pantalla. Entonces el operador podía teclear la secuencia de movimientos (Código G o programa numérico) que debía realizar la máquina. El siguiente paso fue utilizar una computadora personal conectada al controlador CNC a través de un cable serial o USB. De esta manera el operador puede hacer funcionar la fresadora CNC mientras prepara el siguiente programa numérico. El programa se puede escribir en un archivo de texto ya que son simplemente una serie de coordenadas a seguir por la máquina. Estos programas numéricos con códigos G tienen el siguiente aspecto:

```
G01 X43.625 Y4.568 Z1.600 F600
```

```
X43.625 Y4.568 Z-8.197
```

```
X43.625 Y4.568 Z-8.797
```

```
X43.625 Y4.568 Z-8.797
```

```
X43.710 Y4.672 Z-8.668
```

```
X43.821 Y4.749 Z-8.533
```

CAPÍTULO II

Son una serie de puntos que uno tras otro forman la trayectoria que la fresadora va a seguir para realizar la pieza. La fabricación de una pieza se hace normalmente en tres etapas:

- Primero se hace el diseño de la pieza con un software CAD como se menciona en el capítulo 4.
- Después se calculan las trayectorias de maquinado para realizar la pieza previamente diseñada y se añaden velocidades de avance, velocidades de giros y diferentes herramientas de corte con el software CAM, como se menciona en el capítulo 4.
- Por último el armario de control recibe las instrucciones del CAM y hace que la fresadora se mueva según esas trayectorias, como se detalla en el capítulo 6.

El armario de control viene con la máquina, aunque el CAD Y el CAM no suelen estar integrados por lo que se compran por separado. Los archivos geométricos más comunes son los STL, IGES, 3DM para archivos en 3D, DXF para archivo en 2D y 3D y HPGL para archivos en 2D. Estos son archivos estándar que pueden ser utilizados por la mayoría de los mejores software CAD.

Para llegar desde el archivo geométrico al software de control la comunicación se hace con programas de control numérico. Existen varios formatos de control numérico pero el más utilizado es la programación ISO o códigos G, este programa se supone que es un formato estándar pero muchos fabricantes de máquinas lo transforman en algunos detalles. Por eso el software CAM debe de tener un post-procesador para adaptar los códigos G al controlador que se utilice.

Un buen software de CAM tiene un post-procesador para una variedad de máquinas y si nuestra máquina no aparece, el post-procesador debe ser desarrollado para el controlador de nuestra fresadora CNC.¹

CAPÍTULO II

El uso adecuado de las tecnologías computacionales permiten obtener geometrías maquinadas que serían imposibles de realizar con máquinas herramienta tradicionales, un área importante y que se evaluará en el presente trabajo es la manufactura de herramientas, ya que entre otras es considerada una actividad altamente lucrativa a nivel mundial, muchas empresas alrededor del mundo se dedican a la fabricación de todo tipo de herramientas para los cuales se ha encontrado la forma de obtener el máximo beneficio utilizando sistemas de diseño y manufactura asistidas por computadora y todo tipo de máquinas de control numérico, el estado del arte nos lleva a considerar una gran cantidad de tecnología computarizada que no ha sido implementada debidamente en la industria mexicana, esto va desde el escaneo tridimensional el cual está disponible desde hace algún tiempo, pasando por los sistemas de diseño y manufactura asistida por computadora con software de alto nivel como Catia, Unigraphics, Solidworks, etc., o en su defecto software con aplicaciones exclusivas ya sea de diseño o de manufactura como Mastercam, Surfcam, Edgecam, etc. Todo esto enlazado debidamente a un equipo de control numérico con su correspondiente postprocesador adaptado al sistema, permite un control total de la manufactura como se resume en el presente capítulo a partir del tema 2.2.

2.2 OPERACIONES DE LA INGENIERÍA INVERSA

La metodología propuesta busca aplicar varios conceptos que iremos mostrando así como su interrelación para obtener la manufactura de herramientas.

2.2.1 *Digitalizado tridimensional*

Es el proceso mediante el cual se escanea un modelo físico con la finalidad de obtener una reproducción idéntica del elemento escaneado, existen diversos equipos de escaneo tridimensional ya sea por contacto como las máquinas de medición por coordenadas o sin contacto como los equipos láser, los más eficientes son los equipos láser con capacidades que van desde 800.000 puntos en 0.8 segundos hasta 4.000.000 de puntos en 2 segundos. Existen varios modelos para digitalizado láser como son el ATOS (Advanced Topometric Sensor) de Cimco², el ZScanner manual de ZCORPORATION. Ambos trabajan con el principio de triangulación el cual consiste en obtener las

CAPÍTULO II

coordenadas de los puntos de la superficie de la pieza mediante la imagen de los mismos que es captada por un dispositivo fotodetector.³ Como se muestra en la figura 2.1

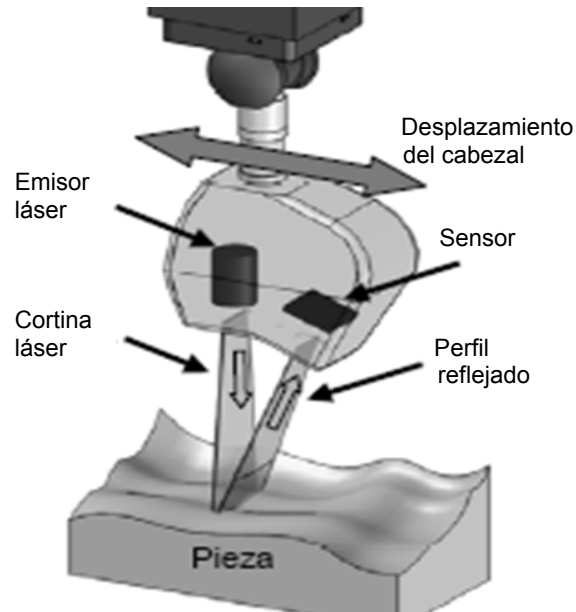


Fig. 2.1 Principio de triangulación

Para digitalizar un objeto se requieren de varias mediciones desde diferentes direcciones, se obtiene un archivo en el software del sistema el cual puede leerse en formato ASCII (*American Estándar Code for Information Interchange*) o STL (*Stereolithography*) como el que se muestra en la figura 2.2

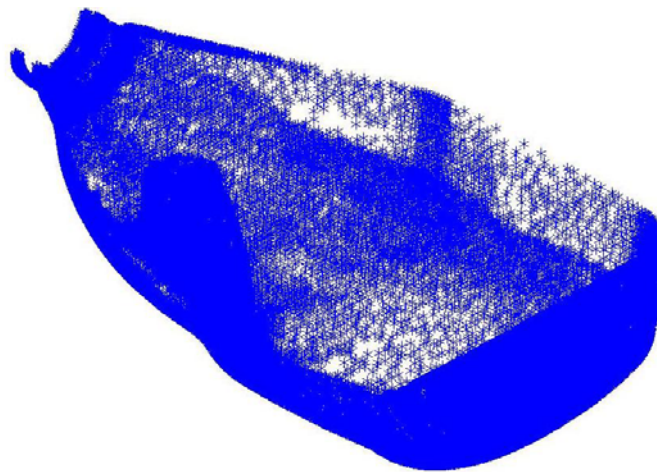


Fig. 2.2 nube de puntos en ASCII

El archivo en formato ASCII es enviado a un software especializado para diseño, donde se puede manipular la nube de puntos para obtener el modelo en superficies.

2.2.2 Construcción de superficies

La construcción de superficies se realiza en el software para diseño “Catia” que consiste en crear superficies matemáticas que se ajusten a la forma real basándose en la nube de puntos obtenida por digitalizado. Los requerimientos del equipo computacional para la elaboración de superficies están condicionados al tipo de digitalizado obtenido ya sea discreto o láser, se necesita un programa de diseño (CAD) con módulo de generación de superficies avanzadas. Este módulo permite la creación de curvas que coincidan con los puntos palpados en distintos planos del modelo, y luego, basándose en estas curvas se crean las superficies que coinciden con el modelo.

Con un digitalizador sin contacto los requerimientos pueden ser mayores ya que además del paquete de diseño se precisa de un módulo adicional que ayude a pasar la densa nube de puntos a superficies. En algunos casos se utilizan programas exclusivos para este objetivo (Point Master, Geomagic, etc.) y pueden precisar un hardware más potente para manejar tal cantidad de información.

En este caso con programas y equipos especiales, el ajuste de superficies puede ser relativamente rápido, siempre con la intervención de un técnico con experiencia para manejar el programa y generar superficies coherentes.

Basándose en el digitalizado, existen dos filosofías para crear las superficies que modelen el objeto:

- a) De las superficies a los puntos: El diseñador parte de cero hasta obtener superficies que parecen seguir los puntos palpados pero sin tenerlos en cuenta. A continuación compara la superficie con los puntos y las refina hasta obtener una concordancia aceptable. Este método se emplea cuando no es tan importante reproducir fielmente el modelo y en cambio se desea una representación sencilla y rápida pero coherente con la pieza.
- b) De los puntos a las superficies: Se parte de un digitalizado muy denso a fin de conseguir los parámetros básicos para crear las superficies. Los puntos digitalizados son agrupados en curvas tipo spline. Las curvas digitalizadas deben parecerse lo más posible a los parámetros de la superficie. Esquemáticamente,

CAPÍTULO II

consiste en obtener información de curvas perpendiculares entre sí, constituyendo una retícula cuadrada, como se observa en la fig. 2.3. (Alcaide, J. 2004)

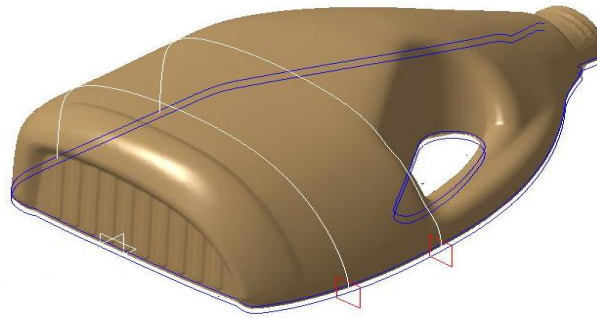


Fig.2.3 Modelo en alambre

Disponer de esta retícula permite una fácil modelación del digitalizado usando funciones de creación de superficies a partir de redes de curvas, como se muestra en la figura 2.4

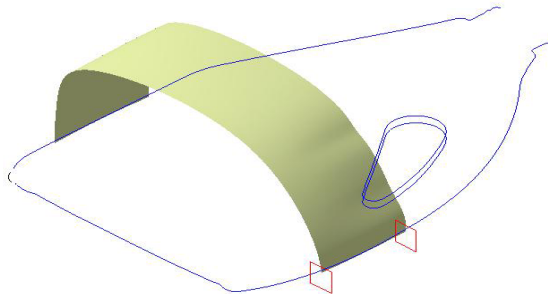


Fig. 2.4 Construcción de superficie

Del proceso de digitalizado se obtienen formatos en ASCII y STL, para la elaboración del prototipo se toma el archivo de estereolitografía (STL) y se procesa en una máquina para prototipos.

2.2.3 Prototipos

El formato estándar de los prototipos rápidos es el Archivo STL. Este tipo de archivo utiliza una malla de pequeños triángulos sobre las superficies para definir la forma del objeto. Para que un objeto definido en un archivo STL se construya correctamente los triángulos deben encajar perfectamente entre ellos sin huecos ni superposiciones, el número de triángulos a utilizar debe ser definido por el usuario. Normalmente, se

establece una pugna entre detalle y tamaño del archivo. Por ejemplo, para representar cualquier superficie curvada se necesita gran cantidad de triángulos planos (facetas), especialmente si se quiere conseguir una curva suave. Sin embargo, esto genera archivos muy grandes que pueden resultar difíciles de manejar, pero mejoran sustancialmente la apariencia final del prototipo,⁴ en el presente trabajo se presenta solo el modelo virtual.

Una vez que el prototipo es evaluado y aprobado en base al modelo elaborado previamente se prepara el modelo para la etapa siguiente que será la manufactura, esta preparación se detalla en la siguiente etapa.

2.3 OPERACIONES EN DISEÑO ASISTIDO

2.3.1 *Modelo en superficies*

La generación de superficies depende de las técnicas utilizadas para adaptar las curvas generadas entre los límites establecidos. El mayor problema en la creación de superficies es el criterio visual para seleccionar el método adecuado, este método debe permitir cierta flexibilidad para modificar el ajuste de curvas para una mejor interpolación, como se muestra en la figura 2.5.

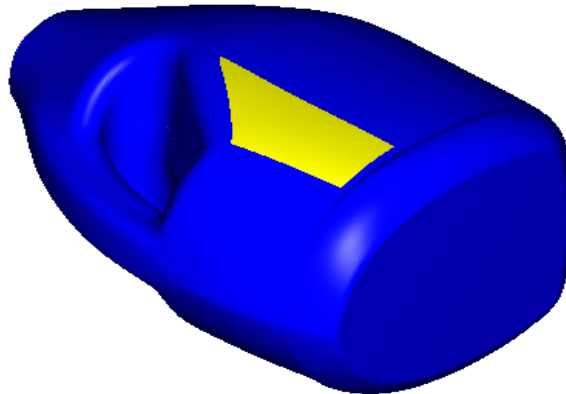


Fig. 2.5 Modelo en superficies

CAPÍTULO II

2.3.2 Línea de partición

En cualquier tipo de molde es necesario definir adecuadamente la línea de partición, la cual no debe interferir con los ángulos de salida y al mismo tiempo debe facilitar la expulsión del producto, para el modelo diseñado en la figura 2.5 es práctico aprovechar la simetría de la pieza para definir la línea de partición según se muestra en la fig. 2.6.

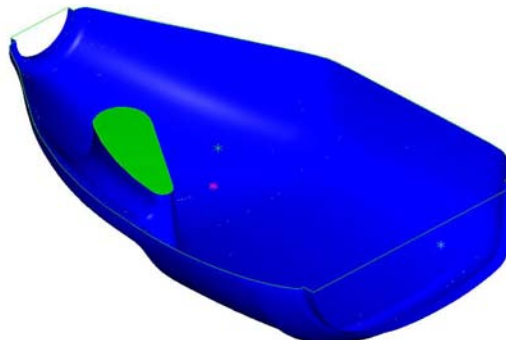


Fig.2.6 Modelo partido

2.3.3 Factor de contracción

Todos los materiales moldeables se expanden al aumentar su temperatura y se contraen al ser enfriados, esta cuestión dimensional puede ser conocida por tablas si se conoce el tipo de material a trabajar, como se muestra en la tabla 2.1

Termoplásticos con estructura amorfa	Símbolo ISO	Intervalo de fusión °C	Contracción en moldeo %
ABS copolímero	ABS	170-200	0.4-0.7
Poliestireno	PS	130-160	0.3-0.6
Poliestireno resistente al impacto	SB	130-160	0.3-0.6
Acrilonitrilo-estireno	SAN	140-170	0.4-0.6
Acetato de celulosa	CA	130-170	0.3-0.7
Acetato butirato de celulosa	CAB	130-170	0.3-0.7
Propinato de celulosa	CP	130-170	0.3-0.7
Policarbonato	PC	220-260	0.5-0.8
Polimetil metacrilato	PMMA	150-180	0.4-0.8
Óxido de pilifenileno	PPO	240-270	0.5-0.8
Cloruro de polivinilo	PVC	130-160	0.4-0.8

CAPÍTULO II

Termoplásticos semicristalinos	Símbolo ISO	Temperatura de fusión °C	Contracción en moldeo %
Poliétileno baja densidad	PE	110	1-3
Poliétileno alta densidad	PE	130	1.5-4
Polipropileno	PP	165	1-2.5
Poliamida 66	PA 66	255	1.2-2.5
Poliamida 6	PA 6	220	0.8-2
Poliamida 610	PA 610	220	0.8-2
Poliacetal (Homopolímero)	POM	175	1.5-3.5
Polibutileno-tereftalato	PBTP	225	1.2-2.8
Poliétileno-terftalato	PETP	255	1.2-2
Fluorotileno-propileno copolímero	FEP	270	3.5-5
Etileno-Tetrafluoruro etileno copolímero	ETFE	270	3.5-5

Tabla 2.1 Contracción de moldeo en termoplásticos (Bodini, G. 1993)

2.3.4 Cálculo de volumen

En la fabricación de recipientes huecos que serán utilizados para envasar algún líquido es necesario conocer de forma precisa su capacidad, esto se logra calculando el volumen del modelo en superficies o en su caso obtener el sólido para calcularlo, nuestro ejemplo se muestra en la figura 2.7, una vez calculado el volumen se debe aplicar el factor de contracción al modelo y fabricar con esa sobre medida, cuando la pieza sale del molde y durante el enfriamiento esta se contrae para obtener el volumen correcto.

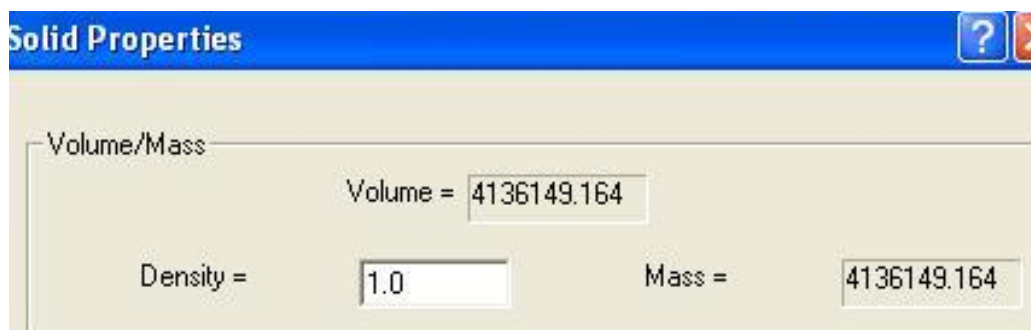


Fig. 2.7 Cálculo de volumen en mm³

CAPÍTULO II

2.3.5 Orientación del modelo

Una vez que se definió la línea de partición y se aplicó correctamente el factor de contracción en el modelo, este debe ser orientado en la posición que corresponda al sistema coordenado de mastercam y la máquina de control numérico, como se muestra en la figura 2.8, es decir, el eje X en el software debe coincidir con el eje X del CNC, el eje Y con su correspondiente eje Y en la máquina y recordando que siempre se define el eje Z como el eje de la herramienta.

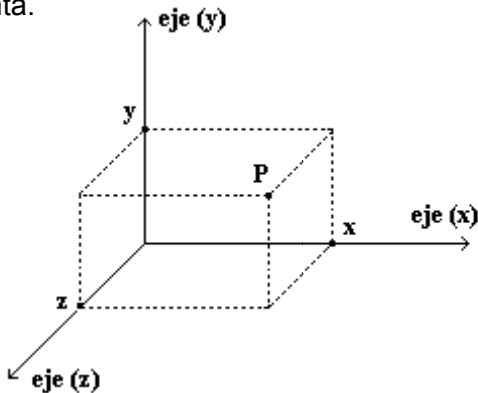


Fig. 2.8 Sistema coordenado

Con el modelo seccionado de acuerdo a los requisitos de manufactura, y una vez aplicado el factor de contracción se pueden obtener las trayectorias de desbaste y acabado como se menciona a continuación.

2.4 OPERACIONES EN MANUFACTURA ASISTIDA

2.4.1 Tipo y cantidad de herramientas

Existen en el mercado una gran cantidad de fabricantes de herramientas, Sandvik, Kennametal, Iscar, etc. Todos manejan herramientas tanto para torno como para fresa, algunas aplicaciones de fresado son el planeado, fresado en escuadra, fresado de ranuras y fresado de perfiles, para el maquinado de cavidades se utilizan las herramientas para el fresado de perfiles, como son los coromill plura ya sea con punta esférica o endmill, así como herramientas modulares con insertos esféricos, como se observa en la fig. 2.9 ([Sandvik coromant, 2002](#))

CAPÍTULO II

Una vez seleccionado el tipo de herramienta se define cuántas se utilizarán en el desbaste y cuántas para acabado, regularmente es una para cada operación y en algunas ocasiones una herramientas de diámetro pequeño para detallar algunas esquinas o perfiles.

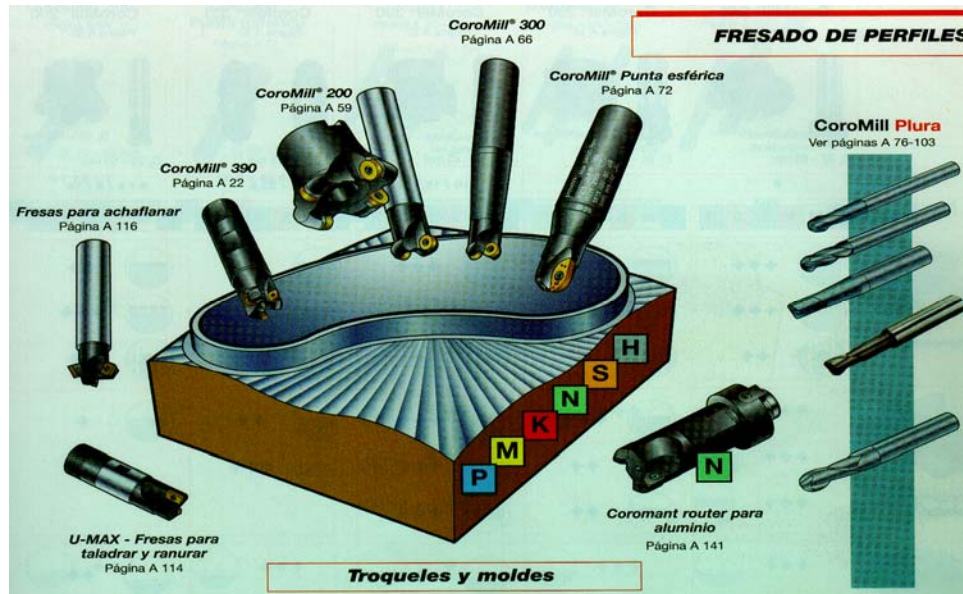


Fig. 2.9 Herramientas para cavidades

2.4.2 Parámetros de corte

Las variables a considerar en el maquinado son, (V_c) Velocidad de corte, (F_n) Avance por minuto, (F_z) Avance por filo, y (a_p) Profundidad de pasada, cada una de estas variables debe ser definida al iniciar la trayectoria de herramienta, estos datos se pueden tomar de la recomendación del fabricante de herramientas para alta productividad, la profundidad de pasada está en función del la geometría del inserto.

Perfilado - calidad 1620,1610

$$a_p \leq 0,05 \times D_{c2}$$

$$a_e < 0,05 \times D_{c2}$$



ISO	CMC	Velocidad de corte v_c m/min
P	02.1	340
M	05.21	190
K	08.2	250
N	30.21	1300
S	23.22	250
H	04.1	170

D_{c2} mm	Avance/diente f_z mm/z
2	0,015-0,02
3	0,03-0,04
4	0,04-0,07
5	0,05-0,09
6-7	0,06-0,10
8	0,09-0,11
9	0,06-0,12
10	0,07-0,12
12	0,08-0,13
14	0,08-0,15
16-20	0,09-0,16

Tabla 2.2 Datos de corte

CAPÍTULO II

La tabla 2.2 está ordenada según la clasificación ISO de materiales la cual define: P Acero, M Acero inoxidable, K Fundición, N Aleaciones de aluminio, S Aleaciones termoresistentes, H Materiales endurecidos. (Sandvik coromant, 2005)

Con la información anterior y sabiendo que la cavidad para el molde se fabrica en duraluminio con 180 brinell de dureza podemos calcular los parámetros de revoluciones y avance aplicando las ecuaciones que existen para este objetivo.

Los parámetros de corte de acuerdo a la tabla 2.2 para aleaciones de aluminio y una herramienta de 12 mm de diámetro con cuatro filos son:

Velocidad de corte (V_c) = 1300 m/min

Avance por filo (F_z) = 0.06 - 0.13 mm/z

$$\text{Revoluciones por minuto (R.P.M.)} = \frac{V_c \times 318}{D} = \frac{413400}{12} = 34,450 \text{ r.p.m}$$

Avance por minuto (F_n) = $Z \cdot F_z \cdot n = (4)(0.9)(34483) = 124138 \text{ mm/min}$

Profundidad de pasada (a_p) $\leq 0.05 * \text{Diámetro del cortador} = 0.6 \text{ mm}$

Las condiciones anteriores se aplican en el maquinado de alta velocidad, donde la máquina CNC alcanza hasta 40.000 revoluciones por minuto como la que se muestra en la figura 2.10



Fig. 2.10 Máquina de alta velocidad HSC 20 LINEAR

CAPÍTULO II

Área de trabajo X / Y / Z	200 / 200 / 280	mm
Gama de revoluciones	42.000	min-1
Gama de avance	40.000	mm/min
Marcha rápida X / Y / Z	40	m/min
Almacén de herramienta	24 (60)	
Sujeción ⁵	HSK 32	

2.4.3 Estrategias de maquinado en mastercam

Los paquetes de manufactura asistida cuentan con una gran variedad de estrategias de maquinado agrupadas en desbaste y en acabado como se muestra en las figuras 2.11 a y 2.11 b , las cuales deben ser utilizadas dependiendo del material, la herramienta y la geometría a maquinar, primeramente se utiliza una estrategia de desbaste, donde regularmente la herramienta es robusta para una máxima remoción de material y cuenta con corte al centro para reducir los esfuerzos axiales, en cambio, la herramienta de acabado que trabaja sobre la superficie de la geometría y remueve entre 0.5 y 1 milímetro de profundidad sigue trayectorias con una mínima separación entre cortes para un buen acabado superficial.

Mastercam cuenta con las siguientes estrategias en desbaste y acabado:

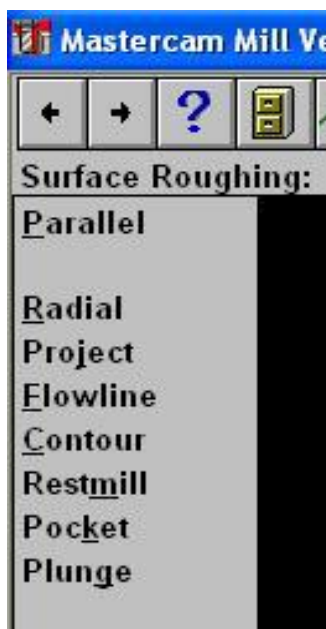


Fig.2.11 (a) Estrategias de desbaste en mastercam

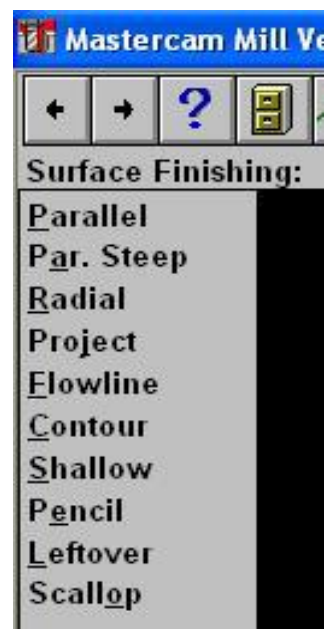


Fig. 2.11 (b) Estrategias de acabado en mastercam

CAPÍTULO II

Cuando la simulación virtual cumple con los requisitos de calidad y tiempos de manufactura se puede generar el código para maquinado, éste se obtiene ejecutando el postprocesador para el armario de control correspondiente, dicho postprocesador se debe desarrollar para cada máquina como sigue:

2.5 DESARROLLO DEL POSTPROCESADOR

2.5.1 Cinemática de la máquina cnc

Una definición de cinemática dice que es la parte de la mecánica que estudia las leyes del movimiento de los cuerpos sin tener en cuenta las causas que lo producen, así la cinemática de un CNC está definido por sus grados de libertad. La máquina que se utilizará cuenta con X Y Z como ejes ortogonales de movimiento, además del giro sobre X al cual le corresponde el eje A y el giro sobre Y el cual es el eje B como se muestra en la figura 2.12

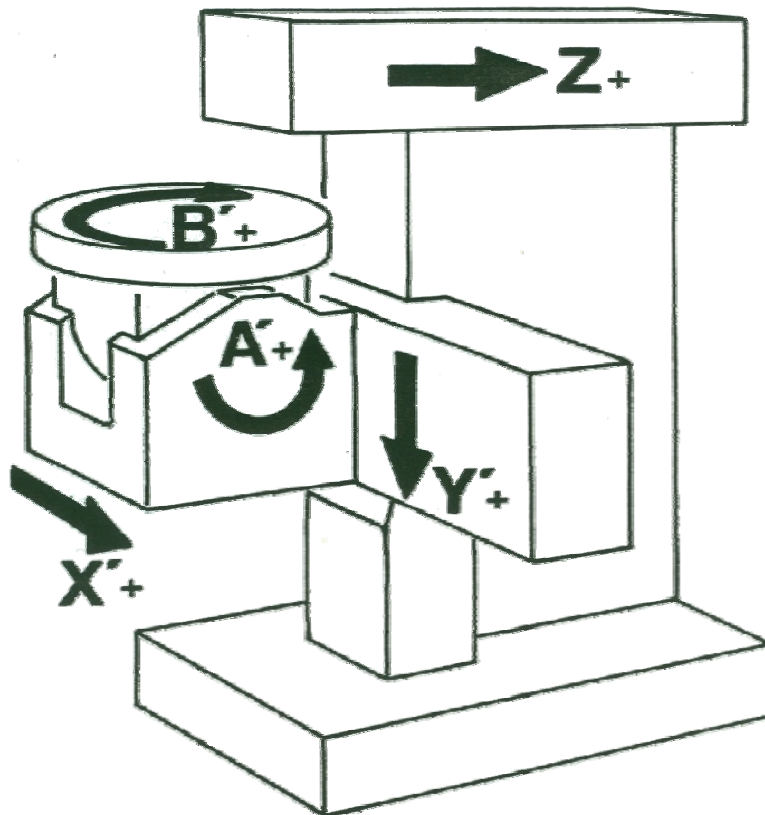


Fig. 2.12 Grados de libertad para una máquina CNC Maho 700S

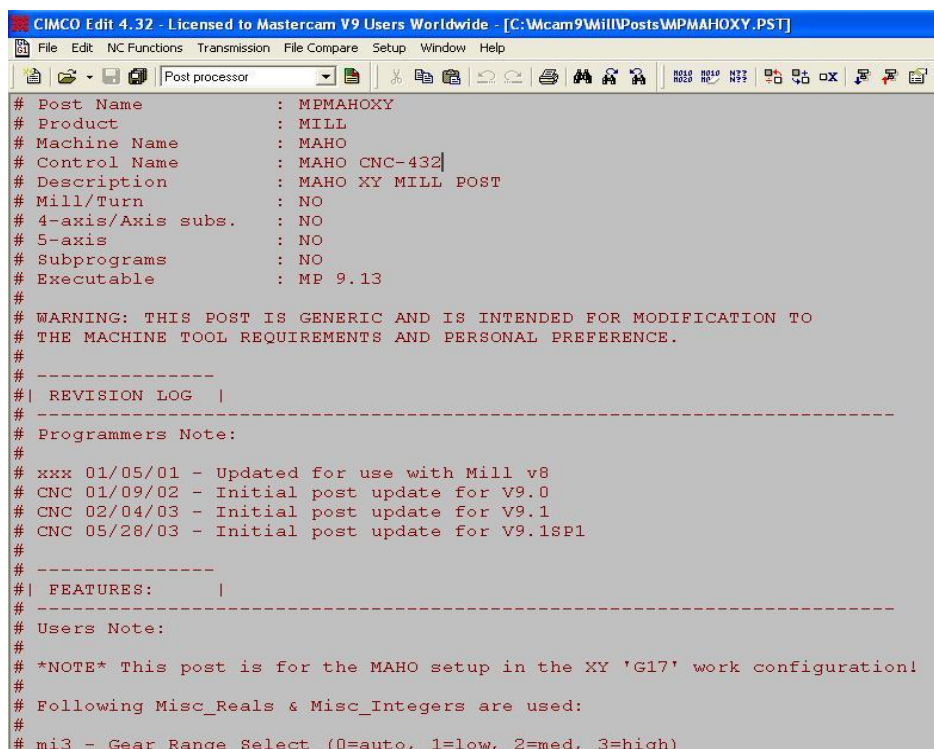
CAPÍTULO II

2.5.2 Estructura del postprocesador

Como se mencionó anteriormente el postprocesador es un programa de computadora en formato ASCII, el cual traduce el lenguaje de posición de herramienta en códigos que entiende la máquina CNC, su estructura de forma general consiste en nueve secciones, información general del postprocesador, depurar (debug), definición del formato del programa CN, asignación del formato, formulas y ciclos enlatados, etiquetas strings, postblocks definidos por el usuario, postbloks predefinidos y un sistema de preguntas⁶.

2.5.3 Información general del postprocesador

Esta información se escribe a forma de comentarios al inicio del archivo, con la finalidad de identificar fácilmente las características del postprocesador como son: tipo de máquina para el que fue elaborado y notas sobre las actualizaciones del propio programa, como se observa en la fig. 2.13

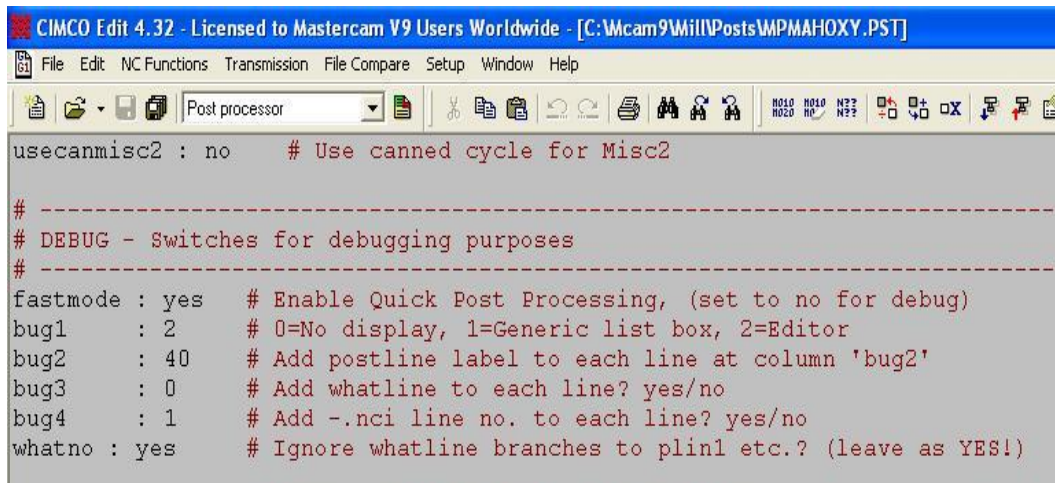


```
# Post Name      : MPMMAHOXY
# Product       : MILL
# Machine Name  : MAHO
# Control Name  : MAHO CNC-432
# Description   : MAHO XY MILL POST
# Mill/Turn    : NO
# 4-axis/Axis subs. : NO
# 5-axis       : NO
# Subprograms  : NO
# Executable   : MP 9.13
#
# WARNING: THIS POST IS GENERIC AND IS INTENDED FOR MODIFICATION TO
# THE MACHINE TOOL REQUIREMENTS AND PERSONAL PREFERENCE.
#
# -----
# | REVISION LOG |
# -----
# Programmers Note:
#
# xxx 01/05/01 - Updated for use with Mill v8
# CNC 01/09/02 - Initial post update for V9.0
# CNC 02/04/03 - Initial post update for V9.1
# CNC 05/28/03 - Initial post update for V9.1SP1
#
# -----
# | FEATURES: |
# -----
# Users Note:
#
# *NOTE* This post is for the MAHO setup in the XY 'G17' work configuration!
#
# Following Misc_Reals & Misc_Integers are used:
#
# mi3 - Gear Range Select (0=auto, 1=low, 2=med, 3=high)
```

Fig. 2.13 Información general del postprocesador

2.5.4 Depurar postprocesador

Las variables “bug 1,” “bug 2,” “bug 3,” y “bug 4” ayudan a interpretar como trabaja el postprocesador para procesar el archivo de posición de herramienta. Como se observa en la figura 2.14, se debe asignar un valor para indicarle al sistema la operación que deseamos se ejecute durante el proceso.

The image shows a screenshot of the CIMCO Edit 4.32 software interface. The title bar reads "CIMCO Edit 4.32 - Licensed to Mastercam V9 Users Worldwide - [C:\Wcam9\Mill\Posts\WMPMAHOXY.PST]". The menu bar includes "File", "Edit", "NC Functions", "Transmission", "File Compare", "Setup", "Window", and "Help". The toolbar contains various icons for file operations and editing. The main text area displays the following configuration for debug variables:

```
usecanmisc2 : no      # Use canned cycle for Misc2

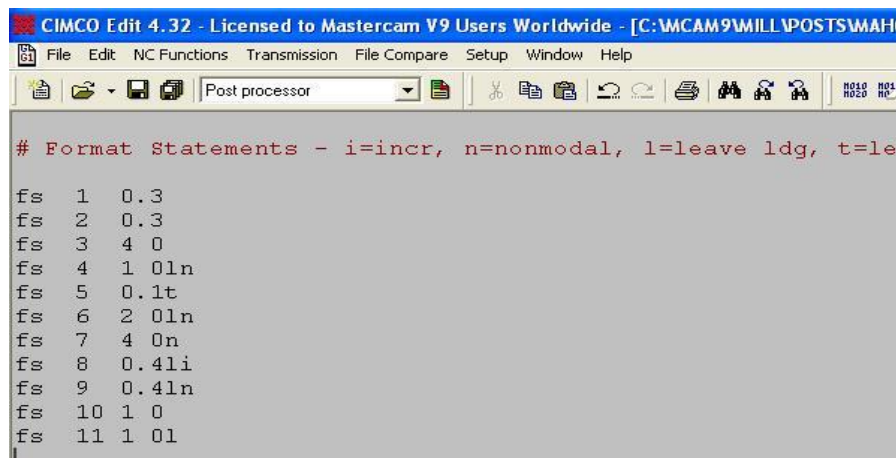
# -----
# DEBUG - Switches for debugging purposes
# -----

fastmode : yes      # Enable Quick Post Processing, (set to no for debug)
bug1      : 2       # 0=No display, 1=Generic list box, 2=Editor
bug2      : 40      # Add postline label to each line at column 'bug2'
bug3      : 0       # Add whatline to each line? yes/no
bug4      : 1       # Add -.nci line no. to each line? yes/no
whatno    : yes     # Ignore whatline branches to plin1 etc.? (leave as YES!)
```

Fig. 2.14 Variables debug

2.5.5 Definición del formato

Define la estructura de salida de los diversos valores que serán interpretados por el armario de control de la correspondiente máquina CNC, como son las coordenadas de los ejes, cambio de herramienta, avance, etc. Como se observa en la figura 2.15

The image shows a screenshot of the CIMCO Edit 4.32 software interface. The title bar reads "CIMCO Edit 4.32 - Licensed to Mastercam V9 Users Worldwide - [C:\Wcam9\Mill\Posts\WMAH...". The menu bar includes "File", "Edit", "NC Functions", "Transmission", "File Compare", "Setup", "Window", and "Help". The toolbar contains various icons for file operations and editing. The main text area displays the following format statements:

```
# Format Statements - i=incr, n=nonmodal, l=leave ldg, t=le

fs 1 0.3
fs 2 0.3
fs 3 4 0
fs 4 1 0ln
fs 5 0.1t
fs 6 2 0ln
fs 7 4 0n
fs 8 0.4li
fs 9 0.4ln
fs 10 1 0
fs 11 1 0l
```

Fig. 2.15 Definición de formato

CAPÍTULO II

Este formato numérico define la cantidad de dígitos con que contará el programa para ser interpretado por el armario de control. Como se muestra en la tabla 2.3

fs 1 2.4lt		
fs	Instrucción fs	
1	Número de formato	
2.4lt	Formato	
	2	2 lugares antes del punto decimal
	•	Incluye punto decimal
	4	4 Lugares después del punto decimal
	l	Mantener ceros iniciales (X00.12)
	T	Mantener ceros finales (X12.100)

Tabla 2.3 Definición de variable

Significado de las literales alfanuméricas en la definición de formato.

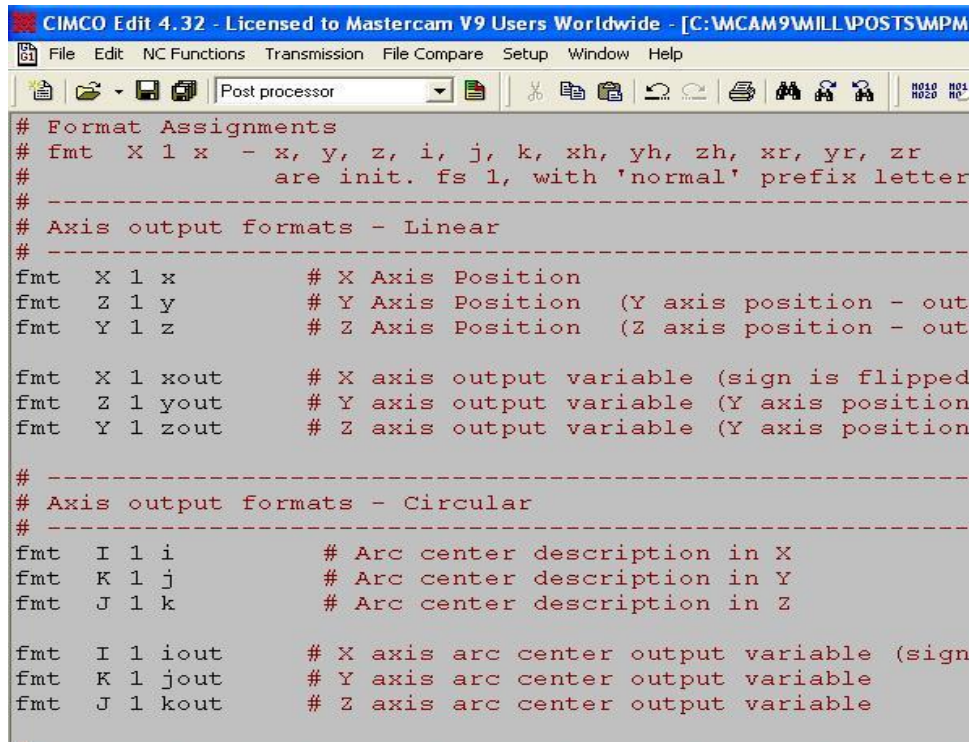
fs_1_+3.4ltnid

fs	*	Variable fs
_	*	Espacio usado para separar la variable fs del número de formato
1	*	Número de formato (1-30)
_	*	Espacio para separar número de formato de definición de formato
+	*	Salida de signo positivo si es requerido
3	*	Número de lugares antes del punto decimal
.		Separador decimal, punto o coma
4	*	Número de lugares después del punto decimal
l		Permite ceros iniciales
t		Permite ceros finales
n		Nomodal
i		Incremental
d		Usado en formato I,J,K cuando la variable arctype es incremental

“Las variables con asterisco se deben indicar, las demás son opcionales”

2.5.6 Asignación del formato

Asigna los valores definidos en la etapa anterior, es decir, el formato numérico para todas las variables, la sintaxis en el postprocesador se muestra en la figura 2.16



```
# Format Assignments
# fmt X 1 x - x, y, z, i, j, k, xh, yh, zh, xr, yr, zr
# are init. fs 1, with 'normal' prefix letter
# -----
# Axis output formats - Linear
# -----
fmt X 1 x          # X Axis Position
fmt Z 1 y          # Y Axis Position (Y axis position - out
fmt Y 1 z          # Z Axis Position (Z axis position - out

fmt X 1 xout       # X axis output variable (sign is flipped
fmt Z 1 yout       # Y axis output variable (Y axis position
fmt Y 1 zout       # Z axis output variable (Y axis position

# -----
# Axis output formats - Circular
# -----
fmt I 1 i          # Arc center description in X
fmt K 1 j          # Arc center description in Y
fmt J 1 k          # Arc center description in Z

fmt I 1 iout       # X axis arc center output variable (sign
fmt K 1 jout       # Y axis arc center output variable
fmt J 1 kout       # Z axis arc center output variable
```

Fig. 2.16 Asignación del formato

La asignación se establece con la variable (fmt) y su sintaxis es la siguiente:

fmt_ "X" _1_x

fmt * Variable fmt

_ * Espacio utilizado para separar la variable fmt del prefijo

X Prefijo

_ * Espacio utilizado para separar el prefijo del número de definición

1 * Número de definición

_ * Espacio utilizado para separar el número de definición de la variable

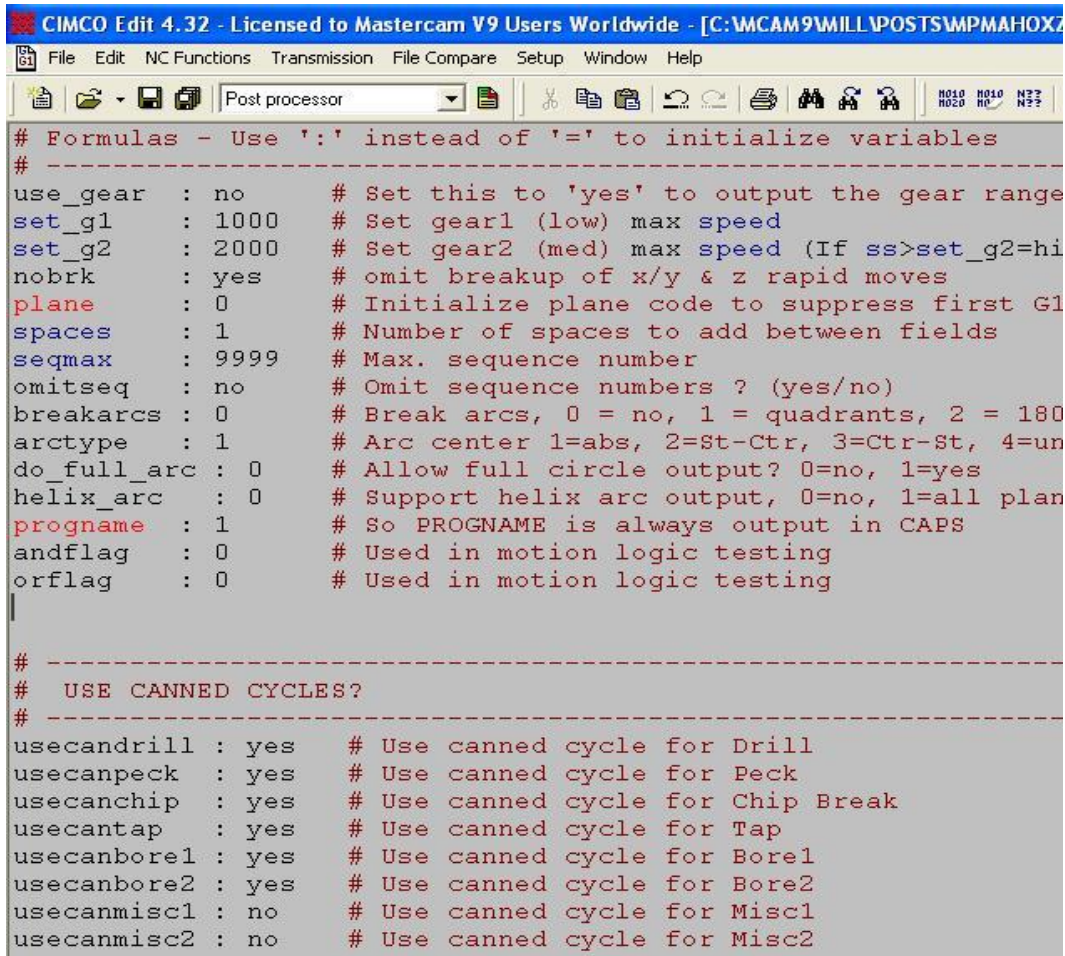
X * Variable predefinida

“Las variables con asterisco se deben indicar, las demás son opcionales”

CAPÍTULO II

2.5.7 Fórmulas y ciclos enlatados

Todas las variables son inicializadas en cero excepto la hora, fecha, pi, deg2rad, rad2deg, las cuales varían según el proceso, sin embargo, el usuario puede crear una lista de inicialización con sus propios valores, como se muestra en la figura 2.17



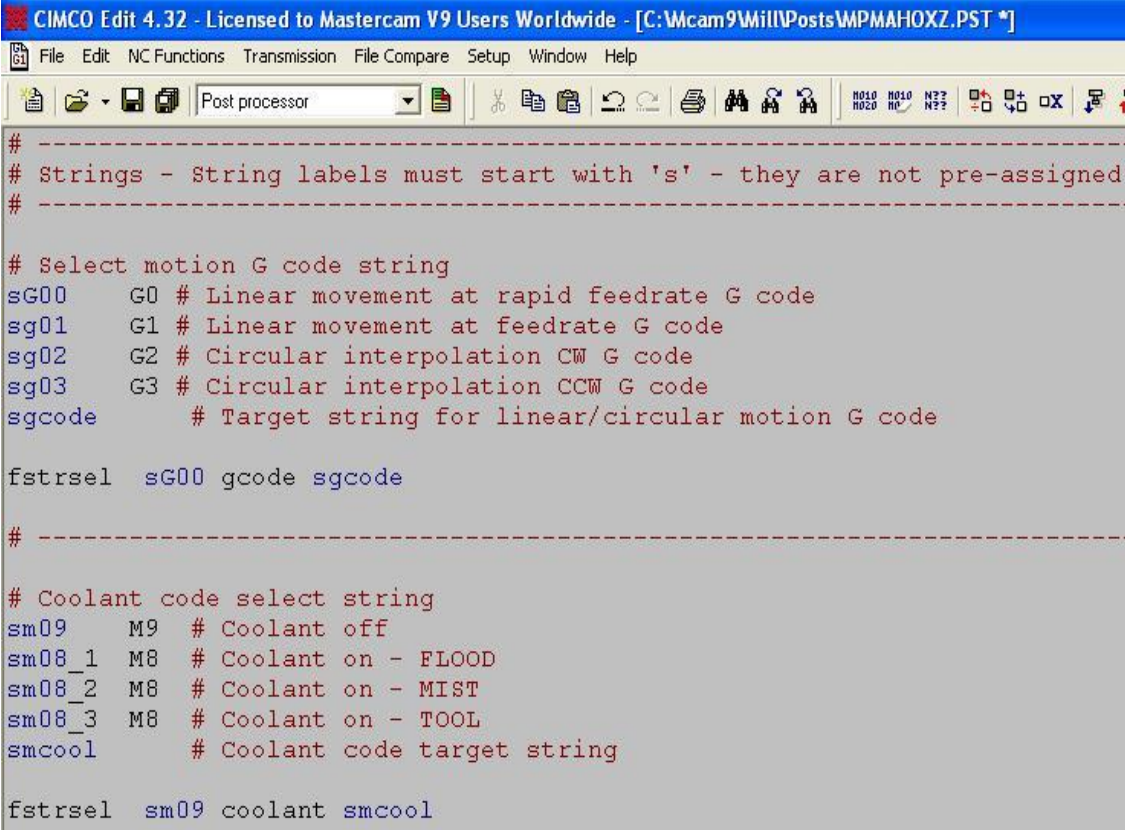
```
CIMCO Edit 4.32 - Licensed to Mastercam V9 Users Worldwide - [C:\MCM9\MILL\POSTS\MPMAHOXZ
File Edit NC Functions Transmission File Compare Setup Window Help
Post processor
# Formulas - Use ':' instead of '=' to initialize variables
# -----
use_gear : no      # Set this to 'yes' to output the gear range
set_g1   : 1000   # Set gear1 (low) max speed
set_g2   : 2000   # Set gear2 (med) max speed (If ss>set_g2=hi
nobrck   : yes    # omit breakup of x/y & z rapid moves
plane    : 0      # Initialize plane code to suppress first G1
spaces   : 1      # Number of spaces to add between fields
seqmax   : 9999   # Max. sequence number
omitseq  : no     # Omit sequence numbers ? (yes/no)
breakarcs : 0    # Break arcs, 0 = no, 1 = quadrants, 2 = 180
arctype  : 1      # Arc center 1=abs, 2=St-Ctr, 3=Ctr-St, 4=un
do_full_arc : 0   # Allow full circle output? 0=no, 1=yes
helix_arc : 0     # Support helix arc output, 0=no, 1=all plan
programe : 1      # So PROGRAMME is always output in CAPS
andflag  : 0      # Used in motion logic testing
orflag   : 0      # Used in motion logic testing

# -----
# USE CANNED CYCLES?
# -----
usecandrill : yes # Use canned cycle for Drill
usecanpeck  : yes # Use canned cycle for Peck
usecanchip  : yes # Use canned cycle for Chip Break
usecantap   : yes # Use canned cycle for Tap
usecanbore1 : yes # Use canned cycle for Bore1
usecanbore2 : yes # Use canned cycle for Bore2
usecanmisc1 : no  # Use canned cycle for Misc1
usecanmisc2 : no  # Use canned cycle for Misc2
```

Fig. 2.17 Fórmulas y ciclos

2.5.8 Etiquetas strings

Una etiqueta STRING inicia con la letra “s” y está dividida en dos partes, primero la lista de selección y después el target como se muestra en la figura 2.18, algunas veces la etiqueta STRING se encuentra en una línea del postprocesador, en este caso el dato de salida es directo al archivo NC. Por ejemplo si la línea “n, sm08” es procesada, el código NC será, N50 M8, sin embargo si se utiliza de esta manera no es modal.



```
# -----  
# Strings - String labels must start with 's' - they are not pre-assigned  
# -----  
  
# Select motion G code string  
sG00 G0 # Linear movement at rapid feedrate G code  
sg01 G1 # Linear movement at feedrate G code  
sg02 G2 # Circular interpolation CW G code  
sg03 G3 # Circular interpolation CCW G code  
sgcode # Target string for linear/circular motion G code  
  
fstrsel sG00 gcode sgcode  
  
# -----  
  
# Coolant code select string  
sm09 M9 # Coolant off  
sm08_1 M8 # Coolant on - FLOOD  
sm08_2 M8 # Coolant on - MIST  
sm08_3 M8 # Coolant on - TOOL  
smcool # Coolant code target string  
  
fstrsel sm09 coolant smcool
```

Fig. 2.18 Definición de string

2.5.9 Blocks para postprocesador

Un postblock consiste de uno o más postline, los postline son una colección de argumentos separados por comas que nunca están en la primera columna y son de diferentes tipos, booleanas, definiciones, formulas, strings, etc. Los postblocks deben iniciar con la letra “p” y deben estar en la primera columna, como se muestra en la figura 2.19. Un postblock definido por usuario es igual a un postblock predefinido, la única diferencia es que el definido por usuario solo puede ejecutarse si lo llama otro postblock.

```
# User-defined Postline labels starting with 'p'
# End a line with ',' to continue on the next line
# -----

pinit      # Initialize Vars
          prv_feed = 999.999
          prv_x = 999.999
          prv_z = 999.999

pgear_calc # Auto Gear Range Calculation
          if speed < set_g2, gear = 2
          if speed < set_g1, gear = 1
          if speed > set_g2, gear = 3

pgear      # Gear Range
          if gear = 0, pgear_calc # Auto calc gear
          else, *sgear

prange     # Find spindle range
          gear = mi3
          if use_gear = yes, pgear

pcomment   # Manual Entry - COMMENTS
          # "comment string" is passed to .PST in '
          # "(" , scomm, "'

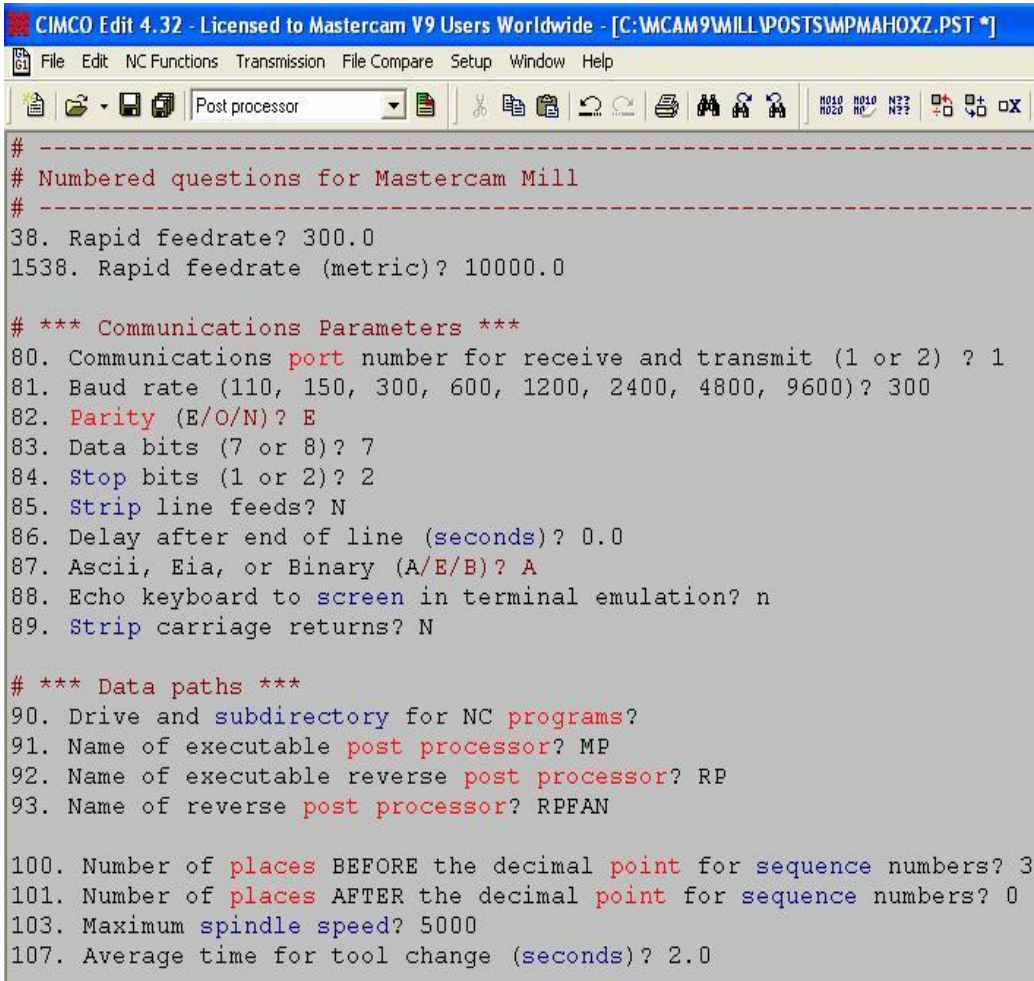
pccdia2    # Cutter Compensation2
          if ccomp <> 4, tloffno

pccdia     # Cutter Compensation
          if ccomp <> 0, pccdia2
```

Fig. 2.19 Postblocks

2.5.10 Sistema de preguntas en mastercam

Una serie de preguntas se enlistan al final del postprocesador con la finalidad de configurar el software Mastercam de acuerdo al postprocesador activo, estas preguntas no afectan la operación del postprocesador pero sí cómo opera el software. Este conjunto de preguntas son leídas cuando se carga un postprocesador o cuando es editado por el sistema, permite ignorar cambios de configuración necesarios en el software al cargar un postprocesador, como se muestra en la fig. 2.20 (Post Processor User Guide 1994)



```
CIMCO Edit 4.32 - Licensed to Mastercam V9 Users Worldwide - [C:\WCAM9\MILL\POSTS\WMPMAHOXZ.PST *]
File Edit NC Functions Transmission File Compare Setup Window Help
Post processor
# -----
# Numbered questions for Mastercam Mill
# -----
38. Rapid feedrate? 300.0
1538. Rapid feedrate (metric)? 10000.0

# *** Communications Parameters ***
80. Communications port number for receive and transmit (1 or 2) ? 1
81. Baud rate (110, 150, 300, 600, 1200, 2400, 4800, 9600)? 300
82. Parity (E/O/N)? E
83. Data bits (7 or 8)? 7
84. Stop bits (1 or 2)? 2
85. Strip line feeds? N
86. Delay after end of line (seconds)? 0.0
87. Ascii, Eia, or Binary (A/E/B)? A
88. Echo keyboard to screen in terminal emulation? n
89. Strip carriage returns? N

# *** Data paths ***
90. Drive and subdirectory for NC programs?
91. Name of executable post processor? MP
92. Name of executable reverse post processor? RP
93. Name of reverse post processor? RPFAN

100. Number of places BEFORE the decimal point for sequence numbers? 3
101. Number of places AFTER the decimal point for sequence numbers? 0
103. Maximum spindle speed? 5000
107. Average time for tool change (seconds)? 2.0
```

Fig. 2.20 Sistema de preguntas en mastercam

CAPÍTULO II

2.5.11 Código de control numérico

El siguiente programa contiene trayectorias para maquinado de un contorno rectangular del cual se muestra su simulación en el CD anexo. El programa se obtuvo utilizando el postprocesador desarrollado en el presente trabajo, el programa contiene en la línea 5 el plano de trabajo XZ y en la línea 7 el cero pieza, la línea 9 llama la herramienta 1 con 1909 rpm y en la línea 11 arranca el husillo conectando con arcos y rectas (G1,G2,G3) el contorno, todos los programas terminan con M30, como se muestra en la figura 2.21. Este postprocesador fue adaptado a una máquina maho 700 S con control Philips 432.

```
%PM
N9999
N1 (MAESTRIA )
N3 ( Fecha 20-02-09 Hora 10:47 )
N5 G18
N7 G52
N9 S1909 T1 M6
N11 M3
N13 G0 X5. Z-41.204
N15 G0 Y50.
N17 G1 Y0. F500.0
N19 Z-36.204 F1000.0
N21 G2 X0. Z-31.204 I0. K-36.204
N23 G1 X-43.63
N25 G3 X-59.908 Z-14.926 I-43.63 K-14.926
N27 G1 Z14.926
N29 G3 X-43.63 Z51.204 I-43.63 K14.926
N31 X59.908 Z14.926 I43.63 K14.926
N33 G1 Z-14.926
N35 G3 X43.63 Z-31.204 I43.63 K-14.926
N37 G1 X0.
N39 G2 X-5. Z-36.204 I0. K-36.204
N41 G1 Z-41.204
N43 Y10. F500.0
N45 G0 X0. Z5.
N79 M30

```

Fig. 2.21 Programa de control numérico

CAPÍTULO II

El programa de control numérico es enviado a la máquina por medio de cable serial, el cual se configura de acuerdo al armario de control para iniciar el maquinado, como se menciona a continuación.

2.6 COMUNICACIÓN Y MAQUINADO

2.6.1 Puerto serial y dnc

Actualmente las máquinas CNC cuentan con disco duro en su armario de control así como comunicación por medio de red para almacenar e intercambiar programas, otro dispositivo muy ampliamente utilizado es el USB (Universal Serial Bus), aparte de los anteriores, algunas máquinas cuentan con la comunicación serial RS 232 C , la cual requiere de cable previamente configurado para cada marca de máquina, la máquina maho 700 S requiere la configuración de cable que se muestra en la figura 2.22.

Esta máquina cuenta con un armario de control Philips 432 el cual tiene una capacidad de almacenamiento de 256 K, sería imposible correr un programa mayor a esa capacidad, para estos casos se utiliza el DNC (*Direct Numerical Control*) el cual envía información mientras se está maquinado la pieza y posteriormente la elimina para evitar saturar el armario de control.

Por ejemplo, para transmitir un programa de 12MB a 9600 bauds.

$$\frac{(12 * 10^6) \text{ byte}}{9600 \text{ bits / seg.}} = 1250 \text{ seg.} = 21 \text{ min.}, \text{ es el tiempo que tarda en cargar el programa}$$

como la memoria del CNC no es suficiente se cuenta con la opción BTR (*Behind Tape Reader*) con la cual se fija el DNC.

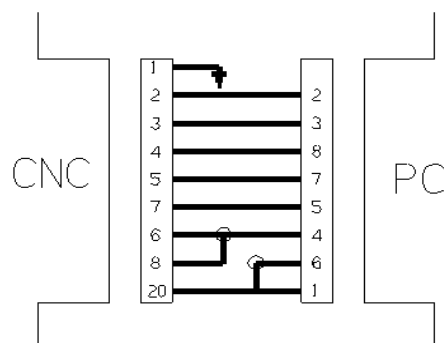


Fig. 2.22 Configuración de cable RS 232C

2.6.2 Maquinado

Para iniciar la operación de maquinado se requiere preparar la máquina CNC, primeramente se montan las herramientas que necesita el proceso de acuerdo a la geometría a maquinar, en el caso de cavidades se recomienda utilizar herramientas robustas y de máxima remoción para el desbaste así como una herramienta esférica para el acabado con un radio menor al que tenga la geometría, como las que se muestran en las figuras 2.23 a y 2.23 b



Fig. 2.23 (a) Herramienta de desbaste



Fig.2.23 (b) Herramienta de acabado

La información de las herramientas debe ser almacenada en un espacio de memoria reservado en el control del CNC, se guarda el número de herramienta, el radio de la punta y su longitud. En la mesa de trabajo se ubica el material según el sistema de coordenadas establecido en el software para definir el cero pieza e iniciar el maquinado.

En el presente capítulo se realizó un recorrido de las actividades que involucran la fabricación de cavidades o componentes irregulares y el postprocesador lo cual sirve para entender la importancia de cada una de las etapas, así mismo en el siguiente capítulo se analizará el proceso de ingeniería inversa como base en el desarrollo de productos y inicio de la metodología propuesta.

CAPÍTULO III

CAPITULO III INGENIERÍA INVERSA

El presente capítulo analiza los aspectos importantes del proceso de ingeniería inversa, (como se ilustra en la tabla 3.1), donde se explica el digitalizado aplicado a una botella con la finalidad de reproducir las cavidades del molde. Se explica la posibilidad de realizar la digitalización utilizando máquinas de medición por coordenadas o sistemas ópticos sin contacto, para obtener una nube de puntos. Se realiza una comparación de ambos métodos de digitalizado que permitan una rápida concepción de la idea para llegar a la construcción de un prototipo tridimensional como una primera presentación del producto.

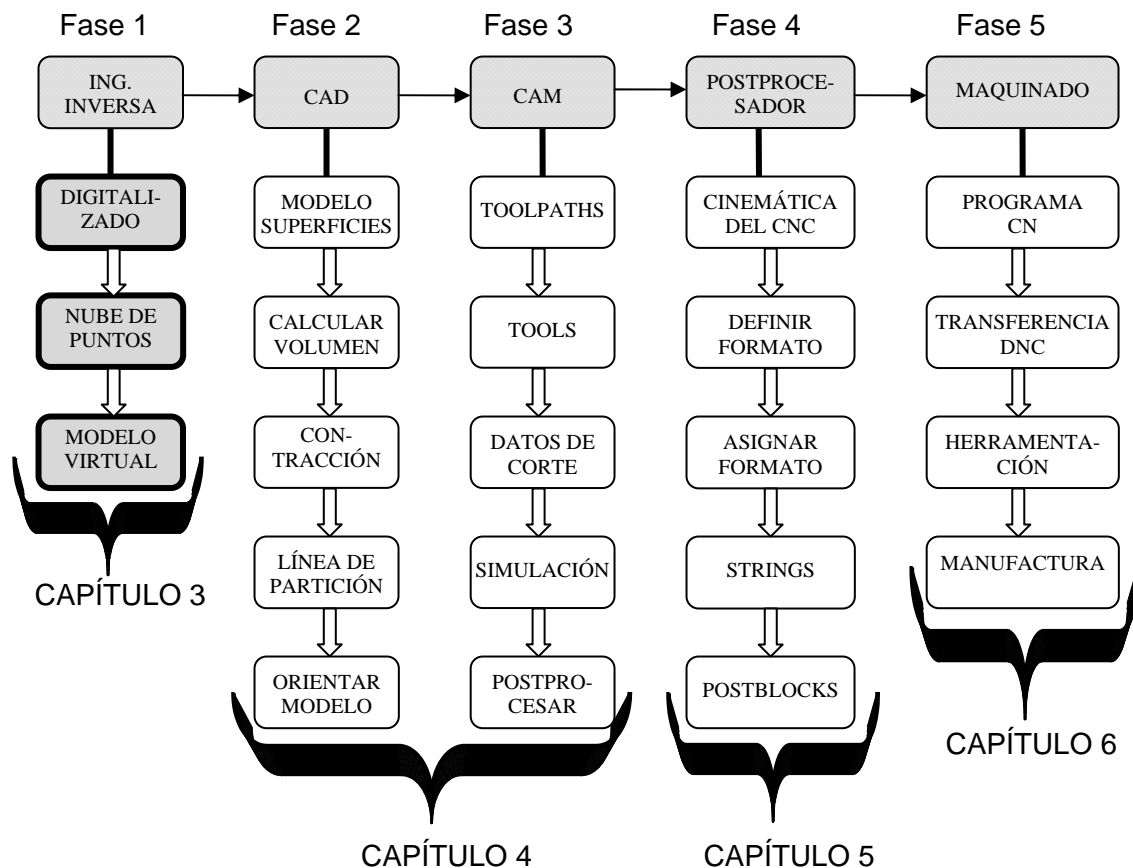


Tabla 3.1 Fase 1, Etapa Ingeniería inversa

3.1 INTRODUCCIÓN

La ingeniería inversa es una técnica de diseño de productos complicada, que requiere de profesionales experimentados con alta capacidad. Actualmente es uno de los elementos diferenciadores de las empresas con procesos de diseño avanzados. Es una ciencia aún poco estudiada pero que en los últimos años ha tenido un gran desarrollo por lo que la investigación en este campo es fundamental para poder competir en un mercado abierto y globalizado.

Una definición de ingeniería inversa dice que es la parte de la ingeniería que se encarga de la reproducción exacta de un modelo físico ya existente. Para ello se invierte el orden lógico del diseño, empezando por lo tangible para llegar a lo abstracto y posteriormente reproducirlo.

En muchas ocasiones es necesario rediseñar una pieza sin disponer de planos o información geométrica sobre la misma, en estos casos es donde interviene la ingeniería inversa, la cual se basa en generar a partir de modelos físicos un archivo informático, de modo que a partir de una pieza materializada se puede obtener su modelo en formato electrónico y trabajar como si se hubiera diseñado originalmente en el sistema.

3.2 PROCESO DE LA INGENIERÍA INVERSA

A partir de una pieza real o un modelo construido a propósito es posible obtener una nube de puntos mediante un proceso de digitalizado, dicha nube corresponde a la superficie del componente a procesar. Con esta nube de puntos es posible llevar a cabo tres tareas:

- a) Generar directamente el programa de control numérico para fabricar la pieza o el modelo con una fresa cuyo radio sea igual al del palpador que realizó el digitalizado.
- b) Introducir en un sistema (CAM) *Computer Aided Manufacturing*, la nube de puntos y generar a partir de los datos las operaciones necesarias para fabricar la pieza, pudiendo en este caso emplear cualquier radio de herramienta.

CAPÍTULO III

- c) Introducir a un sistema (CAD) *Computer Aided Design*, la nube de puntos para obtener la geometría de la pieza mediante una superficie matemática que se ajuste a la nube. (Alcaide, J 2004)

Para el desarrollo del presente trabajo se aplica la tercera opción, ya que es el método que garantiza una mejor calidad en el proceso de manufactura una vez que se exporta la superficie obtenida a un sistema (CAM) *Computer Aided Manufacturing* para generar los correspondientes programas de control numérico de desbaste y acabado para fabricar la pieza, o generar los moldes de la misma.

Además, es posible pasar la superficie obtenida por un módulo para modelado con sólidos con la finalidad de generar un archivo (STL) *Stereolithography*, que permita fabricar un prototipo de la pieza con un sistema de fabricación rápida de prototipos.

Existen 2 causas por las cuales se debe digitalizar:

- a). Cuando se dispone de una pieza de la cual no se tiene su modelo en computadora y éste se requiere para realizar procesos de análisis o manufactura.
- b). Cuando se requiere modelar una pieza con superficies demasiado complejas, por lo que se modela físicamente sobre un material adecuado como puede ser madera, espumas, o resinas para su posterior digitalizado.

El término "Digitalización tridimensional", apareció a finales de la década de los 90, designa las técnicas de adquisición de medidas tridimensionales. Los digitalizadores tridimensionales nos permiten construir modelos (CAD) *Computer Aided Design*, a partir de objetos físicos. El digitalizado consiste en obtener información de la superficie de un objeto real en formato electrónico. Básicamente se trata de un rastreo tipo escáner en 3 dimensiones. En una computadora se obtiene una nube de puntos en coordenadas cartesianas X,Y, Z, correspondientes a la superficie digitalizada. Los principales sistemas para realizar esta operación están basados en máquinas de metrología tridimensional, fresadoras CNC o mediante sistemas de visión artificial. (Alcaide, J. 2004)



Fig. 3.1 Digitalizado por contacto

En una máquina de medición por coordenadas tridimensional CNC, los ejes están accionados por motores y la posición se controla mediante los encoders. Figura 3.1. El cabezal lleva un palpador que al tocar físicamente la pieza registra las coordenadas del centro de la punta del palpador. El control de la máquina de coordenadas debe disponer de un software para realizar el proceso de digitalizado de forma automática, almacenar adecuadamente las coordenadas de los puntos medidos y exportar dicha información a un sistema (CAD) *Computer Aided Design*, en general puede ser en formato "IGES" o algún otro que soporte la geometría.

Existen distintos sistemas de digitalización tridimensional, que principalmente se pueden dividir en dos grandes grupos: sistemas con contacto o sin contacto.

3.2.1 *Digitalizado por contacto*

Estos sistemas de digitalización tridimensional son los más antiguos. Principalmente se emplean para la verificación dimensional de piezas industriales. Con estos sistemas se obtienen las coordenadas de los puntos gracias al desplazamiento de una punta sobre la superficie a digitalizar.

En la actualidad existen cabezales de digitalización continua, la velocidad de adquisición de datos se incrementa notablemente respecto a los cabezales convencionales, ya que éstos no se separan de la superficie a digitalizar.

Otro tipo de sistema de digitalización tridimensional con contacto son los brazos articulados de operación manual. Estos poseen una elevada precisión; pero por el contrario tienen una velocidad de adquisición de datos muy baja, ya que se necesita llevar manualmente la punta a cada punto que se quiera digitalizar, con lo cual la digitalización de un objeto de tamaño medio resulta muy costosa.

Para emplear estos sistemas por contacto, se necesita que las piezas tengan la rigidez suficiente para que no se deformen con el contacto de la punta, y debido a la geometría de las puntas es imposible digitalizar algunas ranuras y ángulos interiores; estas puntas poseen una elevada resolución.

3.2.2 *Digitalizado sin contacto*

La principal ventaja de los digitalizadores tridimensionales sin contacto es que tienen una velocidad de adquisición de datos muy superior a las de los digitalizadores con contacto. Es posible dividir las técnicas de digitalización sin contacto en dos grandes grupos:

3.2.3 *Técnica de visión pasiva*

El sistema visual humano permite obtener información de profundidad mediante la fusión de dos escenas monoculares, que son las escenas que captan cada uno de nuestros ojos. Este sistema permite ver tridimensionalmente y es conocido como principio de visión estereoscópica. Dicho principio se basa en utilizar dos puntos de vista de un mismo objeto para encontrar las coordenadas tridimensionales. Para determinar la posición de un punto a partir de dos imágenes es necesario tener un modelo del sistema óptico utilizado, este principio general puede mejorarse con modelos de cámaras más elaborados o utilizando más de dos cámaras, lo que se conoce con el nombre de fotogrametría. La visión estereoscópica presenta el interés de poder dar la posición tridimensional de puntos sobre las superficies independientemente de la iluminación específica.

3.2.4 *Técnica de visión activa*

Estas técnicas son las que hacen intervenir una fuente de luz específica para determinar las coordenadas tridimensionales de los puntos de medida. Los sistemas ópticos se fundamentan en el cálculo de la profundidad, estos sistemas ópticos constan siempre como mínimo de un emisor de luz y un receptor. Conociendo la dirección del rayo emitido y la del recibido se obtienen las dimensiones del triángulo formado y por lo tanto se obtiene la profundidad del punto inspeccionado.

3.3 AJUSTE DE SUPERFICIES

El ajuste de superficies consiste en crear en un software de diseño superficies matemáticas que se ajustan a la superficie real basándose en la nube de puntos obtenida del digitalizado. El proceso se puede realizar con un palpador discreto o dinámico para lo cual se requiere de un programa de diseño capaz de generar las superficies a través de un módulo de generación de superficies avanzadas, el cual permite la creación de curvas que coinciden con los puntos palpados en distintos planos del modelo, posteriormente basándose en estas curvas, se crean las superficies que coinciden con la forma del modelo.

Con un palpado continuo o láser los requerimientos son mayores ya que además del sistema de diseño se requiere un módulo adicional que ayuda a pasar de la densa nube de puntos a superficies, regularmente se trata de programas exclusivos para este objetivo el cual requiere un hardware más potente para manejar archivos de datos muy grandes.

Con programas y equipos especiales, el ajuste de superficies se puede realizar relativamente rápido, siempre y cuando el diseñador tenga los conocimientos y experiencia necesaria para desarrollar todo tipo de superficies.

Existen dos métodos para crear superficies a partir del digitalizado:

- a) De las superficies a los puntos: Con este método un diseñador crea desde cero superficies que parecen seguir los puntos palpados pero sin tenerlos en cuenta,

CAPÍTULO III

posteriormente se comparan las superficies con los puntos y se refinan hasta obtener una concordancia aceptable. Este método se emplea cuando no es tan importante reproducir fielmente el modelo y en cambio se desea un modelo sencillo, rápido y coherente, como se muestra en la figura 3.2

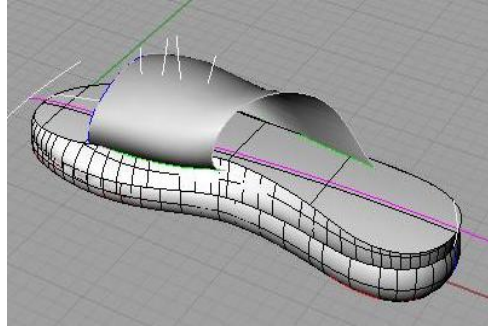


Fig. 3.2 Modelo de reproducción rápida

- b) De los puntos a la superficie: Se parte de un digitalizado muy pesado como es el obtenido por el digitalizado sin contacto o láser con la finalidad de conseguir los parámetros básicos para crear las superficies, como se muestra en la figura 3.3.

Los puntos digitalizados son agrupados en curvas tipo spline, las curvas digitalizadas deben parecerse lo más posible a los parámetros de las superficies. Esquemáticamente, consiste en obtener información de curvas perpendiculares entre sí, constituyendo una retícula cuadrada. Esta retícula permite fácil modelación del digitalizado utilizando funciones de creación de superficies a partir de redes de curvas. (Alcaide, J. 2004)

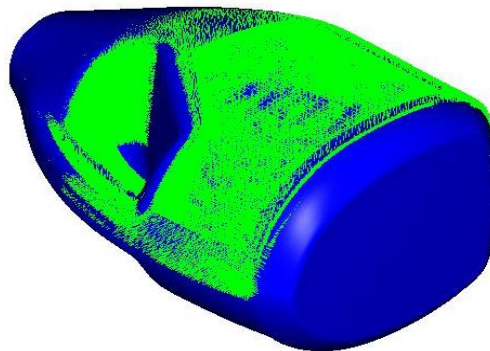


Fig. 3.3 Modelo a partir de puntos

3.4 PROTOTIPOS

Un prototipo es una parte importante en el desarrollo de nuevos productos ya que funciona como modelo idéntico al original, una definición de prototipo dice que es la primera aproximación original de algo que ha sido copiado o desarrollado como una versión preliminar.

La definición de prototipo contiene tres aspectos interesantes:

- 1) Implementación del prototipo. Se realiza poniendo a funcionar los prototipos en el ensamble como una primera aproximación de funcionamiento.
- 2) Forma del prototipo. Su análisis va de un prototipo virtual a un prototipo físico.
- 3) Grado de aproximación del prototipo. De una representación burda a una réplica exacta del producto.

Como se muestra en el prototipo de la figura 3.4 que ilustra la definición del término.

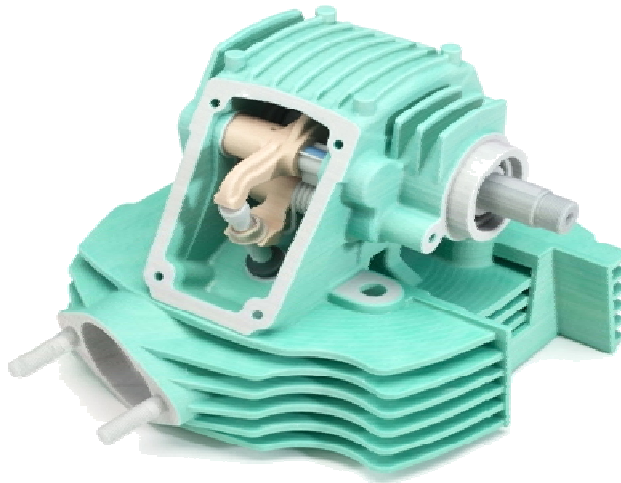


Fig. 3.4 Prototipo de un mecanismo

Las funciones de los prototipos en el desarrollo de productos son:

- 1) Experimental y de aprendizaje
- 2) Pruebas y blindaje

CAPÍTULO III

- 3) Interacción y comunicación
- 4) Integración y síntesis
- 5) Programación y mercadotecnia

La elaboración de prototipos se divide en cuatro áreas: suministro, método, materiales y aplicaciones, como se describe a continuación:

Suministros.

Se refiere a la información electrónica que describe el objeto físico en 3D, existen dos posibles puntos de inicio, puede ser un modelo en computadora o un modelo físico. El modelo en computadora creado en un paquete de diseño puede ser ya sea un modelo en superficies o un modelo en sólido. Mientras que a partir del modelo físico es necesario una adquisición de datos a través de digitalizado para construir el modelo.

Método.

Los métodos empleado en la fabricación de prototipos están clasificados en, fotocurado, corte y pegado, fundir y solidificar y unir compactando. El proceso de fotocurado además se divide en láser único, láser doble y lámpara oculta.

Material.

El material para los diversos prototipos puede encontrarse en estado sólido, líquido o en forma de polvo; cuando se suministra en estado sólido puede venir en forma de pellets, alambres o láminas, el rango total de materiales para prototipos incluye papel, nylon, cera, resina, metal y cerámica.

Aplicación.

Muchos prototipos son terminados o retocados antes de que sean instalados en sus respectivas aplicaciones, ya que cierto nivel de tolerancia puede variar dependiendo del material en que se fabrican, las aplicaciones se incluyen en tres áreas. a) Diseño b) Ingeniería, análisis y planeación y c) Herramientas y manufactura

3.5 APLICACIONES DE LA INGENIERÍA INVERSA

Las principales aplicaciones se encuentran acompañadas de las tecnologías CAD/CAM/CAE, como se muestra a continuación:

- a) Análisis del comportamiento de la pieza. Para poder realizar análisis de resistencia, deformaciones, efecto de las vibraciones, gradientes de temperatura, etc., en una pieza empleando paquetes (CAE) *Computer Aided Engineering*, es necesario disponer previamente del modelo en computadora de la pieza.
- b) Fabricación de moldes. Tradicionalmente los moldes se obtenían en una fresadora copiadora, un pantógrafo o un torno copiadore, por copiado del negativo de la pieza a obtener, negativo que se consigue aplicando resinas al modelo físico o previo maquinado de plantillas. Actualmente a partir del digitalizado de la pieza a obtener se generan las superficies en un sistema (CAD) *Computer Aided Design*, y se diseña el molde completo en dicho sistema, simulando el llenado del molde y los gradientes de temperatura durante el proceso. Finalmente en un sistema (CAM) *Computer Aided Manufacturing*, se generan los programas de control numérico para el maquinado del molde.
- c) Rediseño estético. Se trata de mejorar y reproducir un modelo de la pieza obtenido generalmente por métodos manuales. A partir del digitalizado del modelo inicial, se crea el modelo (CAD) *Computer Aided Design*, en el cual se imponen condiciones de simetría, radios de unión, y geometrías especificadas, respondiendo a razones normalmente estéticas. Dentro del sistema es posible diseñar la parte oculta de la pieza, espesores del material, nervios de refuerzo, cavidades, anclajes, etc. Posteriormente la pieza puede ser tratada en un sistema (CAM) *Computer Aided Manufacturing*, para obtener programas de CN o enviarla a una producción de prototipo rápido.

En general, cualquier aplicación que precise un modelo informático de la pieza del cual no se disponga todavía. El digitalizado permite obtener un archivo de pieza como si éste hubiese sido modelado, por lo que a partir del mismo es posible cualquier aplicación específica de diseño asistido por computadora.

3.6 INGENIERÍA INVERSA EN LA MANUFACTURA DE CAVIDADES

Como se menciona en el segundo inciso sobre las aplicaciones de la ingeniería inversa en la fabricación de herramientas, y continuando en esa dirección, el presente tema desarrolla las etapas para obtener las cavidades de un molde de soplado para una botella, la cual mantiene una geometría irregular en el cuerpo y cuenta con asa de sujeción. Estos recipientes no son fáciles de reproducir en los sistemas de diseño asistido, debido a su complicada curvatura, la solución a este problema es digitalizar el modelo físico para obtener un archivo de donde se obtendrán las superficies, las etapas son las siguientes:

3.6.1 *Digitalizado*

La medición se basa en el principio de proyectar sobre el objeto una cortina láser en forma de patrones de franjas, estos patrones son reflejados y recibidos por un dispositivo fotodetector integrado en el cabezal, en solo unos segundos el software calcula con precisión las coordenadas tridimensionales de hasta 4 millones de puntos por cada medición. El resultado de cada medición se muestra directamente en el software, el sistema monitorea tanto la calibración como la influencia de las condiciones ambientales, de forma que las mediciones pueden ser realizadas de manera rápida, confiable y precisa. Todas las mediciones son automáticamente alineadas en un sistema de coordenadas común. El modelo tridimensional como nube de puntos puede ser exportado en formato ASCII o STL.

En el presente trabajo se digitaliza una botella de 4 litros con asa de sujeción con la finalidad de mostrar los alcances del sistema de digitalizado, se utiliza un equipo Zscanner 700 propiedad del tecnológico de monterrey con las siguientes especificaciones técnicas: Peso 980 gr. Dimensiones 160 x 260 x 210. Resolución 0.1mm. Precisión 0.05 mm.

El proceso para obtener la nube de puntos consiste primeramente en adherir targets sobre toda la superficie a digitalizar, la distancia entre targets depende de la distancia a la que se ubica el escáner ya que debe detectar un mínimo de 4 target como se muestra en la figura 3.5

CAPÍTULO III



Fig. 3.5 Colocación de targets

La siguiente etapa del proceso consiste en configurar y calibrar el sensor de digitalizado asignándole un volumen de trabajo, el cual depende del tamaño del objeto a digitalizar, este volumen es presentado en la ventana grafica de adquisición de puntos y se inicia el digitalizado como se muestra en la figura 3.6



Fig. 3.6 Proceso de digitalizado

Después de una serie de lecturas se guarda la información en el software “Zscan 3D Digitizing” el cual forma parte del sistema de digitalizado y se observa una parcial nube de puntos dentro del volumen declarado como se muestra en la figura 3.7

CAPÍTULO III

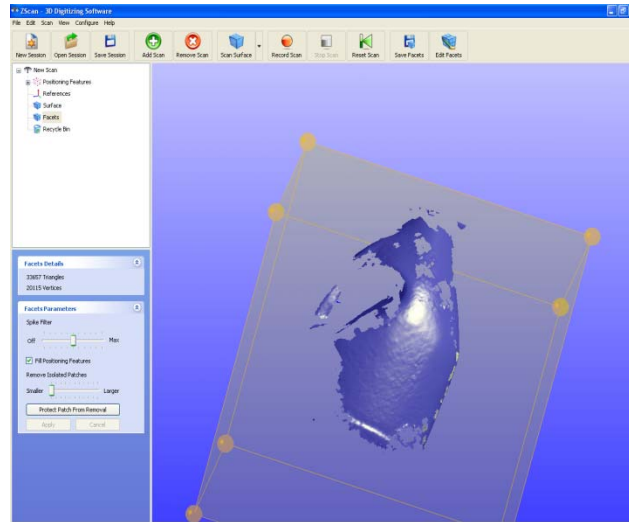


Fig. 3.7 Nube de puntos parcial

Una vez que el componente a digitalizar es rotado y orientado para lograr la adquisición del mayor número de puntos se obtiene una densa nube de puntos que puede ser guardada en los formatos ASCII o STL, la nube de puntos se muestra en la figura 3.8

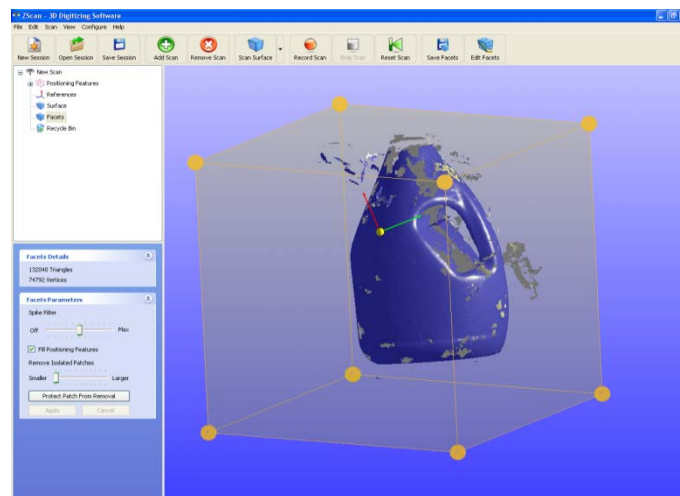


Fig. 3.8 Nube de puntos terminada

3.6.2 Nube de puntos

Una nube de puntos es un conjunto de puntos con coordenadas tridimensionales en el espacio de trabajo a partir de un cero absoluto, el cual es posible analizar dentro de un sistema de diseño asistido por computadora, estos puntos delimitan el exterior de un

CAPÍTULO III

objeto para modelarlo por medio de superficies, una nube de puntos puede observarse de dos maneras, primero como puntos en el espacio de trabajo siempre con relación a un sistema de referencia como se muestra en la figura 3.9.

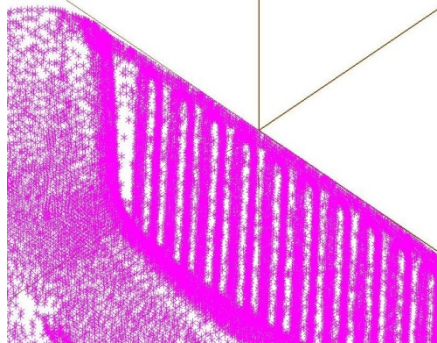


Fig. 3.9 Puntos unidos al sistema de coordenadas

La otra forma de observar los puntos puede ser editando la información en un archivo de texto donde se puede ver a detalle las coordenadas con respecto al sistema de referencia, la edición en esta forma produce un archivo de varios megas y es poco usual para fine de diseño, parte del archivo se observa en block de notas en la figura 3.10.

A screenshot of a text editor window titled "Point cloud.txt - Bloc de not". The window shows a table of coordinates with three columns: X, Y, and Z. The data is as follows:

Archivo	Edición	Formato	Ver	Ayt
144.2812	79.2031	7.622		
144.2619	79.1838	7.7909		
144.236	79.1579	8.0001		
144.2076	79.1295	8.2288		
144.1571	79.0789	8.6101		
144.0961	79.018	9.0549		
144.0842	79.0061	9.1356		
144.0749	78.9968	9.1946		
144.0194	78.9412	9.5768		
143.9938	78.9157	9.7561		
143.9581	78.8799	9.9739		
143.9316	78.8535	10.1468		
143.9181	78.84	10.2261		

Fig. 3.10 Puntos en block de notas

3.6.3 Modelo en superficies

En un software especializado para diseño, en este caso Catia versión 5 dentro del módulo de construcción rápida de superficies se importa la nube de puntos en formato ASCII, dicha nube de puntos debe ser seccionada y mantener únicamente la mitad a

CAPÍTULO III

modelar, con esta parte de la nube puntos se construye una malla poligonal que delimita claramente la geometría como se muestra en la figura 3.11

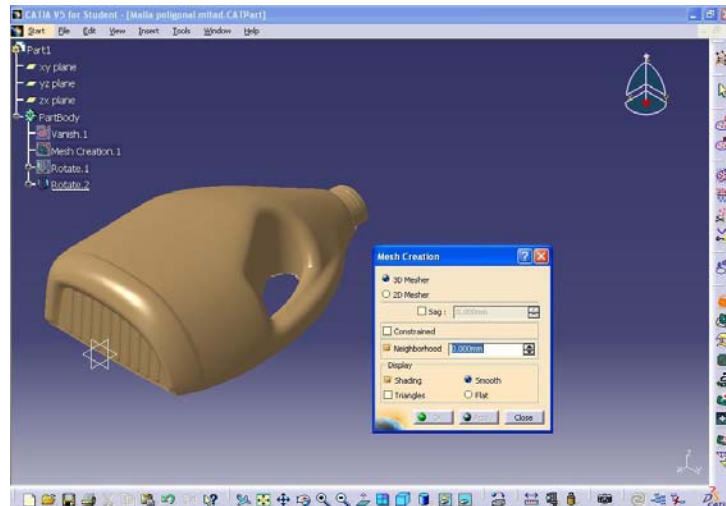


Fig. 3.11 Malla poligonal sobre nube de puntos

Con la malla poligonal elaborada es posible construir el modelo en alambre o wireframe, el cual sirve para delimitar cada una de las superficies, el modelo en alambre es una serie de curvas que pasan sobre la malla buscando formar arreglos rectangulares para facilitar la construcción de superficies, el wireframe elaborado por curvas spline se muestra en la figura 3.12

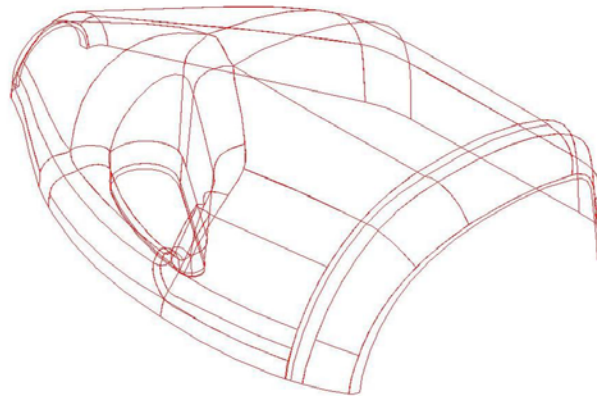


Fig. 3.12 Modelo en alambre

Con el modelo en alambre se inicia la construcción de superficies dentro del módulo de construcción rápida de superficies, las primeras superficies corresponden al primer conjunto de curvas las cuales muestran un avance del 25 por ciento en la construcción del modelo como se muestra en la figura 3.13.

CAPÍTULO III

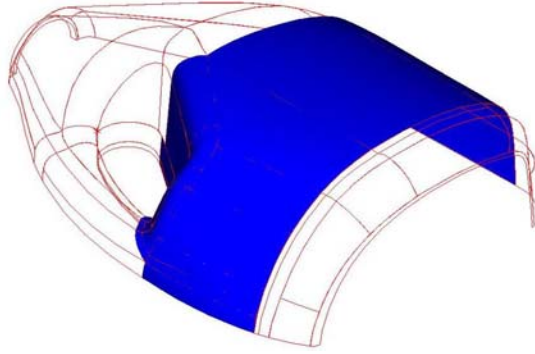


Fig. 3.13 Modelo al 25 % de avance

Se continúa con la construcción del modelo elaborando superficies, las cuales se unen con una tolerancia determinada para garantizar la correcta aplicación del modelo en el cálculo de trayectorias de maquinado, en la figura 3.14 se muestra un avance del modelo en un 50 por ciento.

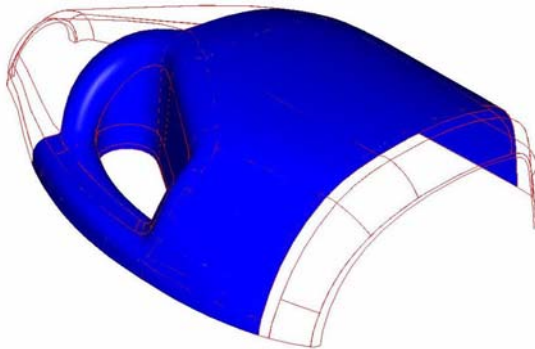


Fig. 3.14 Modelo al 50 % de avance

En la figura 3.15 se muestra un avance del 75 por ciento en la construcción del modelo, se observa que solo falta la parte inferior de la cavidad la cual debe ser rotada para ubicarla en posición normal el eje Z que es el eje de la herramienta.



Fig. 3.15 Modelo al 75% de avance

CAPÍTULO III

Las superficies son entidades sin espesor que sirven para limitar la geometría y permiten obtener trayectorias de herramienta o un prototipo como una primera evaluación del producto, el modelo completo en superficies y orientado se muestra en la figura 3.16



Fig. 3.16 Modelo en superficies

3.6.4 *Prototipo virtual del modelo físico*

El prototipo es la etapa final de la ingeniería inversa ya que nos permite evaluar el modelo tal como se obtendrá del proceso de fabricación, se analizan factores como estética, sello entre la corona y la tapa, estabilidad para permanecer en posición vertical sobre superficies planas, comodidad de transportación etc. En la figura 3.17 se muestra el prototipo de la botella.



Fig. 3.17 Prototipo

En el presente capítulo se analizaron las formas de obtener una nube de puntos, así como su utilización en los sistemas de diseño asistido para obtener un modelo virtual, el cual pueda posteriormente ser reproducido para obtener un prototipo antes de iniciar la fabricación de los costosos moldes.

CAPÍTULO IV

CAPÍTULO IV SISTEMAS CAD/CAM

Este capítulo indica el procedimiento a seguir para producir modelos virtuales que puedan ser manufacturados por medio de los elementos de modelación disponibles en los softwares Mastercam y Catia, éstos pueden ser superficies como entidades sin espesor o sólidos los cuales se interpretan como un volumen, además se incluye el estudio de la manufactura asistida por computadora la cual genera el programa de control numérico para el maquinado utilizando un postprocesador previamente desarrollado. Lo anterior se ilustra en las fases 2 y 3 de la tabla 4.1 y se inicia con el diseño asistido por computadora

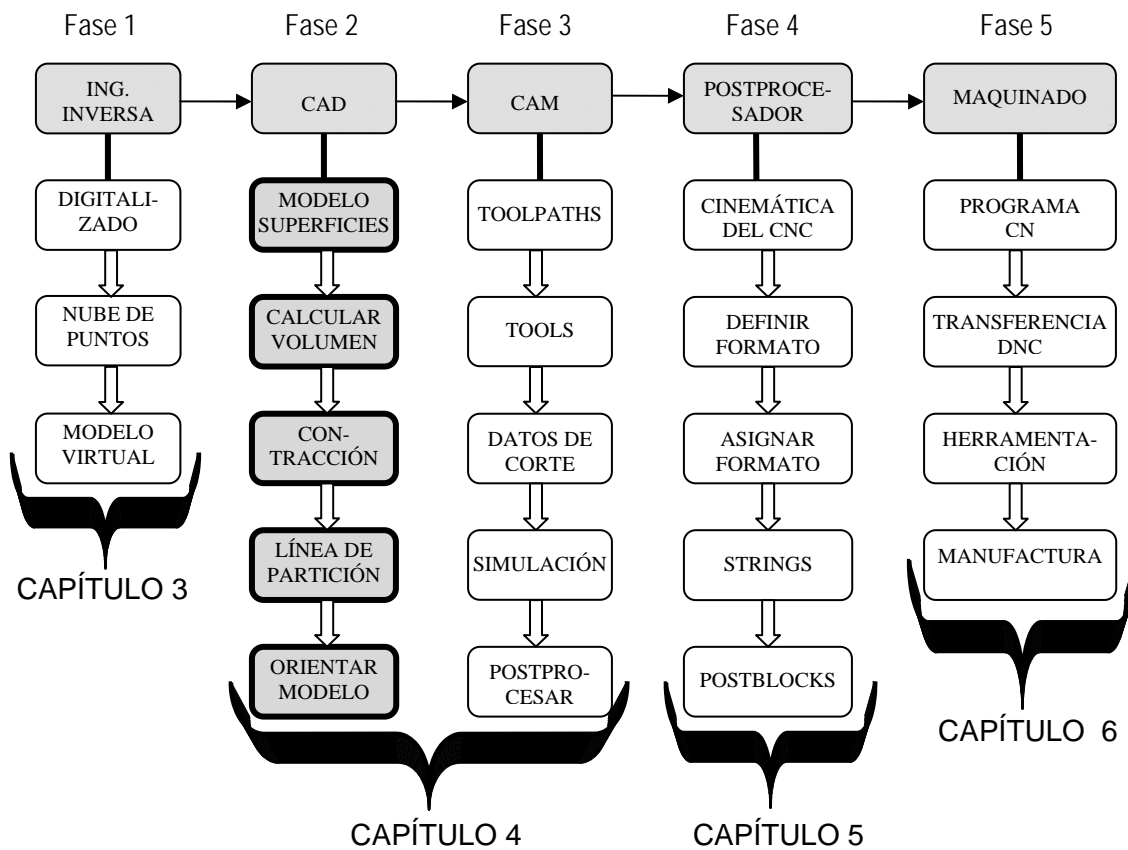


Tabla 4.1 Fase 2, Etapa CAD

4.1 INTRODUCCIÓN

En la actualidad la información se da en forma global, se vive en ambientes de alta competitividad y no se conocen límites del avance de la tecnología; por ello es necesario aumentar la capacidad productiva y el rendimiento de los equipos de diseño, las nuevas versiones de los sistemas relacionados con tecnología de diseño asistido por computadora presentan las siguientes características:

- Capacidad de diseño en 3 dimensiones en forma rápida y en aplicaciones directas (visualización, representación en tiempo real y en sombreado, secciones, vistas auxiliares, operaciones booleanas, etc.).
- Ensamble de piezas (unión de piezas bajo ciertas condiciones de posición).
- Asociatividad de los dibujos elaborados en 2 y 3 dimensiones.
- Desarrollo de piezas y sistemas virtuales (permite en muchos casos eliminar los prototipos físicos).
- Diseño compartido a través de redes (intranet e Internet).
- Ingeniería concurrente (trabajo con objetos virtuales en las etapas del proyecto).
- Arquitectura abierta de software (posibilidad de personalizar y generar programas complementarios).
- Ingeniería Inversa (obtener un modelo virtual a partir del palpado de una pieza).

La principal característica de un sistema de diseño asistido por computadora es que permite diseñar en forma interactiva y al mismo tiempo facilita la definición y construcción de una base de datos que alimenta todo el sistema de información interno de una empresa. Otro aspecto importante es la reducción del empleo de papel para los diseños realizados, ya que éstos se almacenan en medios electrónicos.

Los programas CAD (*diseño asistido por computadora*) tienden a integrarse con los sistemas CAM/CAE, (*manufactura e ingeniería asistidos por computadora*) de manera que formen parte de la automatización integrada en los procesos industriales y pasan a convertirse en un medio de gestión de acceso y control de la información. Actualmente, casi toda la oferta de paquetes de diseño asistido por computadora incorpora una filosofía de diseño paramétrico y variacional. El diseño paramétrico se

CAPÍTULO IV

basa en asignar parámetros controlables de cada característica del modelo, permitiendo además la asignación de relaciones entre dichos parámetros.

El diseño variacional permite controlar los parámetros de diseño desde las distintas manifestaciones del modelo, ya sea en la propia pieza, en su representación dentro de un ensamble o en los planos de la misma. Se busca de esta manera una total cohesión en el modo de trabajo, de manera que toda la información de las piezas esté constituida por una descripción informática unívoca y cualquier modificación que se introduzca lleve a una actualización en la base de datos. (Alcaide, J 2004)

4.2 ESTRATEGIAS DE MODELADO

Los sistemas de diseño asistido por computadora avanzados como Catia, Unigraphics, y Solidworks, emplean modos de trabajo que se han generalizado en programas de menor nivel:

- a) Se trabaja por características sobre cada pieza del ensamble, el grado de relación entre parámetros de una misma pieza o entre piezas distintas lo fija el diseñador según sus necesidades en función de las características del ensamble.
- b) Las piezas se cargan en un módulo de ensamble para acomodarlas de modo muy similar a como se haría en la realidad, en dicho módulo se puede verificar la existencia de interferencias entre piezas y el funcionamiento del ensamble. Además pueden editarse los componentes, lo que permite definirlos dentro del ensamble si fuera necesario.
- c) Paralelamente, o según dicten las necesidades del modelo, es posible realizar los análisis que la pieza requiera ya que algunos paquetes de diseño incluyen sus propios módulos de análisis en CAM, (*Manufactura asistida por computadora*) y CAE, (*Ingeniería asistida por computadora*).
- d) Cuando el diseño de las piezas es definitivo, se generan los planos de cada pieza y los subensambles requeridos, en un módulo específico para este trabajo.

CAPÍTULO IV

- e) Como utilidad complementaria, muchos sistemas incluyen herramientas orientadas a la presentación realista de los productos y su posible animación, como se muestra en la figura 4.1

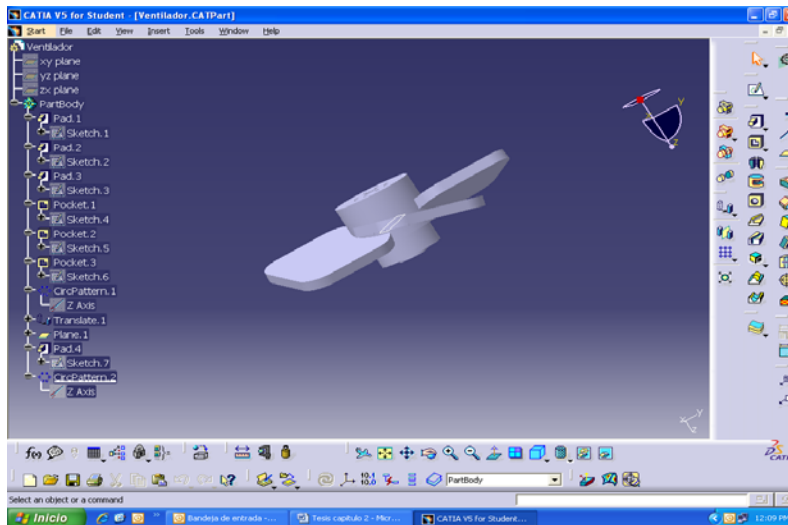


Fig. 4.1 Modelo en catia

Los paquetes avanzados de diseño asistido por computadora y el máximo aprovechamiento de la tecnología paramétrica y variacional proporcionan al diseñador una gran flexibilidad al momento de plantear su trabajo frente a la computadora por lo tanto es posible modelar una pieza sin conocer de un modo exacto sus dimensiones ni sus características definitivas. La posibilidad de establecer ciertas relaciones geométricas entre elementos del modelo asegura al diseñador que las condiciones de diseño se van a cumplir aunque se varíen los parámetros de la pieza. Por ejemplo, en una operación de matriz circular se puede establecer que la separación angular entre las copias sea siempre el ángulo total barrido dividido entre el número de copias, de manera que aunque se varíe, ya sea el ángulo o el número de copias, éstas serán siempre equidistantes, además se puede forzar que dos o más agujeros tengan el mismo radio y establecer relaciones a través de fórmulas en las que las variables puedan ser las propias medidas.

Esto brinda al diseñador un gran control sobre su diseño, y lo libera en cierto modo de tener que definir numéricamente todos los parámetros, pero cuando no es posible fijar este tipo de restricciones, es preferible acotar el modelo, aunque sean cotas aproximadas, para asegurar la estabilidad del mismo. Además es necesario tener en cuenta las dependencias que se crean al generar una geometría a partir de otra. Al dibujar un perfil y

CAPÍTULO IV

extruir, por ejemplo, a partir de una superficie plana del modelo, se hace depender dicha extrusión de la operación que dio origen a esa superficie, por lo tanto si eliminamos esa operación, la nueva extrusión desaparecerá. De este modo, hay que tener en cuenta cómo se modela la pieza, porque en caso de querer retroceder en el diseño pueden verse afectadas operaciones que no deberían modificarse. (Alcaide, J 2004)

4.2.1 *Dibujo en 2 dimensiones*

En los paquetes de diseño actuales, el manejo de planos de trabajo es fundamental ya que todas las operaciones que añaden o quitan material a la pieza se basan en dibujos, los cuales se realizan ya sea sobre caras planas de la pieza o bien sobre planos generados para tal efecto. Por lo general, al iniciar el diseño de una nueva pieza, el software presenta 3 planos principales por default, (XY, XZ, YZ). Esto permite definir un plano inicial sobre el que se dibujará el primer contorno que genere la operación base. Posteriormente se pueden emplear como planos de trabajo las caras planas de la geometría tridimensional generada, además es posible crear planos auxiliares para dibujar sketch (bosquejo) en lugares donde no existe aún geometría. Desde el momento que se selecciona un plano de trabajo, ya sea una cara de la pieza o un plano auxiliar, el programa entiende que se va a iniciar un trabajo en dos dimensiones, y generalmente aparecen activas las herramientas necesarias. El grupo principal de comandos es el que reúne las entidades 2D: línea, círculo, arco, rectángulo, polígono, elipse, parábola.

La forma de trabajar es similar en todos los programas, intentando que el programa se adelante a la intención del diseñador, ofreciendo posibilidades a medida que se van utilizando las herramientas. De este modo el programa detecta puntos particulares como el extremo de línea o el centro del arco o círculo, relaciones geométricas como horizontalidad o verticalidad, alineación con puntos etc. El programa capta de esta manera la intención del diseñador al realizar el sketch (bosquejo) e incorpora las características al dibujo. El segundo grupo importante de comandos que suelen incluir todos los programas es la modificación de entidades. Se trata de herramientas que permiten alterar la geometría de las entidades de dibujo previamente trazadas, generalmente se pueden hacer recortes, alargar entidades, realizar equidistancias, redondeos, chaflanes, etc. (Alcaide, J 2004)

4.2.2 *Relaciones geométricas entre entidades*

Una de las ventajas de los programas de diseño asistido por computadora es el alto grado de asociatividad que permiten ya que es posible establecer relaciones entre las distintas entidades del dibujo de manera que las variaciones en un parámetro produzcan modificaciones en aquellos relacionados. El objetivo es controlar todas aquellas dimensiones de la pieza que por condiciones de diseño deben tener ciertas relaciones geométricas con el menor número de parámetros.

La relación geométrica más común es la acotación. Algunos sistemas no permiten abandonar el dibujo de un sketch (bosquejo) hasta que todas sus dimensiones quedan totalmente acotadas, otros son más flexibles en ese sentido, aunque es aconsejable dejar completamente definido el dibujo para que el programa disponga de las cotas y posteriormente genere unos planos de pieza correctos. Otras relaciones geométricas se refieren a condiciones entre dos o más entidades seleccionadas por el diseñador, estas condiciones suelen restringir la geometría. Se puede, fijar que una línea sea horizontal, o que dos líneas sean colineales, o que dos círculos sean concéntricos, esta es una forma de imponer condiciones de diseño a la pieza.

4.2.3 *Sólidos*

El modelado tridimensional inicia con la creación de una operación base, regularmente se utiliza uno o más perfiles planos para generar geometría tridimensional. Las operaciones típicas son las de extrusión (genera geometría por proyección de un perfil perpendicular a su plano), revolución (genera geometría por revolución de un perfil sobre un eje), barrido (genera geometría por proyección de un perfil a lo largo de un recorrido). Algunas de estas operaciones requieren sólo un dibujo plano o perfil, mientras que otras necesitan dos o más perfiles, la operación no puede llevarse a cabo hasta que no se disponga de todos los perfiles necesarios.

CAPÍTULO IV

4.2.4 Operaciones básicas

Para realizar cualquier geometría tridimensional se debe dibujar al menos un perfil o más dependiendo de la operación, este perfil se almacena en el árbol histórico de la pieza en el primer nivel, cuando se utiliza dicho perfil para realizar alguna operación ésta se sitúa en el primer nivel, mientras que el perfil aparece en un segundo nivel como una rama de la operación. De este modo, en el árbol de la pieza podemos observar todas las operaciones ordenadas cronológicamente, y colgando de ellas vemos todos los elementos empleados para generarlas. Las operaciones además de uno o varios perfiles, necesitan ciertos parámetros de definición. Una extrusión, por ejemplo, requiere un perfil a extruir y por lo menos una distancia de extrusión, como se muestra en la figura 4.2. Otra serie de parámetros, como lados hacia donde extruir, o extruir hasta superficie, pueden complementar o reemplazan a la distancia de extrusión, dependiendo del programa que se utilice. Cuando se requiere modificar una operación se puede trabajar a dos niveles, una posibilidad es acceder al nivel de bosquejo o perfil y variar el dibujo que se ha empleado como perfil de la operación, la otra opción es acceder al nivel de definición de la operación y cambiar los parámetros de la misma.

En la figura 4.2 se puede observar el árbol para una pieza con 2 operaciones, cada una de las cuales requirió sólo un perfil. También se observa la tabla de definición de parámetros.

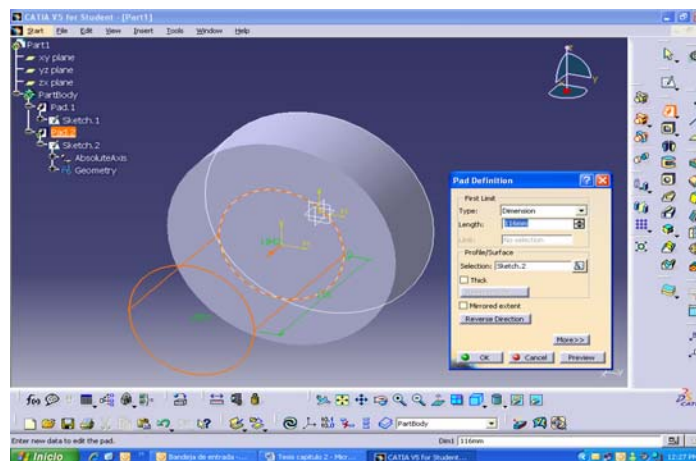


Fig.4.2 Definición de parámetros

CAPÍTULO IV

4.2.5 Operaciones prediseñadas

Otro tipo de operaciones que se pueden realizar requieren que exista previamente una geometría sobre la cual aplicarla. Son operaciones que no necesitan un perfil, ya que se aplican directamente sobre características geométricas de la pieza. Las operaciones más comunes de este tipo son el redondeo, el chaflán, el vaciado, el taladro etc. Para emplearlas hay que introducir los parámetros de definición y seleccionar algunos elementos de la pieza sobre los que la operación va a actuar (en el caso del vaciado, hay que seleccionar las caras de la pieza que deben desaparecer, si las hay). En la figura 4.3, se observa una pieza con 2 operaciones de este tipo, un redondeo y un vaciado, ninguna de estas operaciones tiene geometría dependiente de ellas.

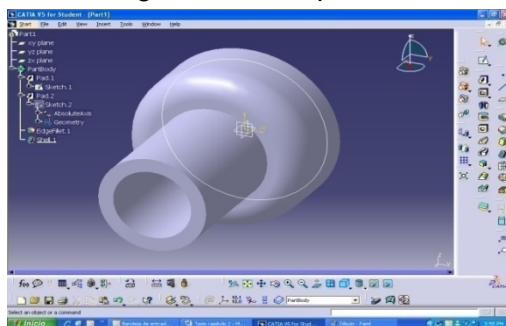


Fig. 4.3 Operaciones sobre el modelo

4.2.6 Superficies

Todos los programas de diseño asistido por computadora incluyen algún tipo de herramienta para generar superficies, aunque existen aplicaciones bastante potentes dedicadas exclusivamente a la generación de superficies cuyos resultados pueden posteriormente exportarse a otros sistemas en un formato que soporte superficies, pero generalmente las superficies como tal no tienen sentido físico real ya que es una entidad que carece de espesor, pero suelen emplearse como herramientas para modelar posteriormente objetos sólidos, mediante operaciones de corte del sólido por superficies, proyección de la superficie, cosido de caras, etc. El modelado con superficies además es útil para realizar procesos de manufactura asistida por computadora ya que permite guiar la trayectoria de la herramienta, las superficies pueden obtenerse mediante operaciones similares a las que se emplean para generar sólidos, pero utilizando perfiles abiertos en lugar de cerrados. (Alcaide, J 2004)

CAPÍTULO IV

4.3 DISEÑO ASISTIDO EN LA MANUFACTURA DE CAVIDADES

Utilizando las opciones para modelado dentro del modulo de construcción rápida de superficies en el software catia obtenemos un modelo virtual de la pieza a fabricar, la pieza puede ser cualquier componente que dada su complejidad geométrica no se pueda reproducir de forma confiable por los métodos tradicionales de manufactura, en este caso se estudia una botella de 4 litros, la cual cuenta con curvatura irregular en el cuerpo y asa de sujeción ya que son consideradas complejas para su fabricación y cuyos moldes se fabrican con frecuencia, la cual se muestra en la figura 4.4, continuando con el desarrollo del proyecto se analizan las fases que intervienen dentro del diseño asistido por computadora para la preparación del modelo, el cual se utiliza en la siguiente etapa que es el maquinado, dentro del CAD, una vez que se tiene el modelo tridimensional es necesario prepararlo para el proceso de manufactura asistida por computadora aplicando las etapas de la metodología indicada.



Fig. 4.4 Modelo físico

4.3.1 *Proceso de digitalizado*

Se inicia configurando y calibrando el escáner y el proceso consiste en proyectar patrones de franjas sobre el objeto, en este caso se utilizó un equipo Zscanner 700 propiedad del Tecnológico de Monterrey, como el mostrado en la figura 4.5, se proyecta el haz luminoso con una fuente emisora y una cámaras receptora la cual registra puntos sobre la superficie de la pieza, la pieza es preparada opacando su brillo y ubicando marcas de referencia para permitir su orientación y así continuar con el digitalizado en otra posición. Las coordenadas tridimensionales para cada píxel pueden ser calculadas para generar una malla poligonal de puntos de la superficie del objeto que puede ser guardada o exportada en formato ASCII o STL.



Fig. 4.5 Equipo Zscanner

4.3.2 Construcción de superficies

La nube de puntos es importada en formato ASCII al software de diseño asistido CATIA donde se cuenta con diversos formatos de importación, el proceso se realiza dentro del módulo “Digitized shape”, la malla de puntos se muestra en la figura 4.6

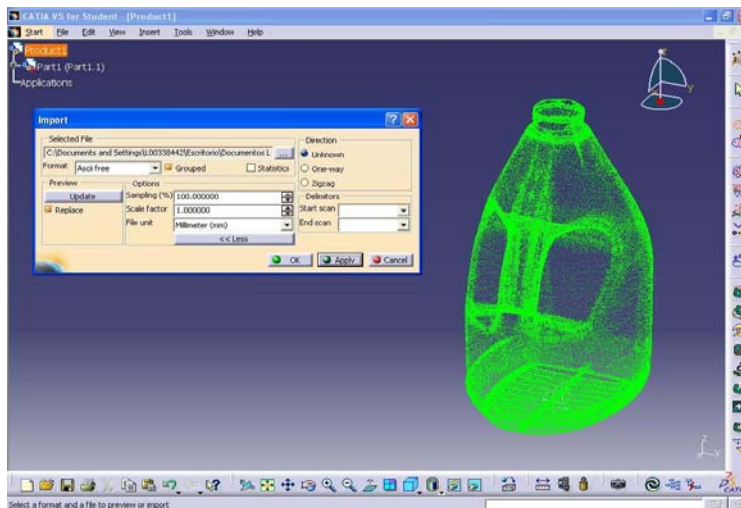


Fig. 4.6 Nube de puntos en catia

En esta sección del software se adapta la geometría al requerimiento de manufactura, ya sea el total de la pieza o por secciones como es el caso para un molde de soplado el cual es bipartido para permitir su fácil desmoldeo, por lo tanto solo se requiere la mitad de la nube de puntos, como se muestra en la figura 4.7.

CAPÍTULO IV

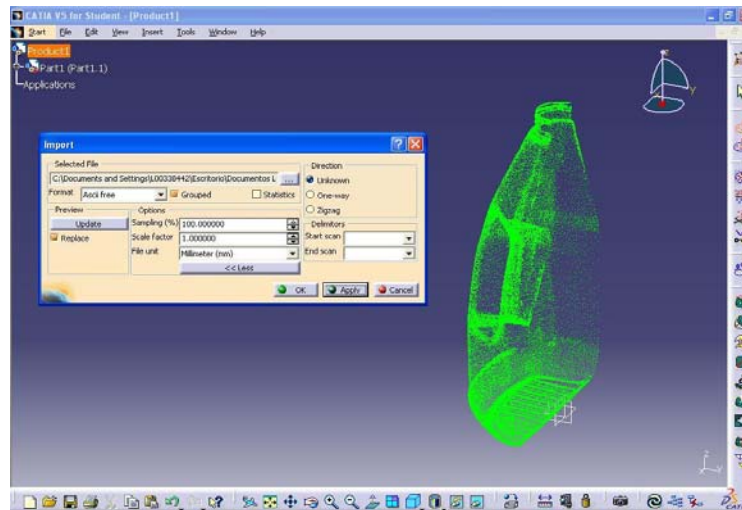


Fig. 4.7 Nube de puntos seccionada

Con la nube de puntos debidamente orientada se inicia la construcción de una malla poligonal que permite delimitar la superficie de la nube de puntos esto se realiza en el mismo módulo de importación de Catia con la opción “ Mesh creation” como se muestra en la figura 4.8

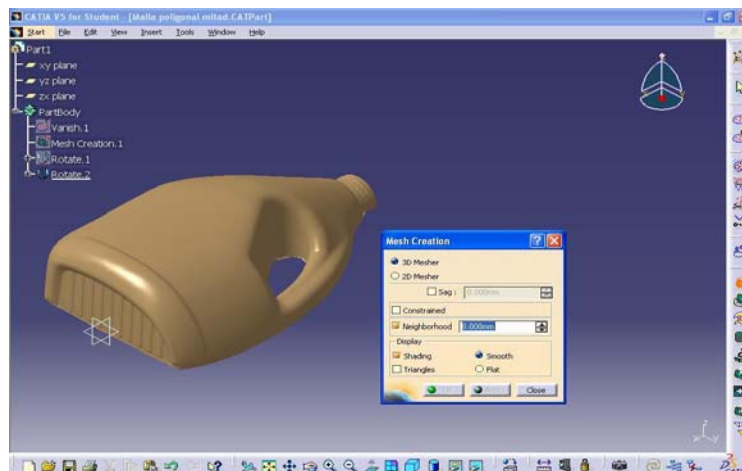


Fig. 4.8 Malla poligonal para wireframe

Con la malla obtenida se calculan las curvas que se utilizan para delimitar la construcción de superficies, estas curvas son líneas arcos y splines y se obtienen dentro del mismo módulo con las opciones “planar section” como se muestra en la figura 4.9.

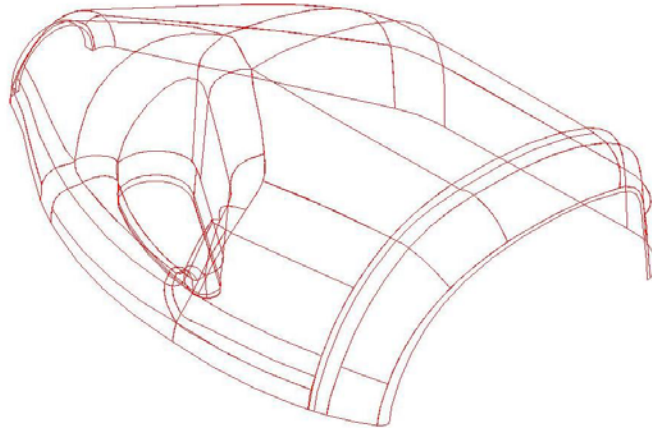


Fig. 4.9 Curvas base para superficies

Con este conjunto de curvas se inicia la construcción de superficies utilizando los diferentes métodos disponibles en el módulo de construcción rápida de superficies del software Catia, los métodos más comunes de construcción de superficies se incluyen en el anexo A, en la figura 4.10 se observa el modelo con las primeras superficies, mientras que en la figura 4.11 se muestra la construcción del modelo con un avance aproximado del 75 por ciento.

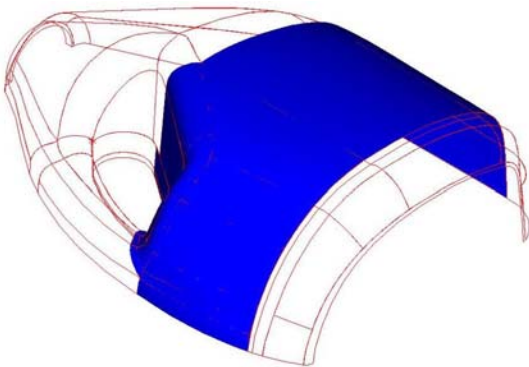


Fig. 4.10 Primeras superficies

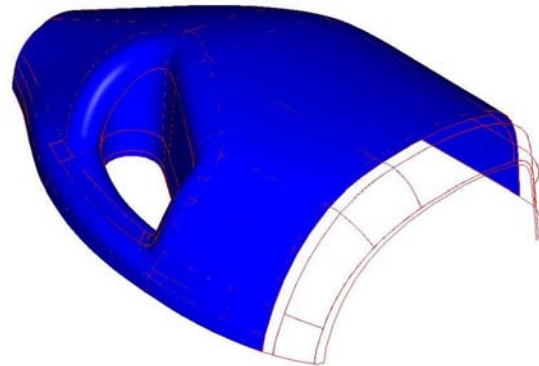


Fig. 4.11 Modelo al 75 % de avance

Finalmente se muestra el archivo que se obtiene del proceso de ingeniería inversa, el cual debe cumplir las condiciones necesarias de tangencia y desmoldeo, ya que son condiciones necesarias para el buen maquinado y funcionamiento de un molde, este modelo es una copia idéntica de la sección tomada de la pieza física, como se muestra en la figura 4.12

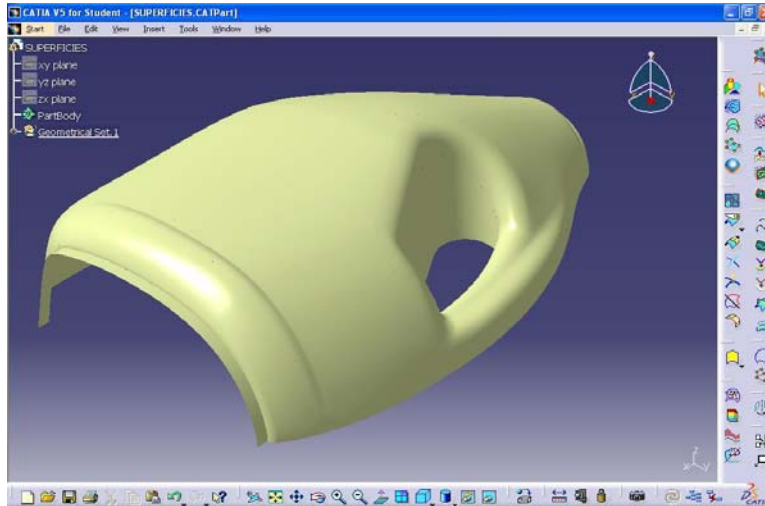


Fig.4.12 Modelo virtual

4.3.3 Cálculo de volumen

Para la fabricación de recipientes huecos es necesario conocer la capacidad del envase que se producirá, esto debe realizarse antes del proceso de manufactura dentro del software de diseño, si la construcción de superficies se realizó con una tolerancia cerrada, el volumen debe corresponder al del modelo físico y para comprobarlo se calcula directamente, como se muestra en la tabla 4.2

```
Calc. Direction X= 1.00 Y= 0.00 Z= 0.00, Volume: 4.158060 cubic dm, Weight: 0.000000 kg
Calc. Direction X= 0.00 Y= 1.00 Z= 0.00, Volume: 4.004394 cubic dm, Weight: 0.000000 kg
Calc. Direction X= 0.00 Y= 0.00 Z= 1.00, Volume: 4.195833 cubic dm, Weight: 0.000000 kg
Calc. Direction X= 1.00 Y= 1.00 Z= 1.00, Volume: 4.090807 cubic dm, Weight: 0.000000 kg
Calc. Direction X= 1.00 Y= 2.00 Z= 0.50, Volume: 3.923756 cubic dm, Weight: 0.000000 kg

Average volume = 4.07457 [dm3], max. variation: 4 %

Target volume = 4.00000 [dm3], Actual volume = 4.07457 [dm3]
```

Tabla 4.2 Cálculo de volumen con superficies (dm³)

CAPÍTULO IV

4.3.4 Factor de contracción

Los materiales a moldear requieren ser calentados a un punto adecuado de fluidez, de tal forma, que se permita su fácil tratamiento de moldeo, posteriormente a la inyección, la pieza mantiene una temperatura alta, este calor debe ser removido por los sistemas de enfriamiento diseñados en el molde; al enfriarse, la pieza se contrae, y por lo tanto reduce sus dimensiones, este factor de variación se muestra en la tabla 4.3 para materiales termoplásticos.

Termoplásticos semicristalinos	Símbolo ISO	Temperatura de fusión °C	Contracción en moldeo %
Polietileno baja densidad	PE	110	1-3
Polietileno alta densidad	PE	130	1.5-4
Polipropileno	PP	165	1-2.5
Poliamida 66	PA 66	255	1.2-2.5
Poliamida 6	PA 6	220	0.8-2
Poliamida 610	PA 610	220	0.8-2
Poliacetal (Homopolímero)	POM	175	1.5-3.5
Polibutileno-tereftalato	PBTP	225	1.2-2.8
Polietileno-terftalato	PETP	255	1.2-2
Fluorotileno-propileno copolimero	FEP	270	3.5-5

Tabla 4.3 Contracción de termoplásticos (Bodini, G. 1993)

El proyecto se desarrolla en polietileno de alta densidad en un proceso de extrusión soplado, el cual consiste en inyectar aire a presión dentro del molde, las distancias del punto de soplado a las paredes varían tanto en dirección horizontal como en dirección vertical, por lo tanto los factores de contracción son diferentes en ambas direcciones, para este tipo de material y con este proceso se aplica el 2 por ciento en dirección horizontal y 1.6 en dirección vertical, el modelo se debe escalar a las cantidades anteriores para obtener las dimensiones exactas después de la expulsión de la pieza.

4.3.5 Línea de partición

La mayoría de moldes para soplado son bipartidos, es decir, constan de dos partes, a la unión de estas dos partes por el lado de moldeo es lo que llamamos línea de partición, así que el modelo debe partirse exactamente a la mitad para permitir la formación de la cavidad, como se muestra en la figura 4.15.



Fig. 4.15 Línea de partición

4.3.6 Modelo orientado para cálculo de trayectorias

El modelo virtual debe orientarse en el software tal como se maquinará en la máquina de control numérico, esto con la finalidad de hacer coincidir cada uno de los ejes para obtener coordenadas congruentes con la pieza a maquinar, así que se toma una mitad del modelo y se orienta según los ejes de la máquina de control numérico, en el eje X se coloca la longitud mayor de la pieza y la cavidad debe ser normal a la dirección Z positivo, como se muestra en la figura 4.16.

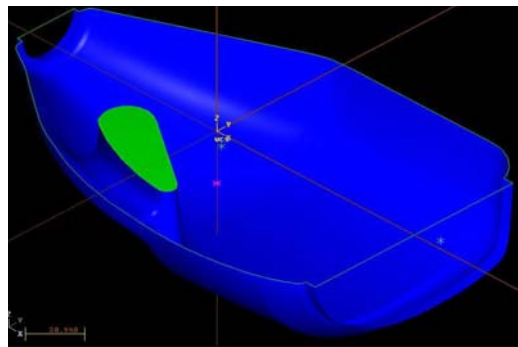


Fig. 4.16 Modelo orientado para manufactura

En la presente fase se desarrolla el modelo en superficies y se adapta para el proceso de manufactura, se define la línea de partición así como cálculos en cuanto a factor de contracción y volumen.

CAPÍTULO IV

4.4 MANUFACTURA ASISTIDA POR COMPUTADORA

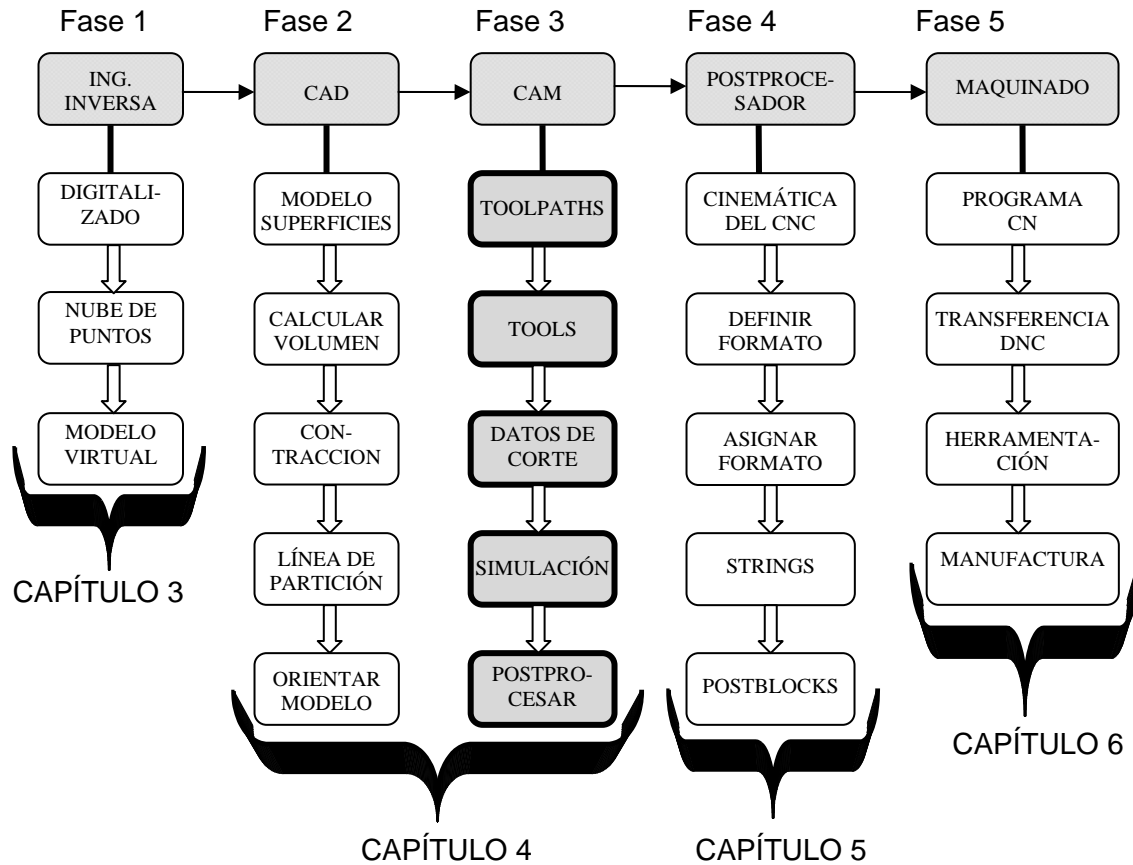


Tabla 4.4 Fase 3, etapas CAM

El término CAM se refiere a procesos de manufactura apoyados en la computadora para su realización, de ahí el término *(Computer Aided Manufacturing)*, existen una gran cantidad de procesos asociados con este concepto tales como los movimientos de robots en procesos industriales, operaciones de corte y troquelado de lámina, así como cálculo de trayectorias en las máquinas herramienta. Cualquier máquina herramienta que tenga una computadora para su operación y programación, además de algún dispositivo de comunicación, puede ser enlazada a los sistemas CAM y de esta forma realizar el maquinado con código generado a través de una computadora externa.

El proceso en el sistema CAM para torneado inicia con la generación de geometría debidamente cerrada y definida de acuerdo a las necesidades del diseño. El modelo bidimensional o tridimensional se ubica en el espacio de trabajo virtual de acuerdo a las

CAPÍTULO IV

necesidades requeridas para obtener la pieza; es decir: considera la sujeción, contrapunto, herramienta, etc., como se muestra en la figura 4.17

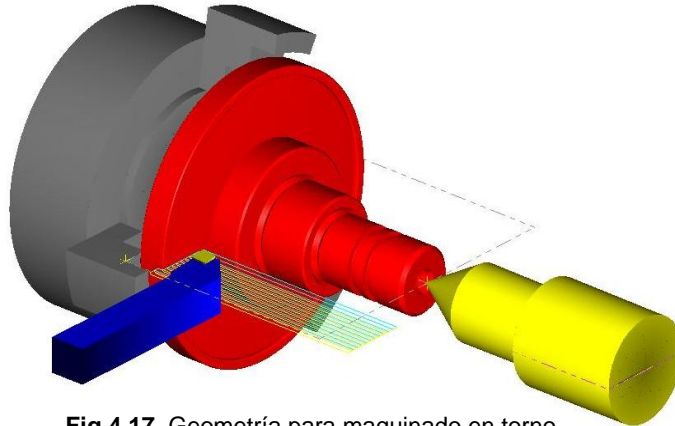


Fig.4.17 Geometría para maquinado en torno

La aplicación con software CAM se realiza obteniendo el código de control numérico por medio de sistemas computacionales llamados postprocesadores, el cual debe ser adaptado estrictamente al armario de control correspondiente ya que es un requisito para la correcta ejecución en la máquina.

Para el proceso de manufactura en fresado se debe obtener una geometría de acuerdo a la pieza a maquinar, que puede ser un dibujo bidimensional para maquinados en dos dimensiones o un modelo tridimensional, como se muestra en la figura 4.18, que puede ser en sólidos, superficies o modelo en alambre, una vez que se tiene la certeza de que la geometría es la adecuada, se le solicita al sistema que calcule las trayectorias de herramienta necesarias para el maquinado, para esto el software solicita información que debemos proporcionarle como es el tipo de herramienta, estrategias de maquinado, parámetros de corte, etc.

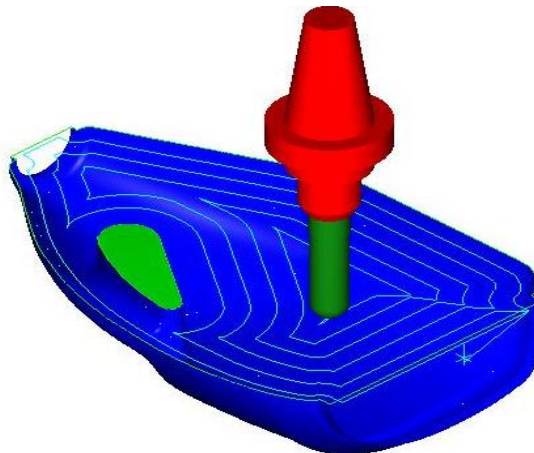


Fig.4.18 Geometría para maquinado en fresadora

4.5 CONTROL NUMÉRICO

Las máquinas herramienta de control numérico son equipos de 2 a 6 ejes de movimiento, de 2 a 3 ejes para tornos y de 3 a 6 ejes para fresadoras o centros de maquinado como se muestra en la figura 4.19. Cada eje de movimiento tiene un direccionamiento variable el cual consiste de un motor de reacción rápida así como de un tornillo de bolas de alta precisión. Las máquinas CNC siguen una trayectoria en el sistema de medición para cada movimiento controlado de algún eje, esto, con la finalidad de monitorear y registrar los valores de la posición actual de la herramienta. El sistema de medición tiene en cada eje un transductor lineal óptico, el cual consiste de una escala fotoeléctrica y un lector óptico, la escala consiste en marcas de claros y oscuros para que el lector pueda dividir la longitud recorrida en partes iguales y enviar la señal de salida al motor correspondiente.

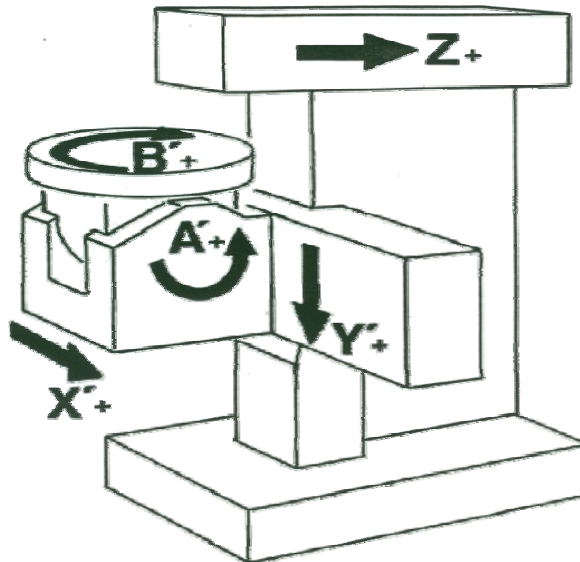


Fig. 4.19 Movimientos en una máquina CNC

Cuando la máquina realiza algún movimiento, cada trayectoria que pasa por el lector óptico es convertida en una señal eléctrica la cual es contada por el panel de control, y la suma de todos los incrementos contados es la trayectoria total recorrida. La condición previa para un correcto funcionamiento de esta forma de desplazamiento, es que la máquina debe ser enviada después del encendido del panel de control al cero máquina, el cual es un punto conocido por ésta. Este punto está ubicado en el límite del área de trabajo de la máquina y es llamado punto de referencia.

CAPÍTULO IV

Los elementos básicos del control numérico son:

- 1) El programa, que contiene toda la información de las acciones a ejecutar.
- 2) El panel de control, que interpreta estas instrucciones, las convierte en las señales correspondientes para los órganos de accionamiento de la máquina y comprueba los resultados.
- 3) La máquina, que ejecuta las operaciones previstas.

Existen dos tipos de programación, la programación manual y la programación automática, en la primera se deben introducir los códigos de forma manual y en la segunda el programa es elaborado por una computadora, la cual entrega un listado de códigos como los que se muestran en el anexo C.

4.6 MOVIMIENTO DE HERRAMIENTA

Los movimientos de ejecución del programa son realizados por la herramienta o por la pieza de trabajo dependiendo de la estructura física de la máquina, para la programación en CNC es independiente si la herramienta o la pieza de trabajo realizan el movimiento, ya que el sistema de coordenadas se refiere a la pieza de trabajo, esto significa que el programador asume que la pieza de trabajo está fija y únicamente se mueve la herramienta según la norma DIN 66217.

Los desplazamientos de la pieza o de la herramienta están limitados por la carrera máxima de cada uno de los ejes ya que dentro del volumen de trabajo se debe considerar el montaje de la pieza así como la longitud de las herramientas a utilizar en el maquinado, con estas observaciones se define el principio de movimiento de las máquinas herramienta en base al sistema coordinado de la pieza de trabajo el cual se considera fijo. Los movimientos de la herramienta se realizan en direcciones positivas o negativas de acuerdo al sistema de coordenadas seleccionado para los ejes X, Y o Z, la dirección de movimiento de las guías de la máquina debe ser ignorado en la programación ya que mientras la mesa se mueve en un sentido, la herramienta va en sentido contrario, considerando que lo que se mueve es la mesa, no siendo así en el movimiento de algún otro eje, ya que para Z y Y, lo que se mueve es la herramienta.

CAPÍTULO IV

Para el posicionado de la herramienta se utilizan dos sistemas:

- Lazo cerrado
- Lazo abierto

En el sistema de lazo cerrado, un servomecanismo de posición compara en todo momento la posición real con la posición ordenada y actúa en función de la diferencia entre ambas. En general, el lazo de posición se complementa con un lazo de control de velocidad para conseguir un posicionado preciso. El sistema de desaceleración puede ser por etapas o continuo, y proporciona movimientos más rápidos.

En el sistema de lazo abierto, un motor paso a paso, alimentado por un tren de impulsos, fija la posición por el número de impulsos o pasos, y su velocidad por la frecuencia de los mismos. No existe información sobre la posición real alcanzada por la herramienta. (Ferre, R. 1988))

4.7 PARÁMETROS DE CORTE

Ecuación para la velocidad del husillo (r.p.m.)

$$\text{R.P.M.} = \frac{V_c \times 318}{D} \quad (1)$$

Donde:

R.P.M. = Revoluciones por minuto

Vc. = Velocidad de corte (m/min.)

D = Diámetro de la herramienta (mm.)

Ecuación para el avance

$$F_n = Z \cdot F_z \cdot n \quad (2)$$

Donde:

F_n = Avance en mm./min.

F_z = Avance por diente

Z = Número de dientes

n = Revoluciones por minuto

CAPÍTULO IV

La velocidad del husillo así como el avance de maquinado están en función de lo siguiente:

- El material de la pieza a trabajar, ya que cuanto mayor sea su resistencia, tanto menor será la velocidad de corte.
- El material de la herramienta, ya que depende si es de carburo o de acero rápido, la V_c será mayor o menor respectivamente.
- El avance, a mayor avance, menor velocidad de corte
- Profundidad de corte, cuanto mayor sea la profundidad de la pasada menor será la V_c . (Grasa, P ; 1989)

TABLA DE VELOCIDAD DE CORTE (<i>m/min.</i>)		
MATERIAL DE LA PIEZA	MATERIAL DE LA HERRAMIENTA	
	ACERO ALTA VELOCIDAD	CARBURO CEMENTADO
ALUMINIO	91 - 244	305 – 610
LATÓN	61 - 122	183 – 244
BRONCE	19 - 39	61 – 122
ACERO BAJO CARBONO	18 - 30	91 – 183
ACERO ALTO CARBONO	12 - 21	45 – 76
ACERO INOXIDABLE	9 - 24	30 – 91
HIERRO FUNDIDO	15 - 24	76 - 106

Tabla 4.5 Velocidad de corte (Farid, M. 1993)

TABLA DE AVANCE EN MILÍMETROS POR DIENTE										
DIÁMETRO DEL CORTADOR (MM)	2	5	8	10	12	16	20	25	32	90
ALUMINIO	.04	.05	.07	.08	.1	.13	.15	.17	.2	.2
LATÓN	.02	.04	.07	.07	.08	.09	.1	.12	.12	.15
BRONCE	.01	.02	.04	.05	.06	.07	.08	.1	.12	.15
ACERO BAJO CARBONO	.01	.02	.04	.05	.07	.08	.1	.12	.14	.17
ACERO ALTO CARBONO	.01	.02	.04	.05	.07	.08	.08	.08	.08	.1
ACERO INOXIDABLE	.01	.02	.04	.05	.07	.08	.09	.1	.1	.12
HIERRO FUNDIDO	.01	.02	.04	.05	.06	.07	.08	.09	.1	.12

Tabla 4.6 Avance (Farid, M. 1993)

4.8 MANUFACTURA ASISTIDA EN MOLDES DE SOPLADO

Dentro de los sistemas especializados para diseño y manufactura es una práctica común cambiar de un ambiente a otro solo seleccionando el módulo correspondiente y manteniendo la geometría tal como se preparó para el proceso de maquinado en la fase anterior de diseño, el proceso de maquinado virtual inicia según las fases siguientes.

4.8.1 Trayectorias de herramienta

Para calcular las trayectorias de maquinado se utiliza el software mastercam, donde únicamente se selecciona la opción *toolpaths* dentro del menú principal y se toma alguna de las ocho trayectorias disponibles para desbaste como son: *Parallel*, *Radial*, *Project*, *Flowline*, *Contour*, *Restmill*, *Pocket*, *Plunge*, para este trabajo se utiliza la opción “**Pocket**” la cual una vez seleccionada abre una ventana con cuatro pestañas, la primera es *Tool parameters* donde se seleccionan los parámetros de herramienta, como se muestra en la figura 4.20 primero se selecciona el tipo de herramienta buscando en la librería disponible en este caso *endmill* esférica de 20 milímetros que se ubica en la posición 2 con un avance de trabajo de 1000 mm/min y un avance de penetración de 500 mm/min, la velocidad del husillo son 2500 revoluciones.

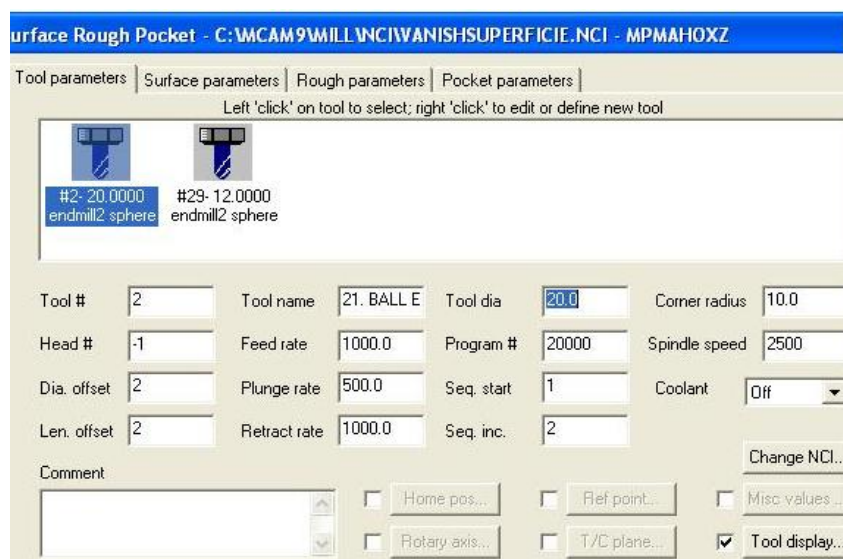


Fig. 4.20 Parámetros de herramienta

CAPÍTULO IV

La siguiente pestaña *Surface parameters* define los parámetros de la superficie como es la distancia de aproximación y sobre espesor para acabado además del tipo de compensación, en este caso la herramienta mantiene 2 milímetros como distancia de seguridad y compensación a la punta del cortador, así como 1 milímetro de sobre material para acabado, como se muestra en la figura 4.21

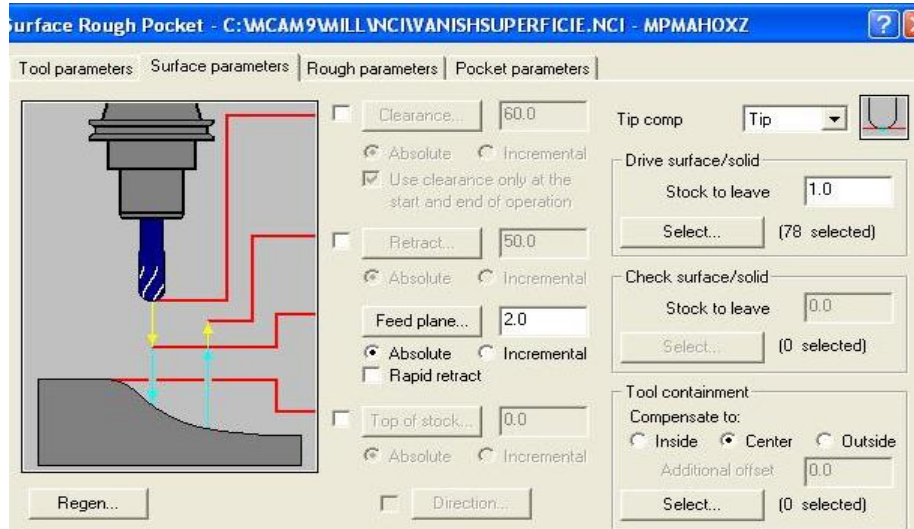


Fig. 4.21 Parámetros de superficie

En la tercera pestaña *Rough parameters* se establecen las condiciones de desbaste como tolerancia en las trayectorias y profundidad de pasada, como se muestra en la figura 4.22

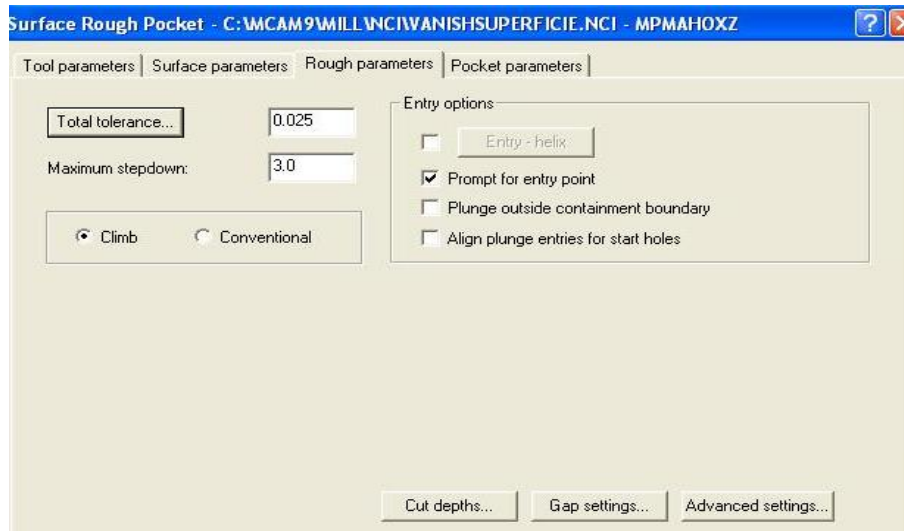


Fig. 4.22 Parámetros de desbaste

CAPÍTULO IV

En la última pestaña *Pocket parameters* se introducen los datos para control de movimiento así como separación entre pasadas llamado *stepover*, en este caso su utilización el método “*Constant Overlap Spiral*” como se muestra en la figura 4.23

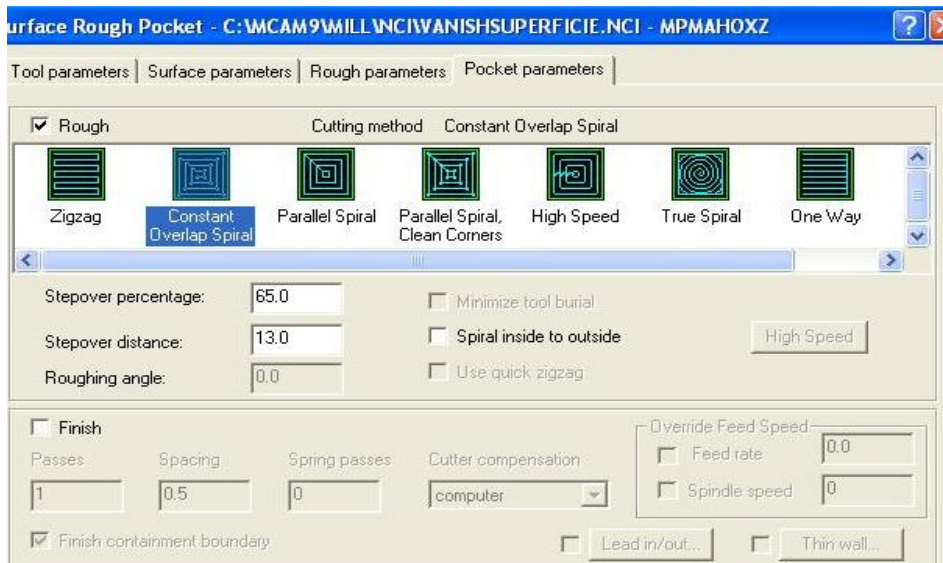


Fig. 4.23 Parámetros de movimiento

Finalmente al aceptar los parámetros se calculan las trayectorias para el proceso de desbaste las cuales se pueden observar en color azul claro, como se observa en la figura 4.24. Para el acabado se sigue el mismo procedimiento solo que en lugar de tomar *Rough Pocket* se selecciona *Finish Parallel*.

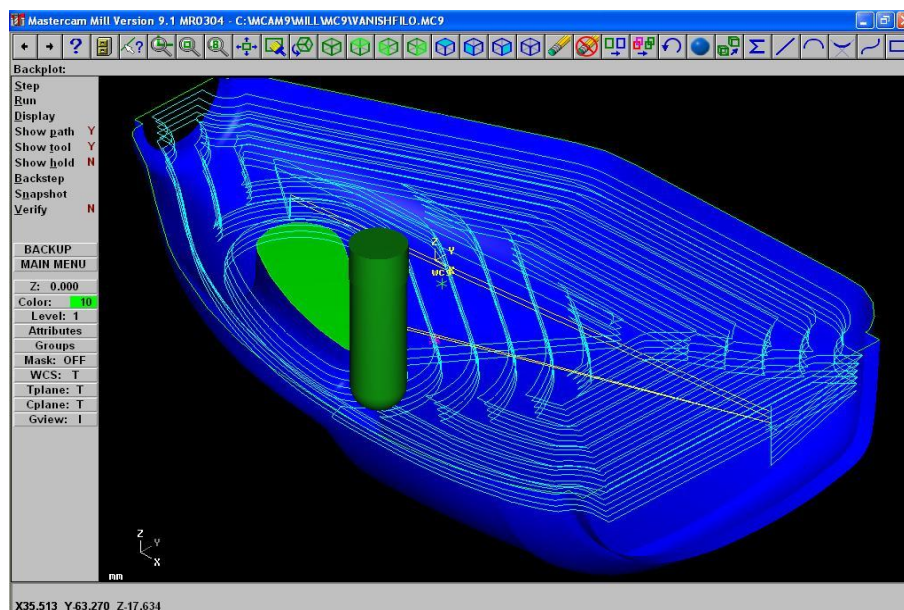


Fig. 4.24 Trayectorias de desbaste

4.8.2 Herramientas

Existen una enorme variedad de herramientas para la manufactura de cavidades, las principales diferencias son su material de construcción y la geometría de la herramienta, las cuales dependen del tipo de material a cortar, todo el software de manufactura cuenta con librerías de fabricantes de herramientas, esto permite la selección adecuada de la herramienta para una correcta simulación grafica, en este trabajo se utilizan librerías disponibles en mastercam que están disponibles seleccionando el fondo blanco de la primera pestaña de parámetros de herramienta y se toma una herramienta de carburo esférica de 20 mm. de diámetro para el desbaste y otra de 12 mm. de diámetro también de carburo para el acabado, si alguna herramienta requiere cambiarse solo se edita seleccionando el icono y se obtiene el cuadro de dialogo que se muestra en la figura 4.25

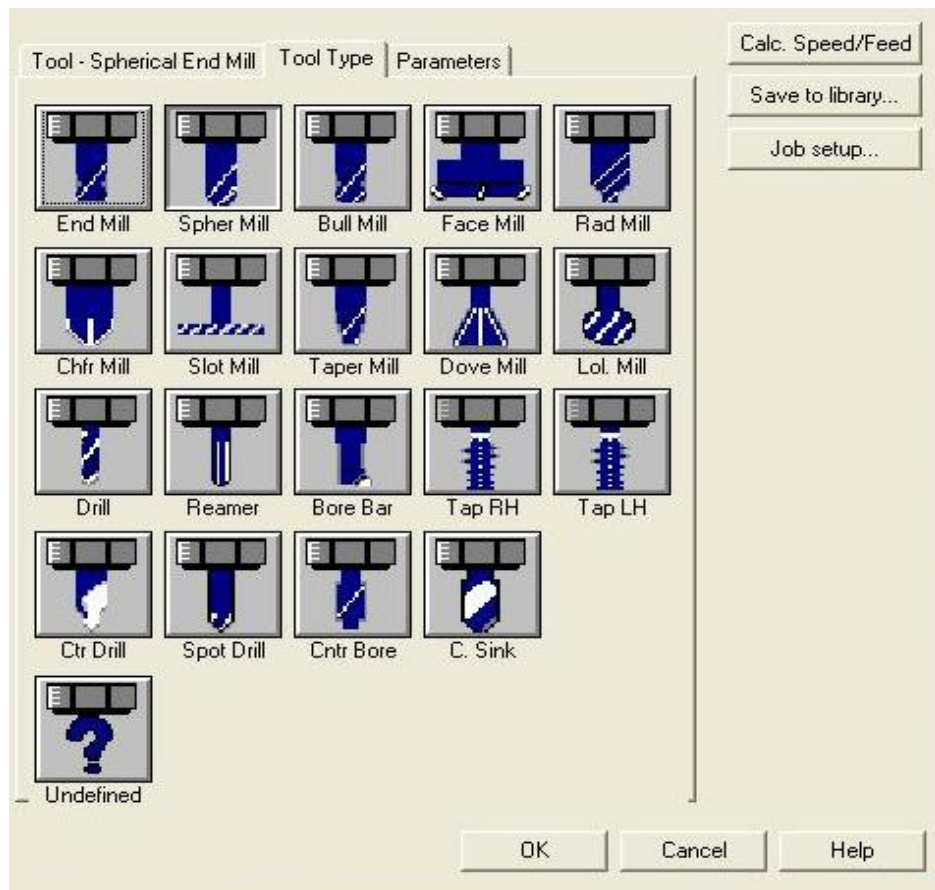


Fig. 4.25 Librería de herramientas en mastercam

4.8.3 Parámetros de corte

Las condiciones de corte son un requisito para obtener una alta productividad en el proceso de maquinado, así que se deben seleccionar cuidadosamente de las tablas 4.5 para la velocidad de corte y 4.6 para el avance, estas tablas aplican para el proceso de fresado, además se puede tomar de la información que proporciona el fabricante de herramientas el cual explica los rangos de uso, las variables más importantes a considerar del fabricante son: velocidad de corte (V_c), avance por diente (F_z), y profundidad de pasada (a_p), como se muestra en la figura 4.26.

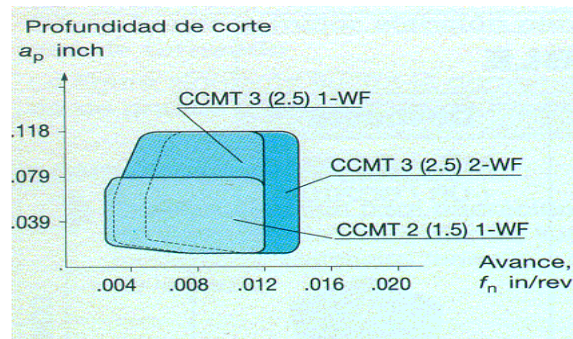


Fig. 4.26 Relación de profundidad y avance

4.8.4 Simulación

Para simular el proceso de maquinado tal como se realizará en la máquina de control numérico es necesario haber definido todas las trayectorias, así como establecer las dimensiones de la materia prima, por último dentro del menú principal se selecciona “**NC Utilities**” donde se ejecuta el proceso, ya sea analizando únicamente las trayectorias de herramienta lo cual permite conocer el tiempo de proceso o analizando el maquinado tal como se ejecutaría en la máquina de control numérico, este último método permite detectar golpes y acabado superficial, como se muestra en la figura 4.27.

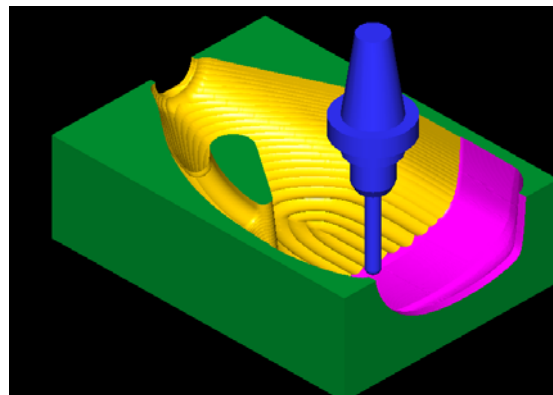


Fig. 4.27 Simulación del maquinado

CAPÍTULO IV

4.8.5 Generar código de CN

Una vez que la verificación cumple con los requisitos de diseño de la cavidad se debe obtener el programa para maquinado utilizando el postprocesador previamente diseñado y adaptado a la maquina a utilizar, dentro de mastercam todos los postprocesadores utilizan una extensión .PST los cuales son listados una vez que se selecciona la opción **“Post proc”** , posteriormente elegimos el postprocesador correspondiente que para este trabajo se llama ESIME.PST, durante el proceso obtenemos dos tipos de archivos, primero el *CL data* o datos de posición del cortador y el segundo es el programa de control numérico, como se muestra para un programa barrenado.

Programa CL Data

```
1001 (Inicio de archivo y cambio de herramienta)
0 1 2 2 2 2 0 1432 85.92 0 -40.186 15.628 10. 0. 5. 0. 0 0.
0 (Movimiento rápido)
0 -40.186 15.628 10. -2. 0
81 (Ciclo de barrenado con ejecución)
0 -40.186 15.628 -30. 0.5 85.92 2. 2. 2. 10. 10. 0. 0. -40.186 15.628 10. 3000 0
100
0 -40.317 -18.254 -30. 10. 10. 0.5 85.92 -40.317 -18.254 10. 300 0 0. 1. 0. 0. 0. 1. 0. 0. 0. 1.
80 (Cancela ciclos de barrenado)
1003 (Fin de programa)
0. 5. 0.
```

Programa CNC

```
%PM N13 G0 X40.186 Z15.628
N1 (T) N15 G0 Y10.
N3 ( Fecha 22-04-09 Hora 15:35 ) N17 G81 X.5 Y10. Z-30. B10. F85.9
N5 G18 N19 G79 X40.186 Z15.628
N7 G52 N21 G79 X40.317 Z-18.254
N9 S1432 T2 M6 N23 G0 X0. Y5.
N11 M3 N25 M30
```

En esta sección del trabajo se analizan y calculan las trayectorias que sigue la herramienta así como los parámetros de velocidad de corte, avance y velocidad de husillo, además se analiza el archivo *Cutter Location Data* como base del programa de control numérico

CAPÍTULO V

CAPITULO V DESARROLLO DEL POSTPROCESADOR

En este capítulo se analiza el desarrollo de un postprocesador, el cual se utiliza para traducir información de posición de herramienta en código para manufactura que entiende la máquina de control numérico, este postprocesador es un programa de computadora en formato ASCII y es ubicado estratégicamente dentro de mastercam para ser leído cada vez que se desee obtener código.

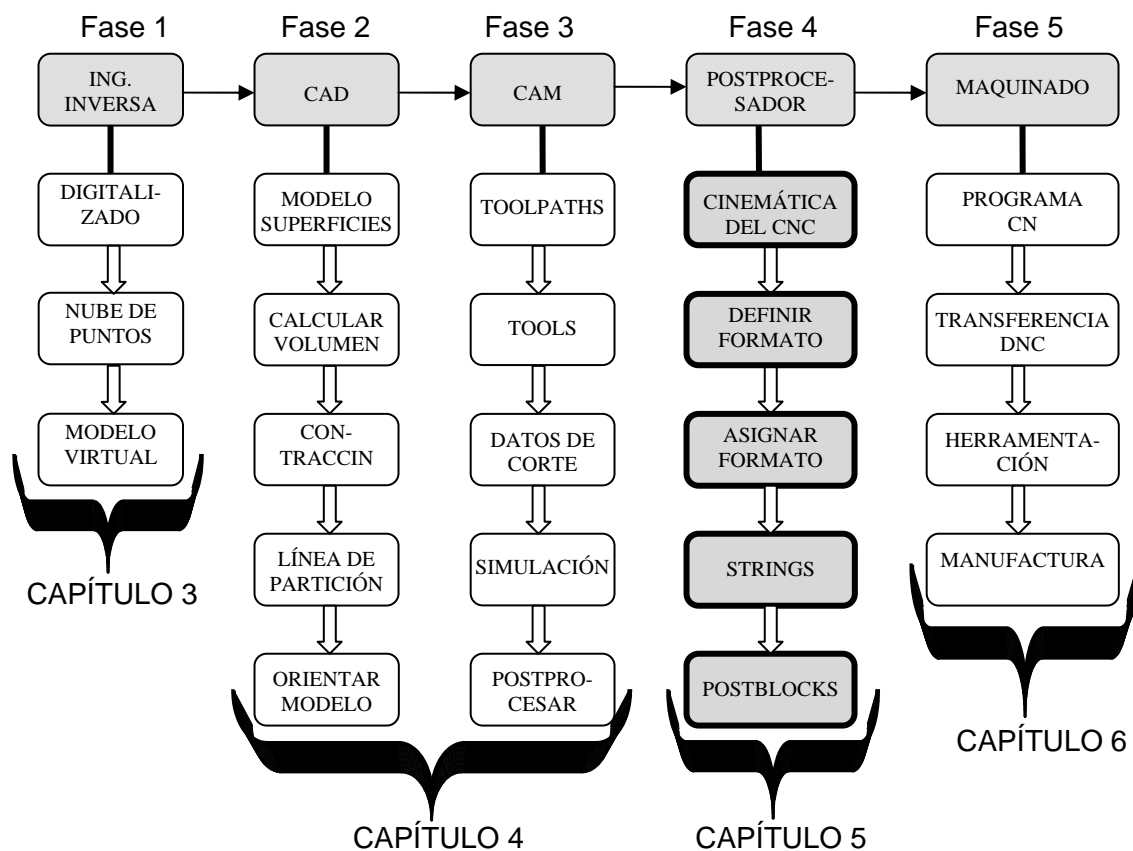


Tabla 5.1 Fase 4, Etapas del postprocesador

5.1 INTRODUCCIÓN

Los lenguajes de programación más importantes aplicados en la manufactura asistida por computadora son APT (*Automatically Programmed Tools*) y COMPACT II (*Computer Program for Automatically Controlling Tools*), una vez diseñada la pieza el sistema utiliza cualquiera de estos programas para convertir las trayectorias de herramienta a un formato llamado "CL Data" Cutter Location Data (*Datos de posición de herramienta*), el

CAPÍTULO V

archivo CL Data contiene información sobre la herramienta y las coordenadas de maquinado, las cuales serán modificadas por el postprocesador para obtener los códigos de máquina (G y M). La acción de postprocesar es la transformación del archivo CL Data en un programa para la máquina CNC (*Control Numérico Computarizado*) de acuerdo al formato requerido por el armario de control de cada máquina, el postprocesador actúa como puente entre los sistemas CAM y la máquina herramienta como se muestra en la figura 5.1 (Férre, R. 1988)

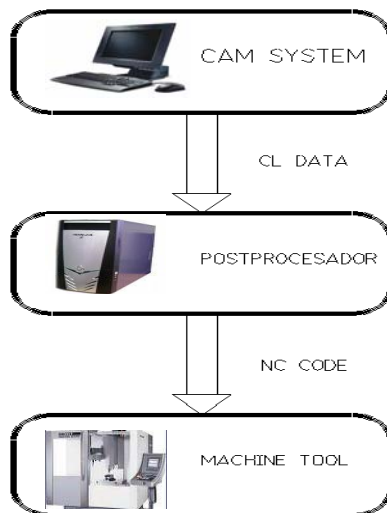


Fig. 5.1 Cam – Postprocesador -NC

5.2 ARCHIVO “Cuter Location Data”

Dentro de mastercam una vez que se tiene la geometría en condiciones para calcular las trayectorias de maquinado se solicita un “Toolpaht” (*Trayectoria de herramienta*), este a su vez pide seleccionar la geometría a maquinar y una vez seleccionada se debe indicar tipo y cantidad de herramientas así como los parámetros de corte, cuando se aceptan estas condiciones el programa genera un archivo con extensión NCI (*Control Numérico Intermedio*), éste es el archivo de ubicación de herramienta, en resumen un archivo “CL data” representa las trayectorias de herramienta, este archivo es generado al seleccionar cualquier estrategia de maquinado en un sistema CAM (*Computer Aided Manufacturing*), es la interface entre las trayectorias y el postprocesador, el CL data es un archivo que genera el sistema CAM en formato ASCII (*American Standard Code for Information Interchange*) el cual consta de dos líneas, como se muestra en la figura 5.2.

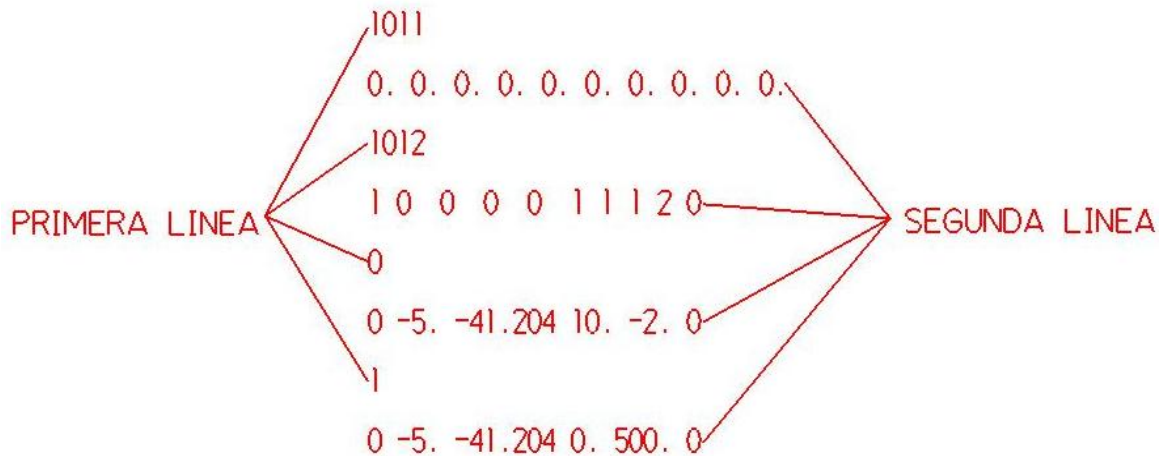


Fig. 5.2 Estructura del archivo "CL data"

Una serie de dos líneas comprenden una operación, como puede ser un movimiento lineal, circular, cambio de herramienta etc., el archivo puede contener una infinidad de operaciones. La primera línea es llamada de *código* ya que indica el tipo de operación, mientras que la segunda línea es llamada de *movimiento* ya que contiene coordenadas X, Y, Z, compensación y avance, como se muestra en el siguiente ejemplo:

1	Gcode line:	Define el tipo de movimiento (0=rápido, 1= lineal, 2=Cw arco, etc).
41 1.285 -2.76 -0.125 1.2	Move line:	Define coordenadas de movimiento (cc, x, y, z, fr).

5.3 ESTRUCTURA DEL POSTPROCESADOR

Un postprocesador en mastercam está constituido por nueve secciones, inicia con la descripción y notas referentes al tipo de máquina para el que fue diseñado y notas adicionales de cambios y actualizaciones toda esta información es definida como comentarios, la segunda sección es nombrada "Debug" (Depurar) y sirve para encontrar las líneas que generan código a partir del archivo CL Data.

CAPÍTULO V

La tercera sección inicia con el formato de salida para el código de control numérico, es decir determina el número de dígitos antes y después del punto decimal así como la cantidad de ceros a mantener según el tipo de armario de control, en la cuarta sección se asigna el número de formato previamente definido en la sección tres a cada variable como son coordenadas, centros de círculo, número de herramienta, número de programa etc., el apartado siguiente enumera todas las fórmulas que intervienen en el postprocesador así como la indicación de ejecución de los ciclos de barrenado.

En la sexta sección se ubican los "Strings" (enlaces) los cuales permiten agrupar las funciones de movimiento por familias para su posterior elección en la ejecución, una lista string consiste de dos o más definiciones strings, un objetivo variable y un selector de string.

Las secciones siete y ocho están constituidas por postblocks los cuales consisten en uno o más postlines, cada postline está formado de un conjunto de argumentos separados por comas, los postblocks pueden ser definidos por el usuario o existen varios que son predefinidos, la última sección consiste de un conjunto de preguntas que agrupan la funcionalidad de mastercam.

5.3.1 *Declaración de formato*

Existen actualmente dos sistemas en metrología dimensional utilizados a nivel mundial, uno es el sistema inglés (Pulgadas) y el otro es el sistema internacional (Milímetros), dependiendo del sistema que utilice la máquina de control numérico será el formato, por ejemplo para el sistema inglés se utiliza la diezmilésima de pulgada la cual ocupa cuatro dígitos después del punto decimal, mientras que en el sistema internacional se utiliza la milésima de milímetro que ocupa tres dígitos después del punto decimal, esta información afecta a las coordenadas de movimiento como los ejes, centros de círculo, radio etc., y se le asigna un número que identifique el formato, por lo tanto esta sección define el formato de salida del código, es decir indica al postprocesador cuántos dígitos soporta el armario de control antes y después del punto decimal, así como la cantidad de ceros al principio y al final de la cifra, la sintaxis es como sigue y encabeza la figura 5.3

Fs__1__2.4lt

CAPÍTULO V

La figura 5.3 muestra el formato declarado con el número uno para obtener coordenadas con dos dígitos antes del punto decimal y cuatro después y se obtendría las coordenadas siguientes "X 01.3400"

```
# Format Statements  
fs 1 2.41t  
fs 2 0.3  
fs 3 4 0  
fs 5 0.1t
```

Fig. 5.3 Declaración de formato de salida

En la salida del código con la estructura del formato número 1 se observa que existen dos dígitos antes del punto decimal y cuatro después en todas las coordenadas, como se muestra en la figura 5.4

```
N27 G1 Z14.9260  
N29 G3 X-03.6300 Z31.2040 I-43.6300 K14.9260  
N31 X09.9080 Z14.9260 I43.6300 K14.9260  
N33 G1 Z-14.9260  
N35 G3 X43.6300 Z-31.2040 I43.6300 K-14.9260
```

Fig. 5.4 Programa con el formato de la figura 5.3

5.3.2 Asignación de formato

Esta parte del programa como su nombre lo indica asigna el formato numérico declarado en la sección anterior a cada variable que requiera ese formato para ser aceptada por el armario de control, la sintaxis define la función de asignación (**fmt**) seguida del prefijo para la variable que es regularmente una mayúscula, sigue el número de formato según se declaró en la figura 5.3 y finalmente la variable, como se muestra en la tabla 5.2

fmt	X 1 x	
fmt		Instrucción, fmt
X		Prefijo, para variables
1		Número de formato
x		Variable a formatear

Tabla 5.2 Sintaxis del formato numérico

CAPÍTULO V

La aplicación de la asignación de formato se ilustra en la figura 5.5, donde se observa la lista de variables x, y, z, asignadas al número 1, esta asignación forma parte del postprocesador desarrollado para el presente trabajo, se observa que las variables x, y, z, están asignadas al formato numérico número 1, y las tres tienen una salida igual al formato declarado en la figura 5.3

```
# Format Assignments
# fmt X 1 x - x, y, z, i, j,
#           are init. fs 1,
fmt X 1 x           # X Axis Pos
fmt Z 1 y           # Y Axis Pos
fmt Y 1 z           # Z Axis Pos
```

Fig. 5.5 Asignación de formato numérico en el programa CN

5.3.3 Lista de inicialización, fórmulas y ciclos enlatados

5.3.3.1 Lista de inicialización

La lista de inicialización de variables consiste en un valor asignado el cual decide el comportamiento del posprocesador, es decir le indica rangos en máximos y mínimos así como condiciones de activo y no activo, la figura 5.6 muestra parte de una lista de inicialización.

```
maxfeedpm_m : 10000 #Limit for feed in mm/min
force_wcs   : yes   #Force WCS output at every toolchange?
spaces      : 1     #Number of spaces to add between fields
omitseq     : yes   #Omit sequence numbers?
seqmax      : 9999  #Max. sequence number
stagetool   : 0     #0 = Do not pre-stage tools, 1 = Stage
use_gear    : 0     #Output gear selection code, 0=no, 1=r
```

Fig. 5.6 Lista de condiciones de inicio

CAPÍTULO V

5.3.3.2 Ecuaciones

Son instrucciones asociadas a una ecuación para su ejecución, incluye operaciones como suma, resta, multiplicación y otras que se muestran en la tabla 5.3 Una variable puede ser asociada con una ecuación, está debe ser definida como una ecuación global en la lista de inicialización.

x + y	Suma	tan(a)	Tangente(a) en grados
x - y	Resta	asin(x)	Arc seno
x * y	Producto	acos(x)	Arc coseno
x / y	Cociente	atan(x)	Arc. Tangente
x = y	Igual	atan2(y,x)	Arc. Tangente 2 argumentos
-x	Menos 1	abs(x)	Valor absoluto
x ^ y	Potencia	sqrt(x)	Raíz cuadrada
π	Cte. Pi	round(x)	Redondeo a entero
deg2rad	Grados a radianes	int(x)	Truncar un entero
rad2deg	Radianes a grados	frac(x)	Fracción de un número entero
sin(a)	Seno (a) en grados	flook(n,v)	Tabla de búsqueda
cos(a)	Cos(a) en grados	frange(n,v)	Tabla de búsqueda

Tabla 5.3 Funciones matemáticas del postprocesador

5.3.3.3 Ciclos enlatados

La programación ISO agrupa una serie de funciones G que realizan un conjunto de movimientos con una sola instrucción, se les llama ciclos enlatados, la asignación de ciclos enlatados dentro del postprocesador se realiza indicando que están activos, para esto dentro del postprocesador en el apartado correspondiente a definición de ciclos poner "1" o "yes" para activarlos como se muestra en la figura 5.7

```
"
# Utiliza Ciclos enlatados?
#
usecandrill : yes # Ciclo de barrenado
usecanpeck  : yes # Ciclo de barrenado profundo
usecanchip  : yes # Ciclo de barrenado profundo con rompevirutas
usecantap   : yes # Ciclo de roscado
usecanbore1 : yes # Ciclo de mandrinado 1
usecanbore2 : yes # Ciclo de mandrinado 2
```

Fig. 5.7 Ciclos enlatados

5.3.4 Enlaces (*strings*)

La definición *strings* tiene dos partes, la declaración que inicia con la letra “s” (sg00) y un grupo de caracteres separados de la etiqueta de declaración por un espacio (G0).

La estructura consta de una lista de dos o más *strings* como se muestra en la figura 5.8, de la cual el postprocesador toma un valor que genera el CL Data

```
sG0      G0 # Movimiento lineal rapido
sg01     G1 # Movimiento lineal con avance
sg02     G2 # Interpolación circular sentido horario
sg03     G3 # Interpolación circular sentido antihorario
```

Fig. 5.8 Definición de strings

Después de las líneas de definición de strings (G0, G1, G2, G3) aparece una línea que es la encargada de seleccionar alguno de los movimientos de la lista, en este caso la variable es (*sgcode*), esta variable se coloca al final de la lista de strings como se muestra en la figura 5.9, cada vez que esta variable es encontrada al postprocesar la información se accede al listado de string y se asigna un valor dependiendo del valor asignado en el archivo CL Data

```
sG0      G0 # Movimiento lineal rapido
sg01     G1 # Movimiento lineal con avance
sg02     G2 # Interpolación circular sentido horario
sg03     G3 # Interpolación circular sentido antihorario
sgcode   # Target para movimiento lineal o circular
```

Fig. 5.9 Definición de strings con target

CAPÍTULO V

Al final de las cuatro líneas después de un espacio, aparece la instrucción de ejecución la cual consta de tres partes “Label_selector_target”. Label es el nombre del primer string en la lista en este caso (sg0), el selector es la variable que antecede al target en este caso (gcode) y determina el dato de salida en el programa de control numérico, y el target variable es (sgcode) como se muestra en la figura 5.10

```
sg0      G0 # Movimiento lineal rapido
sg01     G1 # Movimiento lineal con avance
sg02     G2 # Interpolación circular sentido horario
sg03     G3 # Interpolación circular sentido antihorario
sgcode   # Target para movimiento lineal o circular

fstrsel  sg0 gcode sgcode # Seleccion de movimiento
```

Fig. 5.10 String completo

En el postprocesador el target variable aparece de la siguiente forma.

```
plin    # Linear line move
        n, sgcode, x, y, z, fr
```

En este caso al leer la ejecución de string se detecta que tiene avance el programa, por lo tanto la variable es un movimiento lineal, entonces el programa arroja un G1.

5.3.5 Variables del postprocesador

Las variables se utilizan para asignar valores numéricos o establecer condiciones de activo o no activo, tal es el caso de la variable “breakarcs” que rompe los arcos en sus respectivos cuadrantes o la variable definida por el usuario “rpm” que se utiliza para mantener la velocidad del husillo durante una operación. Los valores asignados a las variables pueden ser de dos maneras; definidos directamente o por medio de fórmulas, en el primer caso el valor es asignado directamente ($X = 1.23$) o como variables de inicialización en el postprocesador esto se realiza cambiando el signo (=) por (:)

($X : 1.23$), en el segundo caso se aplican fórmulas matemáticas como ($XY = X+Y$) o calculando automáticamente por el postprocesador utilizando información del archivo CL data.

5.3.5.1 *Variables predefinidas*

El software para manufactura (*mastercam*) incluye un archivo ejecutable MP.DLL el cual suministra al sistema una gran cantidad de variables predefinidas, así como constantes de uso común como π o datos del programa CL data como avance, número de herramienta o coordenadas X, Y, Z.

Las variables siguientes son comúnmente utilizadas:

a, b, c

Ejes de rotación, en grados

arcrad

Esta variable mantiene el radio del arco

auxprg

El postprocesador crea un programa auxiliar cuando la variables tiene un valor de (1) (yes), esta variable se debe ubicar en la sección “Inicializar” del postprocesador, antes de que cualquier postblocks sea compilado.

arctype

Esta variable describe el centro del arco (I, J y K).

axis

Esta variable define sobre que eje se realiza la rotación cuando el plano de herramienta es utilizado.

- 0 Ninguno
- 1 = X
- 2 = Y
- 3 = Z

breakarcs

Esta variable le indica al postprocesador que rompa los arcos en sus respectivos cuadrantes, regularmente se desactiva para controles recientes y se activa para controles anteriores.

CC

Compensación del cortador, los datos son leídos directamente del archivo CL Data

- 0 = Off
- 1 = Cancelado
- 2 = Izquierda
- 3 = Derecha
- 4 = Cancela con el último movimiento

ccomp

Compensación del cortador en el control, se activa esta variable o la anterior

- 0 = Off
- 1 = Cancelado
- 2 = Izquierda
- 3 = Derecha
- 4 = Cancela con el último movimiento

coolant

Estatus del soluble

- 0 = Off
- 1 = Abundante
- 2 = niebla

CAPÍTULO V

5.3.6 Blocks para postprocesador

Una etiqueta postblock debe iniciar con la letra “p” y siempre se ubica en la primera columna, consiste de uno o mas postline, los cuales son un conjunto de argumentos separados por comas que nunca deben iniciar en la primera columna, la estructura y salida de código referente a un postblock para movimiento lineal se muestra en la figura 5.11

```
plimm      # Movimiento lineal con avance
           n, sgcode, x, y, z, pfr
           N100 G1 X20.235 Y-32.154 Z-1.536 F250.0|
```

Fig. 5.11 Estructura del postblock

Los argumentos de un postline pueden ser de varios tipos, operaciones booleanas, fórmulas, strings, variables, funciones y caracteres especiales, como los que se muestran en la tabla 5.4

Operación booleana	If VAR1 OP VAR2	
Formula	fr2 = fr-1000	
Enlace (string)	sgcode	Inicia con “s”
Literal (string)	“M08”	Se limita con comillas
Forzada string	*sgcode	Asterisco antes del nombre
Procedimiento	pcool	Inicia con “p”
Función	fleader	Inicia con “f”
Variable	ss	Inician con cualquier letra
Variable forzada	*ss	Asterisco antes del nombre
Formula forzada	!height	Resuelve sin salida
Variable	x2	Variable para formula x2 = x+y
Carácter especial	10	Equivalente decimal
Comentario	# comment	Información después del signo #

Tabla 5.4 Argumentos que forman postlines

CAPÍTULO V

5.3.6.1 Operación booleana

Es una expresión que arroja un valor de falso o verdadero, si una operación booleana es puesta en un postline está debe ubicarse al inicio de este, además solo una función booleana puede aparecer en el postline, un postline puede llamar a un postblock utilizando condiciones booleanas las cuales son anidadas en los postlines, como se muestra en el siguiente ejemplo.

“if (d>1) and (d<30) then doit”

Se debe programar una subrutina adicional para evaluar la segunda condición, esta subrutina es un postblock como se muestra a continuación.

```
pdoit      # Realiza la acción
pt2        # Condición 2
           if d < 30, pdoit
pt1        # Condición 1
           If d > 1, pt2
```

Si aparece el condicional **“IF”** indica que la condición después de la coma es ejecutada si el resultado de la operación booleana es verdadero, mientras que el condicional **“WHILE”** indica que la condición después de la coma es repetida continuamente hasta que la expresión booleana es falsa, la sintaxis queda de la siguiente forma

CMD_VAR1_OP_VAR2_,ACCIÓN

<i>CMD</i>	<i>Palabra “if” or “while”</i>
<i>_</i>	<i>Espacio</i>
<i>VAR1</i>	<i>Primera variable</i>
<i>_</i>	<i>Espacio</i>
<i>OP</i>	<i>Operador booleano “=”, “<>”, “>”, “<”, “>=”, “<=”</i>
<i>_</i>	<i>Espacio</i>
<i>VAR2</i>	<i>Segunda variable</i>
<i>_</i>	<i>Espacio</i>
<i>,</i>	<i>Coma</i>
<i>ACCIÓN</i>	<i>Cualquier argumento de postline</i>

5.3.6.2 *Asignación (Ecuación)*

La asignación de datos numéricos es realizada como se van encontrando ubicados dentro del postline, el formato común es el asignado por una variable “variable = valor” el argumento a la derecha del signo igual puede ser un valor numérico como “dd = -1.23,” o una formula como “dd = x – y.” Cuando una asignación es utilizada en un postline debe colocarse sola o seguida de una operación booleana.

5.3.6.3 *Enlace (string)*

Los strings pueden utilizarse como argumentos de postline de tres maneras: string variables, string select, o strings literals, algún string variable como “sg00” puede ser usado como argumento de un postline, también puede utilizarse el target string de un string select, pero los strings programados en esta forma no son modales ya que la modalidad la proporciona el selector variable.

5.3.6.4 *String forzado*

Los strings dentro del grupo de familias de funciones G y M son modales ya que incluyen el selector variable, pero muchas veces en algunos postlines se requiere que trabajen de forma que no sea modal, para tal objetivo se antecede de un asterisco (*sgcode).

5.3.6.5 *Fórmulas globales*

Cada vez que una variable es encontrada en un postline y esta variable está asociada a una fórmula global en la lista de inicialización, el valor de la variable es calculado en función de la fórmula asociada, por ejemplo si $X = 10$ y $Y = 9$ y la formula “abs(x-y)” es igualada a la variable “x2”, la formula en la lista de inicialización queda “x2 = abs(x-y).

El postprocesador encuentra la variable “x2” al ejecutarse, y la formula anterior es usada para calcular la variable. (*Post Processor User Guide 1994*)

5.4 DESARROLLO DE POSTPROCESADOR PARA MÁQUINA MAHO

5.4.1 Cinemática del cnc

Para el desarrollo de un postprocesador en cualquier máquina, es necesario conocer algunas características como la estructura de movimientos de los ejes, longitud de carrera, sentido positivo y negativo, planos de trabajo, etc. En el presente trabajo los 3 ejes para la máquina maho se muestran en la figura 5.12

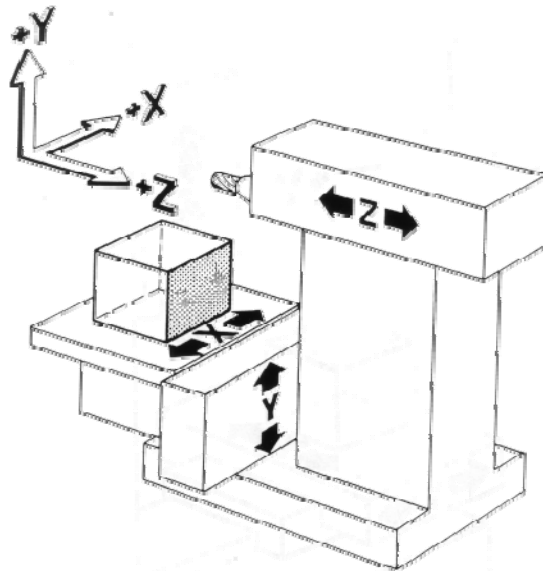


Fig. 5.12 Configuración de ejes Maho 700

La máquina maho tiene las siguientes capacidades en cada uno de los ejes.

- Desplazamiento en el eje X.....700 mm.
- Desplazamiento en el eje Y.....500 mm.
- Desplazamiento en el eje Z.....600 mm.

CAPÍTULO V

5.4.2 Definición de formato

La máquina maho está configurada en el sistema internacional, por lo que soporta 3 dígitos después del punto decimal, la configuración que soporta el armario de control de la máquina maho para cada uno de los ejes y demás movimientos auxiliares se detalla en la tabla 5.5

X	+/- 6.3	COORDENADA EN X
Y	+/- 6.3	COORDENADA EN Y
Z	+/- 6.3	COORDENADA EN Z
R	6.3	VALOR RADIO
I	+/- 6.3	CENTRO DE CIRCULO X
J	+/- 6.3	CENTRO DE CIRCULO Y
K	+/- 6.3	CENTRO DE CIRCULO Z

Tabla 5.5 Formato de coordenadas

La tabla indica que el armario soporta 6 dígitos antes del punto decimal y 3 dígitos después, además de signo, pero según la cinemática de la máquina, se recorren distancias máximas de 699.999 mm. y considerando que el desplazamiento en X es de 700 mm., por lo tanto un formato de 3 dígitos antes del punto y 3 dígitos después además de suprimir primeros y últimos ceros es declarado en el postprocesador y se asigna el numero 1, como se muestra en la figura 5.13,. Además, la lista de asignación contempla una numeración secuencial para otras variables como el formato para el número de programa en la línea 5, las R. P. M. en la línea 3 que consta de 4 dígitos sin punto decimal como sería en una máquina que no excede las 10 000 r.p.m., en este caso la velocidad máxima es de 6500 r.p.m. (*Manfred Berg 1990*)

```
#
fs 1 3.3
fs 2 0.3
fs 3 4 0
fs 4 0.1t
fs 5 4 0n
fs 6 1 0l
```

Fig. 5.13 Declaración de formato para postprocesador maho

CAPÍTULO V

El programa para la máquina de control numérico tiene el formato que se muestra en la figura 5.14, con un máximo de 3 dígitos antes del punto decimal y 3 dígitos después.

```
N27 G1 Z14.926
N29 G3 X-43.63 Z31.204 I-43.63 K14.926
N31 X59.908 Z14.926 I43.63 K14.926
N33 G1 Z-14.926
N35 G3 X43.63 Z-31.204 I43.63 K-14.926
```

Fig. 5.14 Formato de salida para máquina maho

En la figura anterior se muestra que los dígitos antes del punto son dos, esto se debe al tamaño de la geometría, es decir, si la pieza a maquinar excede 99.999 milímetros, el programa se obtiene como se muestra en la figura 5.15, con los 3 dígitos antes y los 3 después del punto decimal.

```
N27 G1 Z149.261
N29 G3 X-436.303 Z289.541 I-436.303 K149.261
N31 X576.582 Z149.261 I436.303 K149.261
N33 G1 Z-149.261
N35 G3 X436.303 Z-289.541 I436.303 K-149.261
```

Fig. 5.15 Formato 3.3

5.4.3 *Asignación de formato*

Una vez definido el formato de acuerdo a las características de operación de la máquina es necesario asignarlo a la variable correspondiente, los ejemplos de programa anteriores aplican para las variables x, y, z, pero además es necesario asignar variables a otras instrucciones de salida como la velocidad del husillo (ss), el número de herramienta (t), el avance (fr), número de programa (progno), etc. Estas variables son asignadas en el postprocesador de tal manera que al ser ejecutadas le asigna el formato de salida correspondiente, como se muestra en la figura 5.16, que es parte del postprocesador desarrollado para la máquina maho.

```
# Formato para programa y número de secuencia
#
fmt      5 progno      # Numero de programa
fmt     N 5 n         # Numero de secuencia
#
# Formato para herramienta
#
fmt     T 6 t         # Numero de herramienta
#
# Formato para velocidad y avance
#
fmt     S 3 ss        # Velocidad del husillo
fmt     F 4 fr        # Avance
```

Fig. 5.16 Asignación de formato para postprocesador maho

5.4.4 Asignación de enlaces (strings)

La programación de máquinas de control numérico se realiza con código G y M, los cuales se agrupan para formar familias tal es el caso de los movimientos lineal y circular que agrupa los códigos G0, G1, G2, G3, estos cuatro códigos forman un string, lo mismo ocurre con los planos de trabajo G17, G18, G19, como se muestra en la figura 5.17.

```
sg17      G17      # XY plane code
sg19      G19      # ZY plane code
sg18      G18      # XZ plane code
sgplane           # Workplane G code

fstrsel   sg17 plane sgplane      # S
```

Fig. 5.17 String para planos de trabajo

El postprocesador desarrollado en el presente trabajo además de los string mencionados anteriormente cuenta con el string para funciones tecnológicas M3,M4,M5 y con los ciclos de barrenado y roscado, G81, G83 y G84.

5.4.5 Postblocks utilizados en el postprocesador

Los primeros son los postblocks definidos por usuario, en este caso primero aparece el tiempo de permanencia utilizado en los ciclos de barrenado (*pdwell*), le sigue la definición de avance (*pfr*) y finalmente la salida de soluble (*pcoolon*), todas inician con la literal “p”, según se muestra en la figura 5.18

```

"
# Postblocks definidas por usuario deben iniciar
# terminar una linea con ',' para continuar en
#
pdwell      # Determine whether to output dwell
            if dwell <> 0, *dwell
pfr         # Feedrate W/O Negative Feedrates
            if fr > 0, fr
pcoolon     # Coolant on
            if coolant = 1, "M8",!coolant
#

```

Fig. 5.18 Postblock definidos por usuario

Los siguientes postblocks son predefinidos en el postprocesador, es decir, son siempre asignados ya que establecen condiciones de salida, tales como el encabezado (*pheader*), el inicio de archivo de control numérico cuando se utilizan varias herramientas (*psof*), y el formato para cambio de herramienta (*ptlchg*), y la estructura del archivo al finalizar las trayectorias cuando se utilizan varias herramientas (*peof*), todos deben ser ejecutados en la salida del código de maquinado, como se muestra en la figura 5.19

```

pheader     # File header
psof0       # Start of file for tool zero
psof        # Inicio de archivo utilizando varias herramientas
            "%PM"
            "N", progno
            n, "(", progname, ")"
            n, "(", "Fecha ", date, " Hora ", time, ")"
            n, "G18"
            n, "G52"
            n, *ss, *t, "M6"
            n, *spdlon
            n, "G0", *xr, *yr
            n, "G0", *zr, pcoolon
ptlchg0     # Null tool change
ptlchg      # Tool change
            n, "M9"
            n, "G0", *xh, *yh, "M5"
            n, *ss, t, "M6"
            n, *spdlon
peof0       # End of file for tool zero
peof        # End of file for non-zero tool
            n, "G0", *xh, *yh
            n, "M30"

```

Fig. 5.19 Postblocks predefinidos

CAPÍTULO V

Además de los anteriores se utilizan otros postblocks en el presente posprocesador que se detallan a continuación:

- Movimiento lineal con avance rápido (*prapid*), arroja un “G0” al programa de control numérico, se utiliza para salida en los ejes XY o XYZ.
- Movimiento lineal con avance rápido solo en el eje de la herramienta (*pzrapid*) arroja un “G0” en el eje de la herramienta
- Movimiento lineal con avance programado (*plin*) arroja un “G1” al programa de control numérico, se utiliza para salida en los ejes XY o XYZ, la sintaxis es como sigue.

n, sgcode, x, y, z, pfr

- Movimiento lineal con avance programado solo en el eje de la herramienta (*pz*).
- Interpolación circular (*pcir*) arroja un “G2” o “G3” al programa de control numérico, la sintaxis en el postprocesador es como sigue.

n, sgplane, e

n, sgcode, pcirctr, pfr

- Ciclos de barrenado, barrenado profundo y machueleado (*pdrill*, *ppeck*, *pchpbrk*, *ptap*, *pbore1*, *pbore2*), arroja al programa el código para realizar diferentes tipos de barrenado, roscado y mandrilado, la sintaxis es como sigue.

pdrill # Canned Drill Cycle

n, *sgdrill, pdwell, *initht, *depth, *refht, *frplunge, e

n, "G79", *x, *y, *initht

CAPÍTULO V

5.5 POSTPROCESADOR PARA MAQUINA MAHO 700S

MASTERCAM MP POSTPROCESADOR

MÁQUINA MAHO 700 S

CONTROL PHILIPS 432

EJECUTABLE MP.DLL

Declaración de formato - i=inc l= leading t= trailing

fs 1 3.3 # Tres dígitos antes y 3 después del punto decimal

fs 2 0.3 # Tres dígitos antes y después del punto decimal "dwell"

fs 3 4 0 # Cuatro dígitos sin punto decimal "velocidad husillo"

fs 4 0.1t # Varios dígitos antes del punto y un espacio después "Avance"

fs 5 4 0n # Cuatro dígitos sin punto decimal "Número de programa"

fs 6 1 0l # Dos dígitos sin punto decimal " Número de herramienta"

Asignación de formato

fmt X 1 x # Posición eje X

fmt Z 1 y # Posición eje Y

fmt Y 1 z # Posición eje Z

fmt X 1 xr # Posición rápida X

fmt Z 1 yr # Posición rápida Y

fmt Y 1 zr # Posición rápida Z

fmt I 1 i # Descripción centro de arco en X

fmt K 1 j # Descripción centro de arco en Y

fmt J 1 k # Descripción centro de arco en Z

fmt 1 xc # Centro arco X

fmt 1 zc # Centro arco Z

fmt R 1 arcrad # Radio

Formato para programa y número de secuencia

fmt 5 progno # Número programa

fmt N 5 n # Secuencia de programa

CAPÍTULO V

```
# _____  
# Formato para herramienta  
# _____  
fmt T 6 t      # Número de herramienta  
# _____  
# Formato para velocidad y avance  
# _____  
fmt S 3 ss      # Velocidad husillo  
fmt F 4 fr      # Avance  
# _____  
# Formatos para variables de barrenado  
# _____  
fmt 1 drillcyc  # Ciclo barrenado  
fmt 1 drillcur  # Ciclo de barrenado con etiqueta  
fmt X 2 dwell   # Tiempo de permanencia  
fmt Y 2 initht  # Altura inicial  
fmt B 2 refht   # Altura de referencia  
fmt Z 1 depth   # Profundidad  
fmt K 2 peck1   # Primera penetración (positivo)  
fmt I 2 peck2   # Segunda o ultima penetración (positivo)  
fmt 2 peckclr  # Distancia de seguridad  
fmt J 1 retr    # Altura de retracción  
fmt F 4 frplunge # Avance de penetración en ciclos  
fmt J 1 mr1  
# _____  
# Lista de inicialización, fórmulas, ciclos enlatados  
# _____  
refht = 2  
spaces : 1      # Espacios entre campos  
yes : 1        # yes = 1  
no : 0         # no = 0  
plane : 0       # Plano inicial G17  
seqmax : 9999  # Secuencia maxima  
arctype : 1     # Tipo arco 1=abs, 2=St-Ctr, 3=Ctr-St, 4=unsigned inc.
```

CAPÍTULO V

```
do_full_arc : 0    # Permite arco completo 0=no, 1=yes
x      = x * -1
xh     = xh * -1
xr     = xr * -1
i      = i * -1
# _____
# Utiliza Ciclos enlatados?
# _____
usecandril : yes # Ciclo de barrenado
usecanpeck : yes # Ciclo barrenado profundo
usecanchip : yes # Ciclo con rompevirutas
usecantap  : yes # Ciclo de roscado
usecanbore1 : yes # Ciclo de mandrinado
usecanbore2 : yes # Ciclo de mandrinado 2
# _____
# Depurar - Switches para depurar
# _____
bug1 : 2    # 1 = Salida en pantalla
bug2 : 0    # Agrega el postline que genera cada línea
bug3 : 0    # Activa o desactiva el valor de la variable
bug4 : 0    # Agrega línea del NCI
# _____
# Strings - Deben iniciar con 's' - No son preasignados
# _____
sG0   G0 # Movimiento lineal rápido
sg01  G1 # Movimiento lineal con avance
sg02  G2 # Interpolación circular sentido horario
sg03  G3 # Interpolación circular sentido antihorario
sgcode # Target para movimiento lineal o circular

fstrsel sG0 gcode sgcode # Selector de movimiento
# _____
sm04    M4 # Giro antihorario - no soluble    "M04"
sm05    M5 # Sin giro - no soluble           "M05"
```

CAPÍTULO V

```
sm03      M3  # Giro horario      - no soluble  "M03"
sm04c     M4  # Giro antihorario - con soluble "M04"
sm05c     M5  # Sin giro           - con soluble "M05"
sm03c     M13 # Giro horario      - con soluble "M03"
spdlon    # Target giro de husillo
```

```
spdlssel = coolant * 3 + fsg3(ss) # Selector de giro
# soluble - 0 = off, 1 = on
```

```
fstrsel sm04 spdlssel spdlon
```

```
# _____
```

```
sg17     G17 # XY plano
sg19     G19 # ZY plano
sg18     G18 # XZ plano
sgplane  # Plano de trabajo
```

```
fstrsel sg17 plane sgplane # Selector plano de trabajo
```

```
# _____
```

```
sg81     G81 # Barrenado          - sin tiempo de permanencia
sg82     G81 # Barrenado          - con tiempo de permanencia
sg83     G83 # Barrenado profundo - sin tiempo de permanencia
sg83d    G83 # Barrenado profundo - con tiempo de permanencia
sg73     G83 # Barrenado rompe virutas - sin tiempo de permanencia
sg73d    G83 # Barrenado rompe virutas - con tiempo de permanencia
sg84     G84 # Roscado            _ sin tiempo de permanencia
sg84d    G84 # roscado            _ con tiempo de permanencia
sg85     G86 # Mandrinado #1      _ sin tiempo de permanencia
sg89     G86 # Mandrinado #1      _ con tiempo de permanencia
sg86     G86 # Mandrinado #2      _ sin tiempo de permanencia
sg86d    G86 # Mandrinado #2      _ con tiempo de permanencia
sgdrill  # Target para ciclo enlatado
drlgssel = drillcyc*2 + fsg2(dwell)
```

```
fstrsel sg81 drlgssel sgdrill # Selector para ciclo enlatado
```

```
# Postblocks definidas por usuario deben iniciar con 'p'
```

CAPÍTULO V

```
# terminar una línea con ',' para continuar en la siguiente
# _____
pdwell  # Determina donde aplica tiempo de permanencia
        if dwell <> 0, *dwell

pfr     # Avance
        if fr > 0, fr

pcoolon # Soluble
        # Si soluble = 1, "M8",!soluble

psg00   # Salida "G0" via string
        gcode = 0
        *sgcode

# _____
# ( Postblocks pre-definidos) No necesitan terminar con "e"

pheader # Encabezado

psof0   # Inicio para herramienta cero           1001
        psof

psof    # Inicio para varias herramientas       1001
        "%PM"
        "N", progno
        n, (" , progname, ")
        n, (" , "Fecha ", date, " Hora ", time, ")
        n, "G18"
        n, "G52"
        n, *ss, *t, "M6"
        n, *spdlon
        n, "G0", *xr, *yr
        n, "G0", *zr, pcoolon

ptlchg0 # Sin cambio de herramienta           1000

ptlchg  # Cambio de herramienta               1002
        n, "M9"
        n, "G0", *xh, *yh, "M5"
        n, *ss, t, "M6"
        n, *spdlon

peof0   # Fin de archivo para herramienta cero 1003
```

CAPÍTULO V

```
peof    # Fin para varias herramientas                1003
        n, "G0", *xh, *yh
        n, "M30"
        4
# _____
# Postblocks para movimientos de ejes
# _____
prapidm # Movimiento lineal rápido                    0

#       if mi2 = 0, n, sccomp, pccdia, sgcode, x, y, z
#       if mi2 > 0, sn, sccomp, pccdia, sgcode, x, y, z

prapid  # Movimiento lineal con avance rapido        0
#       if rotaxis <> 0, protaxis
#       if rotaxis = 0, prapidm

pzrapid # Movimiento lineal con avance rápido en Z    0

#       if mi2 = 0, n, sccomp, pccdia, sgcode, pccdia, z
#       if mi2 > 0, sn, sccomp, pccdia, sgcode, pccdia, z

pedm    # Ejemplo 5 ejes                              11
        "(5 AXIS EXAMPLE)", *xnci, *ynci, *znci, *u, *v, *w

plinm   # Movimiento lineal con avance                1
        n, sgcode, x, y, z, pfr

plin    # Movimiento lineal con avance                1
#       if rotaxis <> 0, protaxis
#       if rotaxis = 0, plinm

pz      # Movimiento lineal con avance en Z          1
#       psubseqn
#       if mi2 = 0, n, ptllncomp, sgcode, z, pfr
#       if mi2 > 0, sn, ptllncomp, sgcode, z, pfr
```


CAPÍTULO V

```
pcirctr # Coordenadas para arcos según el plano de trabajo
        if plane = 0, x, y, z, *i, *j
        if plane = 1, x, y, z, *j, *k
        if plane = 2, x, y, z, *i, *k
pcirm   # Interpolación circular      (*i, *j, k)          2
        n, sgplane, e
        n, sgcode, pcirctr, pfr
pcir    # Interpolación circular          2
#       if rotaxis <> 0, protaxis
        if rotaxis = 0, pcirm
# _____
# Postblocks para barrenado
# _____
pdrill  # Ciclo de barrenado
        n, *sgdrill, pdwell, *initht, *depth, *refht, *frplunge, e
        n, "G79", *x, *y, *initht
ppeck   # Ciclo de barrenado profundo
        n, *sgdrill, pdwell, *initht, *depth, *peck2, *peck1, *frplunge, e
        n, "G79", *x, *y, *initht
pchpbrk # Ciclo de barrenado profundo con rompe virutas
        n, *sgdrill, pdwell, *initht, *depth, *peck2, *retr, *peck1, *frplunge, e
        n, "G79", *x, *y, *initht
ptap    # Ciclo de roscado
        n, *sgdrill, pdwell, *initht, *depth, *refht, *mr1, e
        n, "G79", *x, *y, *initht
pbore1  # Ciclo de mandrinado #1
        n, *sgdrill, pdwell, *initht, *depth, *refht, *frplunge, e
        n, "G79", *x, *y
pbore2  # Ciclo de mandrinado #2
        n, *sgdrill, pdwell, initht, refht,
        *frplunge, *ss, pcoolon
        n, "G79", *x, *y
```

CAPÍTULO V

```
pmisc1 # Opcion barrenado #1
      pdrill
pmisc2 # Opción barrenado #2
      pdrill
pdrill_2 # Ciclo de barrenado
        n, "G79", *x, *y
ppeck_2 #
        pdrill_2
pchpbrk_2 #
        pdrill_2
ptap_2 # Ciclo de roscado
        pdrill_2
pbore1_2 #
        pdrill_2
pbore2_2 #
        pdrill_2
pmisc1_2 # Opción barrenado #1
        pdrill_2
pmisc2_2 # Opción barrenado #2
        pdrill_2
```

En el presente capítulo se detallan las variables que intervienen en el desarrollo del postprocesador asociadas a la cinemática de la máquina de control numérico, además se analizan las secciones del formato de un postprocesador, para finalmente elaborar un postprocesador que será ejecutado en el proceso de manufactura de un molde de soplado dentro de una máquina Maho 700 S con control Philips 432.

CAPÍTULO VI

CAPÍTULO VI MAQUINADO CNC

El presente capítulo establece el proceso de maquinado en el equipo de control numérico, se seleccionan las herramientas que se consideraron en la etapa (CAM) y se colocan en la posición correspondiente del almacén de la máquina de control numérico según el proceso de maquinado, todas las herramientas deben ser previamente calibradas para conocer su diámetro y longitud, como se muestra en la Tabla 6.1

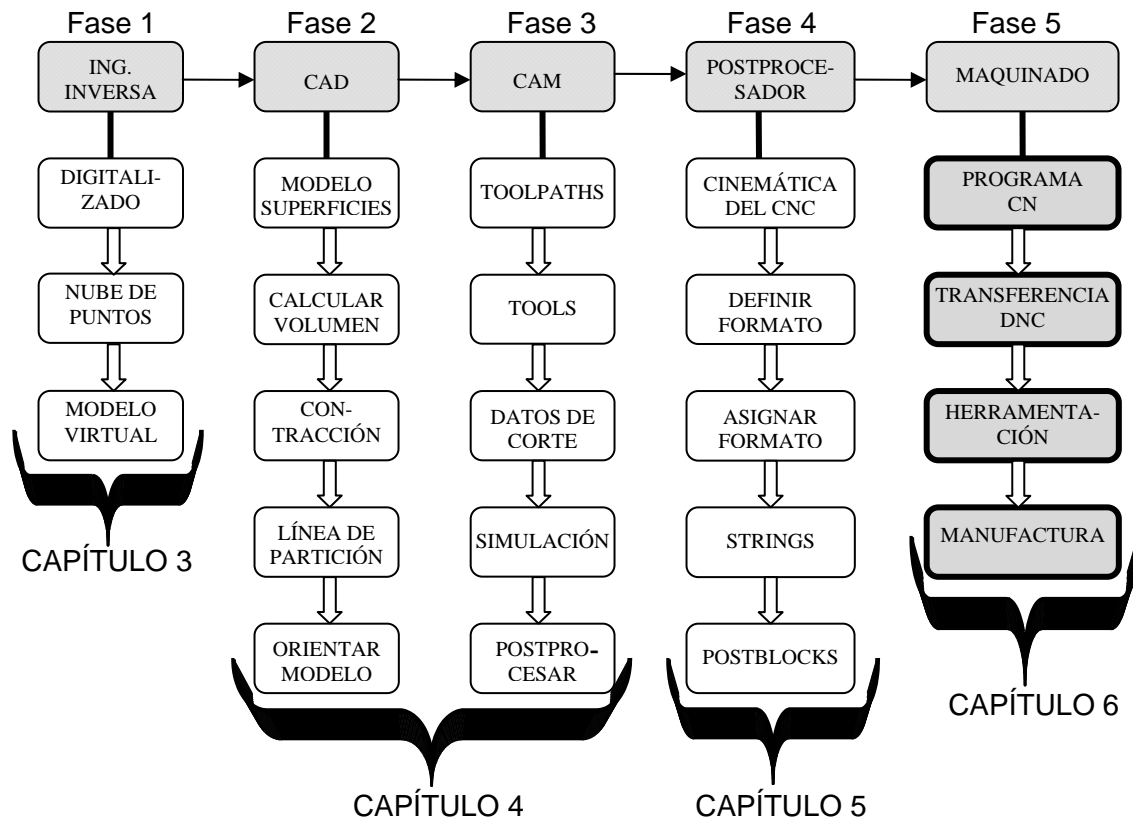


Tabla 6.1 Fase 5, maquinado

6.1 INTRODUCCIÓN

Uno de los procesos de manufactura más importantes es el realizado por medio de las máquinas herramienta, el cual consiste en cortar material utilizando herramientas de una dureza muy superior al material cortado, es decir, se aprovecha la energía cinética de rotación de la herramienta en el caso del fresado o de la pieza en el caso del torneado. Por lo tanto para procesar los componentes es necesario contar con herramientas adecuadas según la geometría requerida, además de contar con el programa de control numérico para maquinado y el material previamente montado. (Chang, W. 2006)

6.2 PROGRAMA DE CONTROL NUMÉRICO

Nuestro estudio se enfoca a la fabricación de cavidades para un molde de soplado que producirá una botella de plástico para detergente líquido con capacidad de 4 litros, como la que se muestra en la figura 6.1



Fig. 6.1 Modelo físico

Utilizando las etapas propuestas en el presente trabajo se obtiene un modelo virtual siguiendo el principio de ingeniería inversa analizado en el capítulo 3, posteriormente el modelo es enviado a los sistemas de manufactura asistida con la finalidad de obtener el código de control numérico para la máquina donde se realizará el trabajo, la simulación de trayectorias para obtener el archivo de ubicación de herramienta se ilustra en la figura 6.2

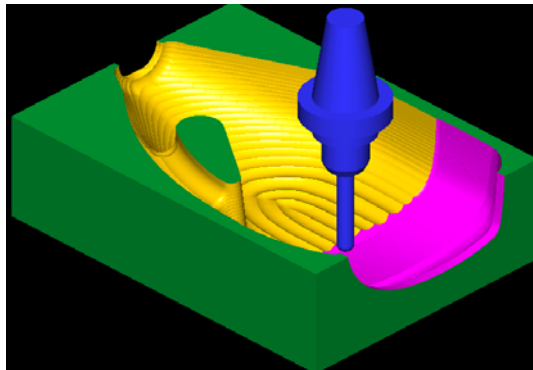


Fig. 6.2 Simulación de maquinado de cavidades

Con el archivo de ubicación de herramienta que se obtiene de las trayectorias previamente calculadas y utilizando el postprocesador desarrollado en el capítulo 5 se obtiene el código para fabricar las cavidades, por lo general estos programas son muy extensos, motivo por el cual no es posible incluirlo en el documento por lo que se anexan las primeras líneas de la sección de acabado comparando un archivo sin filtrar con otro

CAPÍTULO VI

filtrado, el concepto de filtrado consiste en reunir trayectorias de movimiento definidas por líneas, las cuales son agrupadas y convertidas en movimientos circulares con funciones G2 (*interpolación circular en sentido horario*) y G3 (*interpolación circular en sentido antihorario*), como se muestra en los programas mostrados en la tabla 6.2 de códigos de maquinado donde la cantidad de líneas agrupadas a la izquierda corresponden a una sola línea con movimiento circular de la derecha. (*Matercam, 2003*)

SIN FILTRAR

FILTRADO

<p>N7977 S2500 T29 M6 N7979 M3 N7981X-145.803Z-67.239Y-5.918 F500.0 N7983 G1 Z-67.179 Y-7.07 F1000.0 N7985 Z-67.031 Y-8.273</p> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"> <p>N7987 Z-66.801 Y-9.515 N7989 Z-66.494 Y-10.785 N7991 Z-65.971 Y-12.578 N7993 Z-65.36 Y-14.388 N7995 Z-64.672 Y-16.214</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px; margin-bottom: 5px;"> <p>N7997 Z-63.531 Y-18.956 N7999 Z-62.295 Y-21.586 N8001 Z-60.912 Y-24.209 N8003 Z-59.441 Y-26.722 N8005 Z-57.838 Y-29.178 N8007 Z-56.135 Y-31.532 N8009 Z-54.298 Y-33.838</p> </div> <div style="border: 1px solid black; padding: 2px;"> <p>N8011 Z-52.394 Y-36.002 N8013 Z-50.342 Y-38.114 N8015 Z-48.238 Y-40.077 N8017 Z-46.758 Y-41.339 N8019 Z-45.258 Y-42.531 N8021 Z-43.737 Y-43.644</p> </div>	<p>N8545 S2500 T29 M6 N8547 M3 N8549 X-145.803 Z-67.239 Y-5.918F500.0 N8551 Z-67.179 Y-7.07 F1000.0 N8553 Z-67.031 Y-8.273 N8555 G19 N8557G3Z-64.672 Y-16.214 K-26.947 J-.686 N8559 Z-54.298 Y-33.838 K-5.657 J6.659 N8561 Z-43.737 Y-43.644 K-10.683 J2.545 N8563 Z-25.253 Y-52.575 K-5.826 J11.225 N8565 Z-7.422 Y-56.608 K11.521 J68.578 N8567 Z14.156 Y-57.974 K14.283 J115.143 N8569 Z29.709 Y-57.508 K15.692 J150.544 N8571 Z56.701 Y-52.542 K20.431 J6</p>
--	---

Tabla 6.2 Filtrado de programa

CAPÍTULO VI

6.3 TRANSFERENCIA DNC (CONTROL NUMÉRICO DIRECTO)

El programa de control numérico debe ser almacenado temporalmente en la memoria del control, para lo cual se debe utilizar algún medio de comunicación como el cable serial descrito en la figura 2.23 del capítulo 2, el cual va de 9 pins en el dispositivo periférico a 25 pins en la máquina CNC. Para la comunicación se utiliza el software disponible en mastercam llamado “CIMCO EDIT”, se debe configurar la comunicación tanto en el equipo transmisor como en el equipo receptor, los parámetros a configurar son:

- Puerto serial de comunicación. COM1, COM2
- Bit de paro. 1 o 2
- Paridad. Par, Impar, Ninguna
- Velocidad de transmisión. 9600 bits por segundo
- Bits de datos. 5, 6, 7, 8
- Control de flujo. Software, Hardware

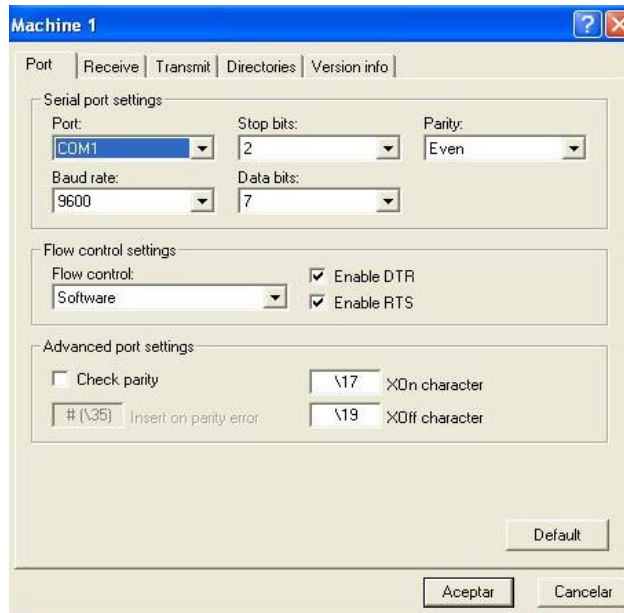


Fig. 6.3 Protocolo de comunicación CNC - CAD/CAM

Una vez que ambas terminales tienen los mismos parámetros de comunicación, se prepara el armario de control de la máquina CNC para que ejecute cierta cantidad de información y suprima los bloques ejecutados, esto se logra configurando la opción “BTR” (*Behaind Tape Reader*) la cual permite disponer del programa listo para el maquinado. (Erwin Zettl, 1988)

6.4 HERRAMENTACIÓN DE LA MÁQUINA CNC

La base para herramienta de una fresadora de control numérico depende del tipo de sujeción de la máquina, existen tres tipos de sistemas de sujeción, sistemas CAPTO, sistemas HSK y sistemas ISO con cono 30, 40 y 50, la máquina mahe utilizada en el desarrollo de la presente tesis utiliza cono ISO 40 como el mostrado en la figura 6.4



Fig. 6.4 Porta herramientas ISO 40

La preparación y montaje de la herramienta en el cono ISO 40 consiste primeramente en seleccionar la boquilla que se ajuste al diámetro de la herramienta posteriormente todo el conjunto debe ser montado para su ajuste sobre el dispositivo porta conos, como se muestra en la figura 6.5



Fig. 6.5 Montaje cono porta herramienta

CAPÍTULO VI

Con la herramienta debidamente ajustada y calibrada en longitud se coloca en el almacén de herramientas en la posición que le fue asignada durante el proceso de manufactura asistida, en este caso para el desbaste es la posición número 2, como se muestra en la figura 6.6



Fig. 6.6 Almacén de herramientas

En cada cono porta herramienta se monta sólo un tipo de cortador, dependiendo del adaptador, la figura 6.4 muestra una sujeción por medio de boquilla la cual trabaja en rangos de 3 a 25 mm en promedio. Para el maquinado de esta cavidad se utiliza una herramienta esférica de 20 mm de diámetro en la sección de corte y el mismo diámetro en el zanco de sujeción, como la mostrada en la figura 6.7



Fig. 6.7 Herramienta para desbaste

CAPÍTULO VI

La herramienta de la figura 6.7 se utiliza para el proceso de desbaste garantizando una alta remoción de material debido a la elevada velocidad de corte para la que están diseñadas y en la etapa de acabado se utiliza un cortador de punta redonda de 12 mm de diámetro fabricado de carburo sólido, el cual se monta en un porta boquillas similar al que se muestra en la figura 6.4, la herramienta utilizada en el acabado se muestra en la figura 6.8



Fig. 6.8 Herramienta para acabado

Se designa una herramienta disponible en almacén y se ubica en el husillo de trabajo con la instrucción T2 M6 donde la dirección T indica la posición en almacén y la instrucción M6 le indica al control que realice el cambio de forma automática y de esta forma realizar el maquinado sin intervención del operador, la herramienta se ubica como se muestra en la figura 6.9



Fig. 6.9 Husillo porta herramienta

CAPÍTULO VI

Cada una de las herramientas que se requieren en el proceso de maquinado debe ser calibrada en longitud ya que su diámetro y tolerancia es asignado por el fabricante de herramientas, para conocer su longitud se mide con algún instrumento de medición regularmente un calibrador de alturas, como el que se muestra en la figura 6.10.



Fig. 6.10 Calibrador de alturas

El proceso de medición consiste en montar el cono y herramienta debidamente ensamblados sobre el dispositivo porta conos y tocar la parte inferior del cono para establecer el cero de referencia, como se muestra en la figura 6.11



Fig. 6.11 Cero de referencia

CAPÍTULO VI

Una vez establecido el cero absoluto se desplaza el calibrador hasta tocar la parte superior de la herramienta registrando en el display la coordenada de referencia que es almacenada en la memoria de herramienta del armario de control, como se muestra en la figura 6.12



Fig. 6.12 Longitud de herramienta

La coordenada de 178.80 milímetros debe ser almacenada en su posición correspondiente del armario de control, en este caso se reserva la posición número 2, como se muestra en la figura 6.13 (*Sandvick coromant, 2002*)

```
MANUAL MAN OPER
PM 9524 N 9524
NEG
TOOL OFFSETS

ALL MEMORY 106624 BYTES FREE
T0 L0 R0 R1=0 G0 P0
T1 L0 R0 R1=0 G1 P1
T2 L188.8 R0 R1=0 G0 P2
T3 L0 R0 R1=0 G0 P3
T4 L55.248 R0 R1=0 G0 P4
T5 L0 R0 R1=0 G0 P5
T6 L15.79 R0 R1=0 G0 P6
T7 L49.47 R0 R1=1 G0 P7
T8 L-14.951 R0 R1=0 G0 P8
T9 L-46.451 R0 R1=0 G0 P9

TOOL LENGTH
T1 R1 GP
L 188.80
T2 L188.8 R0 R1=0 G0 P2
```

Fig. 6.13 Coordenada en memoria

CAPÍTULO VI

6.5 MAQUINADO CNC

Una vez que se tiene el programa en condiciones de ejecución y las herramientas debidamente calibradas y colocadas en su posición, el siguiente paso es ubicar el cero pieza en el material, para esto se sujeta el material a la mesa de trabajo y se monta en el husillo un dispositivo sujetando un indicador de centrado, como el que se muestra en la figura 6.14



Fig. 6.14 Reloj indicador para centrado

El proceso de centrado consiste en ubicar el cero pieza en el mismo punto que se estableció en el software de manufactura asistida, este origen se encuentra en el centro de la geometría en el software y se debe ubicar al centro del material, para encontrarlo se monta en el husillo un dispositivo con un indicador de carátula, como se muestra en la figura 6.15



Fig. 6.15 Dispositivo de centrado

CAPÍTULO VI

Con el reloj indicador en el husillo se procede a utilizar la máquina de control numérico como una máquina de medición, obteniendo las dimensiones del material a maquinar en cada uno de los ejes del plano de trabajo y ubicando el origen del sistema coordinado, las figuras 6.16(a) y 6.16(b) muestran el centrado en el eje X y se repite el procedimiento para el eje Y.

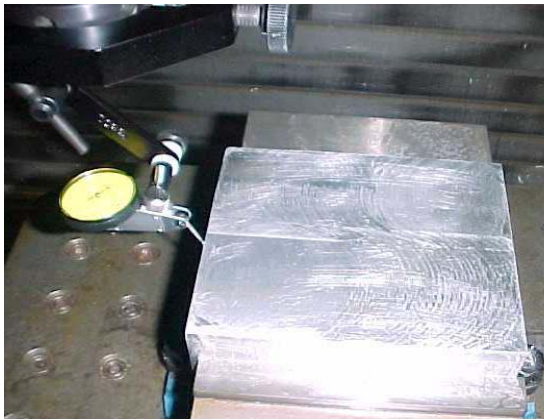


Fig. 6.16 (a) Bloque para maquinado



Fig. 6.16 (b) Dimensión del bloque

Una vez que el cero pieza corresponde al cero de coordenadas de trabajo en el software y con las herramientas debidamente calibradas tanto en diámetro como en longitud es posible iniciar la operación de desbaste con herramienta esférica de 20 milímetros de diámetro como se muestra en la figura 6.17 con 5 por ciento de avance y la figura 6.18 con la operación de desbaste terminada.

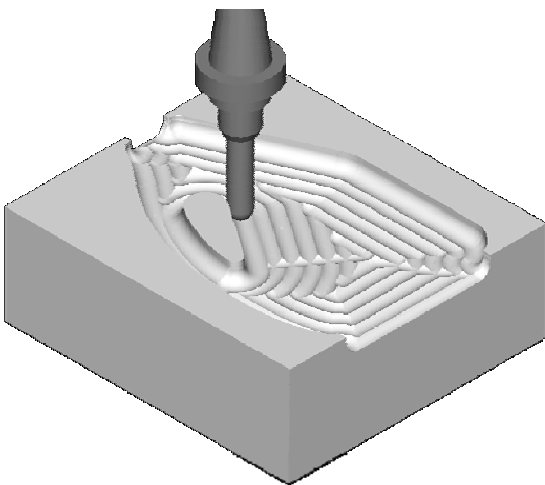


Fig. 6.17 Desbaste al 5 por ciento

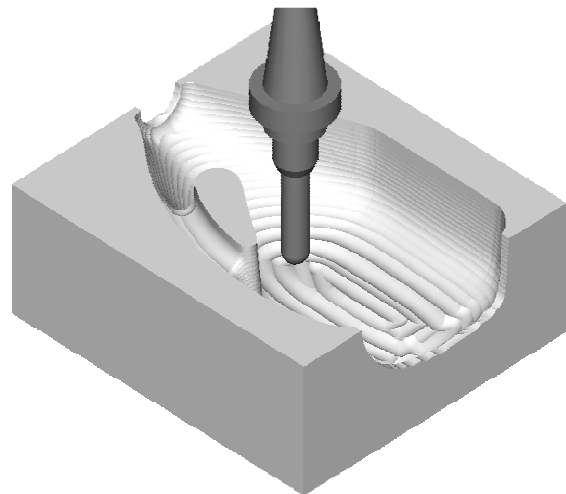


Fig. 6.18 Cavidad desbastada

CAPÍTULO VI

La operación de desbaste es un proceso rápido de remoción de material y en esta operación ocupa solo el 15 por ciento del proceso de maquinado dejando el restante 85 por ciento a la operación de acabado ya que para obtener un buen acabado superficial es requisito disminuir la distancia entre pasadas como se muestra en la figura 6.19 con un avance de 30 por ciento del proceso y la figura 6.20 muestra la cavidad terminada.

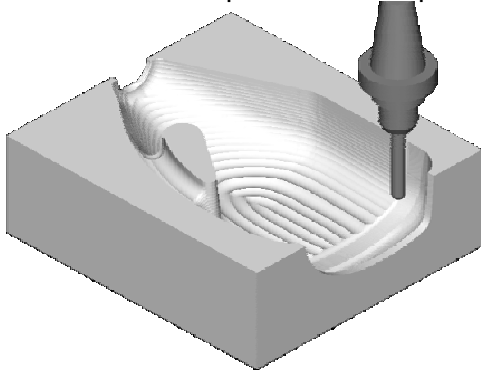


Fig. 6.19 Acabado al 10 por ciento

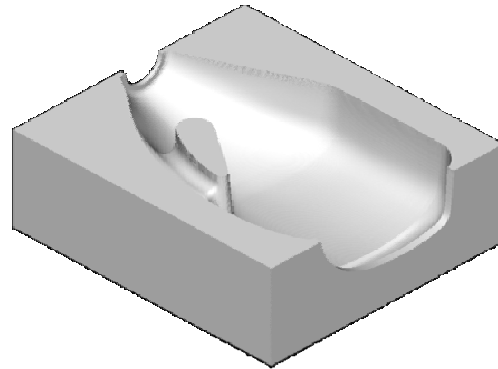


Fig. 6.20 Cavidad terminada

El tiempo de proceso es calculado durante la simulación una vez que se tienen los parámetros de corte debidamente definidos según la velocidad de corte recomendada por el fabricante de herramienta, en este caso el tiempo por cavidad es de 3 horas con 20 minutos. La cavidad maquinada se muestra en la figura 6. 21

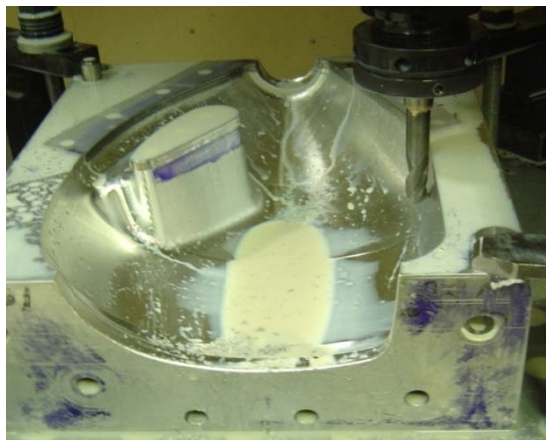


Fig. 6.21 Cavidad terminada en CNC

En el presente capítulo se analiza el proceso de maquinado por control numérico comparando la programación entre movimientos lineales y movimientos circulares, así como la transferencia de información vía puerto serial por control numérico directo y se analizan las diferentes herramientas y accesorios utilizados en el desarrollo del proyecto.

CAPÍTULO VII

CAPÍTULO VII VALIDACIÓN DEL MÉTODO

7.1 INTRODUCCIÓN

La secuencia de operaciones mostrada es un método eficiente para reproducir componentes independientemente de su complejidad, así lo demuestran las fases de manufactura mostradas en el presente trabajo, resaltando la importancia del postprocesador como una herramienta clave para obtener mejoras económicas.

Así mismo la economía en el maquinado con máquinas herramienta juega un papel muy importante en las actividades de manufactura, una pieza puede ser fabricada en diferentes máquinas herramienta pero ciertas operaciones pueden no ser posibles en ciertos equipos, es por esto que se requiere una adecuada selección de la máquina para cierto trabajo en particular con la finalidad de reducir costos.

En muchos casos una pieza simple puede ser maquinada por un operador experimentado en menos tiempo y a menor costo sobre una máquina convencional que sobre una máquina de control numérico ya que esta última requiere programación y una serie de rutinas de puesta a punto, sin embargo, las piezas complejas pueden ser fabricadas de forma económica en una máquina de control numérico ya que una vez que el programa es elaborado, varias piezas pueden ser maquinadas a muy bajo costo por unidad y en un tiempo reducido.

El maquinado de cada cavidad en nuestro caso de estudio lleva un tiempo de 3 horas con 20 minutos, por lo tanto en menos de un turno de 8 horas se tiene el molde completo con un buen acabado superficial y una tolerancia de maquinado de 0.05 milímetros.

Mientras que con maquinado convencional la fabricación de cavidades llevaría varios días con una elevada posibilidad de error y enormes variaciones en acabado superficial y dimensional, además de que se requiere un proceso de igualado para hacer coincidir la línea de partición. (James, G 1999)

CAPÍTULO VII

7.2 DESARROLLO E IMPLEMENTACIÓN DEL POSTPROCESADOR

Una vez que se cuenta con la máquina de control numérico y algún software para manufactura el siguiente paso es desarrollar el postprocesador que aplique para el armario de control de la máquina CNC. El postprocesador es un programa en ASCII que consta de una serie de secciones donde se establece el formato del programa de control numérico como son la cantidad de dígitos antes y después del punto decimal, formato del encabezado así como del cambio de herramienta, en el capítulo 5 del presente trabajo se desarrolla un postprocesador para un centro de maquinado de uso industrial.

Ya con el postprocesador desarrollado se debe iniciar la implementación dentro del software CAD CAM esto consiste en guardar el archivo en la carpeta correspondiente a postprocesadores donde ya existen algunos predefinidos, todos los postprocesadores dentro de mastercam tienen la extensión .PST

Cuando se selecciona cualquier tipo de trayectoria dentro de mastercam se genera un archivo con todos los movimientos de maquinado, de estas trayectorias se obtiene un programa que no entiende la máquina de control numérico pero que es fundamental para obtener el código de control numérico, se llama "CL Data" (Datos de posición del cortador.)

El archivo "CL Data" es un archivo intermedio y dentro de mastercam se maneja con la extensión .NCI (Numerical Control Intermediate) el cual al ser obtenido queda en espera de la ejecución del correspondiente postprocesador de acuerdo al tipo y marca de la máquina de control numérico, el postprocesador implementado en el presente trabajo aplica para un armario de control Philips 432 el cual controla un centro de maquinado Maho, Modelo 700 S.

CAPÍTULO VII

7.3 FACTORES EN LA SELECCIÓN DE MÁQUINAS DE CONTROL NUMÉRICO

- El costo de una máquina CNC es 1.5 a 5 veces el de una convencional del mismo tamaño.
- Requieren personal capacitado en mantenimiento y programación
- Tiempo muerto mínimo, fatiga inexistente, hay poco rechazo, evita errores humanos, la planeación se realiza antes de iniciar el trabajo, el tiempo de corte de una máquina CNC es de 80% comparado con menos del 25% en una máquina convencional.
- Mejora la vida de herramienta ya que la velocidad de corte y la profundidad de pasada se mantienen constante.
- 25% menos rechazo y retrabajos
- Reducción de 20 a 25% en manejo de material
- Reducción de 30 a 40% en tiempos de inspección y control de calidad.
- Dispone de menos área ya que una CNC puede reemplazar varias convencionales por las múltiples operaciones que puede realizar.
- Los costos de herramientas, almacenamiento y puesta a punto en piezas complejas son bajos.

En conclusión si una máquina de control numérico es utilizada eficientemente en muy poco tiempo se recupera la inversión además se obtienen grandes beneficios con una planeación eficiente en la manufactura.

7.4 COMPARACIÓN ENTRE UNA FRESADORA CONVENCIONAL Y UNA CNC

Una máquina fresadora convencional tiene un costo aproximado de \$ 45.000.00 la máquina produce 20 piezas por hora, el costo por mantenimiento anual de esta máquina es \$2.600.00 el costo por mano de obra es de \$12.5/hora y otras actividades relacionadas con la preparación le suman un 25%.

El costo de una máquina CNC es de \$115.000.00 y es capaz de producir 55 piezas por hora, el costo de mantenimiento anual es \$5.400.00, el costo por mano de obra es 1/3 del costo por hora de la máquina convencional.

CAPÍTULO VII

El costo total para una máquina fresadora convencional (T_C) es:

$$T_C = \$45.000.00 + \$2.600.00 + \frac{\$12.5 / h * (1 + 25\%)}{20 \text{ Piezas / hora}} * Q$$

Donde Q es el número de piezas producidas.

$$T_C = \$47.600.00 + 0.781Q \quad (1)$$

El costo total para una máquina de control numérico (T_{NC}) es:

$$T_{NC} = \$115.000.00 + \$5.400.00 + \frac{\$12.5 / h * (1 + 25\%) * \frac{1}{3}}{55 \text{ Piezas / hora}} * Q$$

$$T_{NC} = \$120.400.00 + 0.09Q \quad (2)$$

Resolviendo ecuaciones (1) y (2) resulta la cantidad de piezas que tiene que producir el CNC para ser rentable.

$$\begin{aligned} -1 * T_C &= -\$47,600 - 0.78Q \\ \frac{T_{NC} &= \$120.400 + 0.09Q}{0 = \$72.800 / \text{año} - 0.69Q} \end{aligned}$$

$$Q = 105,507 \text{ Piezas / año}$$

En conclusión si la CNC produce 55 piezas por hora, en un turno de 8 horas se producen 440 piezas y durante 5 días por semana se tendrían 2200 piezas, en un mes tenemos 8800 piezas si multiplicamos por los 12 meses tenemos 105.600 piezas en el año, solo considerando un turno, si tomamos los 2 turnos adicionales se obtiene que en el 33% del tiempo se recupera la inversión. (James, G 1999)

CAPÍTULO VII

7.5 MAQUINADO DE CAVIDADES CON CAD/CAM/CNC

La utilización de los sistemas informáticos en la manufactura de todo tipo de herramientas es indispensable para competir en un mercado cada vez más globalizado, aplicando el diseño asistido por computadora se obtiene un modelo exacto del componente a reproducir, este modelo puede utilizarse para el proceso de manufactura como el presentado en el presente trabajo. La etapa de manufactura asistida es un concepto completamente diferente al diseño asistido ya que permite el análisis del proceso de maquinado tal como se realiza en el equipo de control numérico, el software de manufactura cuenta con una enorme variedad de opciones para maquinado así como una gran cantidad de librerías de herramientas, es sumamente importante dominar el principio de maquinado para acelerar la manufactura de las piezas.

Agrupando las etapas CAD/CAM se reduce el tiempo para sacar un producto al mercado, es decir se puede iniciar con el prototipo la parte de mercadotecnia y posteriormente pasar a la etapa de manufactura donde se deberá contar con equipo de control numérico y postprocesadores adaptados al proceso.

El postprocesador es una herramienta que se debe configurar por separado de acuerdo a las características del equipo de control numérico, esto es debido a la enorme variedad de armarios de control y funciones de movimiento, regularmente los proveedores de software para manufactura ofrecen el servicio de desarrollo e implementación de postprocesadores lo cual les representa importantes ingresos después de la venta del software para manufactura, el desarrollo e implementación de un postprocesador para 3 ejes de una máquina como la utilizada en el presente trabajo tiene un costo aproximado entre \$ 10.000.00 y \$ 15.000.00. el cual se justifica considerando que genera todos los programas para maquinado.

En conclusión el tiempo total de proceso para obtener un molde de una cavidad de la botella mostrada sería de 3 horas para el digitalizado, 5 horas para reconstruir el modelo en superficies, 2 horas para el proceso de manufactura asistida y finalmente el maquinado 3 horas 20 minutos por cavidad, en total 10 horas para el proceso en la computadora y 6 horas con 40 minutos para el maquinado, se puede decir que en 2 días se obtiene un molde de soplado garantizando la calidad y la repetibilidad.

CAPÍTULO VIII

CAPÍTULO VIII ANÁLISIS DE RESULTADOS Y CONCLUSIONES

8.1 ANÁLISIS DE RESULTADOS

El trabajo consiste de cinco fases donde se detalla el desarrollo de un postprocesador para la realización de un producto manufacturado con equipo computacional, la fase 1 consiste en la obtención de una nube de puntos para una botella de 4 litros por medio del digitalizado 3D la cual se obtiene en unas cuantas horas y utilizando herramientas de construcción rápida de superficies se puede obtener el modelo virtual en poco tiempo, el costo por el proceso de ingeniería inversa para la botella que se analiza en el trabajo es de aproximadamente diez mil pesos sin considerar la fase de diseño asistido por computadora que se analiza de forma independiente.

En las fases 2 y 3 se trabaja con el modelo virtual adaptándolo para el proceso de manufactura, se determina la línea de partición y factores de contracción además de la cantidad y tipo de herramientas a utilizar en el proceso, una vez que se definen se selecciona una estrategia de maquinado y se llama el postprocesador correspondiente al equipo de control numérico con que se cuenta, el tiempo invertido en las fases 2 y 3 no lleva más de 8 horas de trabajo considerando que se cuenta con el postprocesador debidamente adaptado al sistema.

Finalmente se ejecuta el maquinado en el equipo de control numérico, dicho proceso se analiza en la fase 5, donde la máquina interpreta y ejecuta la información generada por el postprocesador utilizando las herramientas definidas en la etapa de manufactura asistida. El proceso de maquinado es la etapa que mayor tiempo demanda, en este caso 3 horas con 40 minutos por cavidad, es decir, en un turno de 8 horas se tienen las dos cavidades. En resumen un molde de soplado con las características mostradas en el presente trabajo se obtiene en menos de una semana reduciendo el tiempo en más de la mitad elevando considerablemente la productividad.

CAPÍTULO VIII

El resultado obtenido en cada una de las fases mostradas en el presente trabajo es altamente satisfactorio ya que sigue una secuencia computarizada en su totalidad, esto permite garantizar la calidad del proceso de manufactura además de permitir la repetibilidad con mínima variación, se mantiene la información de maquinado obtenida del postprocesador almacenada para trabajos futuros y así reproducir el mismo componente en el menor tiempo posible.

Aun cuando los resultados son altamente satisfactorios el trabajar con postprocesadores es sumamente complicado ya que toda la información disponible es controlada por las empresas distribuidoras de software para manufactura y si no se cuenta con bibliografía se requiere de un conocimiento profundo de programación y operación de equipos de control numérico.

Los sistemas CAD/CAM/CNC son aplicables con máquinas de hasta 5 ejes directamente programables, lo cual requiere la elaboración de postprocesadores adaptados a cualquier tipo de máquina con 5 ejes de trabajo, garantizando un mejor rendimiento y acabado superficial de las piezas.

8.2 CONCLUSIONES

Uno de los elementos claves para reinsertarnos favorablemente en una economía mundial abierta radica en el mejoramiento substancial de nuestra competitividad. Por consiguiente, las empresas que aspiren a competir en los nuevos espacios económicos tienen que dar atención preferente al progreso tecnológico, lo cual significa priorizar la inversión en esta área. Actualmente a nivel mundial se está dando un intercambio comercial de bienes y servicios a gran escala, esto se lleva a cabo formando alianzas o tratados de libre comercio entre países con la finalidad de aumentar su mercado, por lo que se exige un alto nivel de competitividad para ser considerado, solo los países con mejores estrategias de inversión en la relación costo beneficio y que más rápido se adapten a esta globalización tienen oportunidad de competir. La forma adecuada para que una empresa sea considerada a nivel internacional es ser competitivo en calidad y precio, para lograr lo anterior es necesario contar con recursos humanos bien capacitados así como equipo tecnológico de vanguardia.

CAPÍTULO VIII

La industria metal mecánica en México presenta un crecimiento cada día mayor especialmente la industria automotriz y se espera que en los próximos años la industria aeroespacial tenga un crecimiento importante, es en estas dos grandes ramas industriales donde el campo de aplicación de equipo de control numérico y sistemas de diseño y manufactura asistida tienen su área de oportunidad y se tienen que desarrollar postprocesadores para software de alto nivel como lo es Catia y Unigraphics entre otros, ya que mediante estas plataformas se trabaja en la industria automotriz y aeroespacial, cabe señalar que independientemente del tipo de software para manufactura que se utilice es necesario el desarrollo e implementación del postprocesador.

Es bien sabido que estas tecnologías aceleran la producción y la calidad de los productos en una empresa manufacturera ya que en muchos casos se encuentran dentro de los llamados sistemas flexibles de manufactura, estos desempeñan un papel innovador en la industria ya que permiten reducir el tiempo de proceso y al mismo tiempo garantizan una buena repetibilidad y flexibilidad en la producción. Las aplicaciones CAD/CAM/CNC debidamente utilizadas permitirán a la industria manufacturera en México elevar considerablemente su competitividad. Esta tecnología está disponible con varios proveedores nacionales o extranjeros, o en el mejor de los casos, es una práctica común en México y el mundo encontrarse con exposiciones que se enfocan básicamente a la industria metalmecánica en la cual se ofrece tecnología para los diversos procesos de maquinado en metales, entre la maquinaria que se exhibe se encuentran: corte por láser, corte por chorro de agua, electroerosión de penetración y de hilo, prototipos rápidos, maquinado por CNC, Software CAD/CAM, Maquinas de coordenadas, etc.

El tiempo de respuesta y la calidad de los productos en los procesos de manufactura realizados con equipo computarizado marcan la diferencia para comprender que la fabricación de componentes mecánicos con los sistemas CAD/CAM/CNC es una excelente oportunidad de crecer en competitividad y por lo tanto elevar considerablemente la productividad.

8.3 RECOMENDACIONES PARA TRABAJOS FUTUROS

Las tecnologías CAD/CAM/CNC son actualmente elementos diferenciadores de las empresas de manufactura y un requisito indispensable es migrar a sistemas con 5 o más ejes de trabajo, esto con la finalidad de ampliar el campo de aplicación hacia la industria aeroespacial y automotriz además de mejorar el acabado superficial y precisión en geometrías complejas.

Debido a lo anterior se recomienda trabajar en el desarrollo de postprocesadores para 5 o más ejes ya que con estos grados de libertad se conseguiría que la trayectoria de herramienta trabaje tangente sobre los filos de corte a diferencia del trabajo con tres ejes en el cual la trayectoria corresponde al centro del cortador.

La aplicación se debe llevar a sistemas multiejes donde se trabaja hasta con 9 grados de libertad en tornos multihusillos, como los manejados por la marca mazak, donde necesariamente se deben trabajar con sistemas avanzados de CAD/CAM.

Para el desarrollo de postprocesadores en cinco ejes para centros de maquinado es necesario primeramente identificar la cinemática del equipo de control numérico ya que existen tres tipos de configuraciones de estas máquinas herramienta, con giro de mesa, con giro de cabezal, y con ambos y en las cuales es necesario aplicar matrices de transformación asociadas a los grados de libertad.

ANEXO A

TIPOS DE SUPERFICIES PARA MODELADO

Mastercam crea tres tipos de superficies: Paramétrica, NURBS (*Non Uniform Rational B-Spline*), y curva generada, cada una difiere básicamente en la forma que el sistema utiliza para calcularla, para crear una superficie se elige cualquiera de los tres tipos disponibles y se selecciona una estrategia de diseño que se adapte a los requerimientos de modelado.

Superficie paramétrica

Una superficie paramétrica expande cada segmento de curva para formar un parche a su vez la superficie está formada por varios parches, como se muestra en la superficie analizada en la figura 1 un parche es un área limitada por 4 segmentos de curvas que generan la superficie. Este tipo de superficie es compatible con los formatos IGES y VDA y son completamente independientes, es decir que no tienen asociatividad, su inconveniente es que requieren gran cantidad de información para el cálculo.

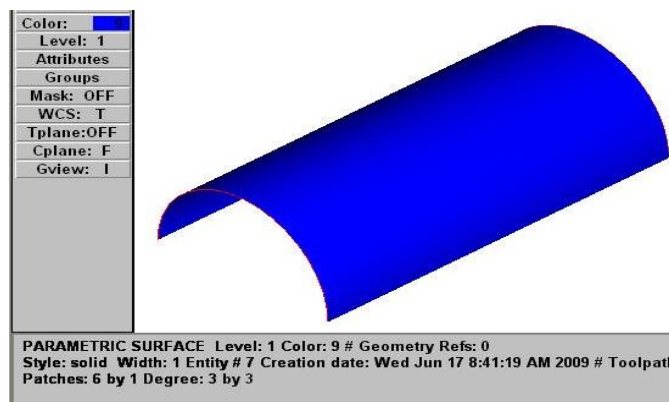


Fig. 1 Anexo A. Superficie paramétrica

Superficie nurbs

Una superficie NURBS expande una cadena de puntos de control hasta formar una malla, como se muestra en la figura 2, debido a esto requiere de menos datos y ocupa menos memoria que la superficie paramétrica, sin embargo requiere un poco más de tiempo para el cálculo, este tipo de superficie es compatible para exportación con el

ANEXO A

formato IGES. Además las superficies NURBS creadas en Mastercam pueden exportarse sin problemas en formato VDA

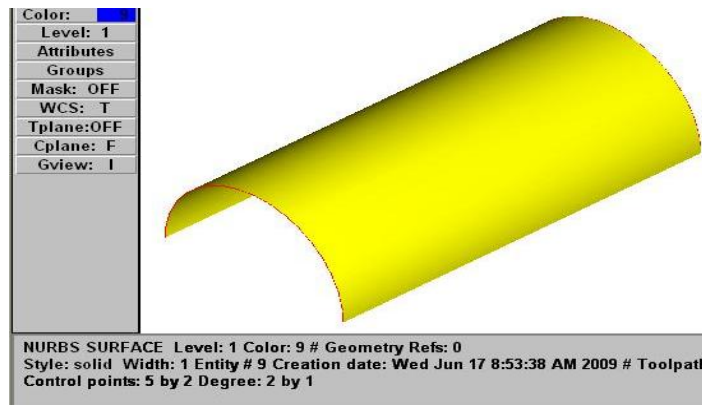


Fig. 2 Anexo A. Superficie nurbs

Superficie de curva generada

Cuando el sistema almacena una superficie como curva generada, se almacena como referencia directa de la original, este tipo de superficie requiere menos memoria que la paramétrica o la nurbs ya que estas últimas no son aproximadas con curvas previas, sin embargo la superficie con curva generada almacena datos exactos de las curvas originales, por esta razón se considera una superficie independiente, como se muestra en la figura 3 ([Mastercam, 1998](#))

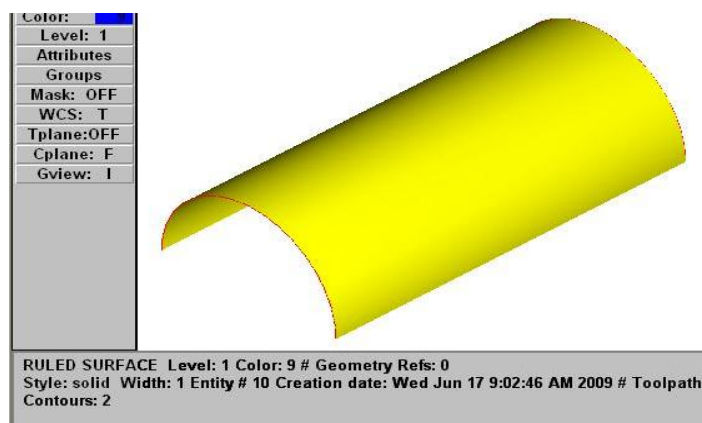


Fig. 3 Anexo A. Superficie curva generada

DISEÑO GEOMÉTRICO DE SUPERFICIES EN MASTERCAM

Superficie draft

Esta superficie se genera a partir de un perfil el cual es extruido en cualquier dirección con alguna conicidad asociada al perfil, como se muestra en la figura 4, es común su utilización para definir el ángulo de salida en moldes y troqueles.

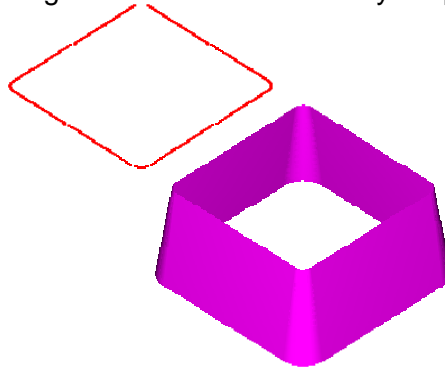


Fig. 4 Anexo A. Superficie draft

Superficie ruled

Esta función crea una superficie entre dos o más curvas debidamente encadenadas, se genera mezclando de forma lineal cada curva en el orden en que son seleccionadas, como se muestra en la figura 5, es importante seleccionar aproximadamente el mismo punto de encadenamiento en cada curva para obtener una superficie uniforme.

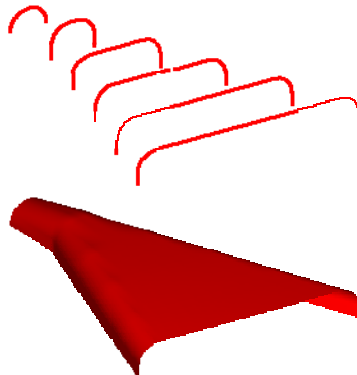


Fig. 5 Anexo A. Superficie ruled

Superficie loft

Esta superficie al igual que la *ruled* se genera a partir de un grupo de curvas las cuales deben ser encadenadas en orden, la diferencia con la superficie *ruled* consiste en que la superficie loft genera un mezclado suavizado entre curvas, como se muestra en la figura 6

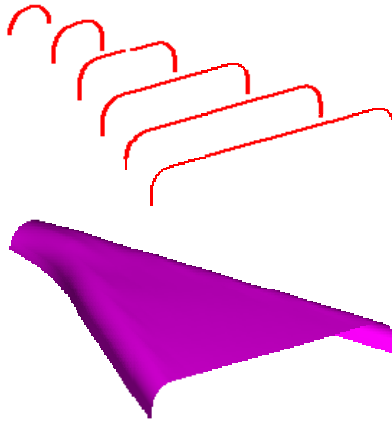


Fig. 6 Anexo A. Superficie loft

Superficie revolved

La superficie de revolución crea una forma circular direccionada por un conjunto de curvas debidamente encadenadas, las cuales giran con respecto a un eje, como se muestra en la figura 7, es posible definir ángulo de inicio y ángulo final según se requiera.

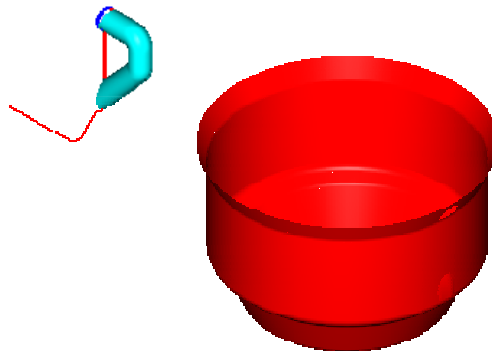


Fig. 7 Anexo A. Superficie revolved

Superficie swept

Con esta función es posible generar diferentes configuraciones de superficies dependiendo de las curvas seleccionadas, el sistema recorre una cadena de curvas llamada “across contours” sobre otra cadena de curvas llamada “along contours”, es posible seleccionar varias curvas “across contours” si se está usando una “along contours”, como se muestra en la figura 8.

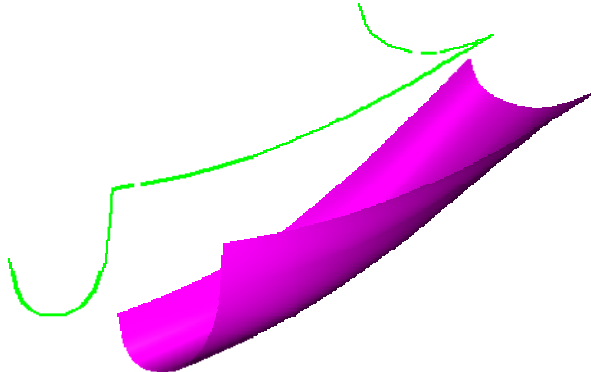


Fig. 8 Anexo A. Superficie swept

Superficie coons

Este tipo de superficie se crea a partir de una malla de curvas, las cuales deben ser seleccionadas de forma adecuada para que el sistema calcule la superficie, ya sea de un parche o varios parches, como se muestra en la figura 9.

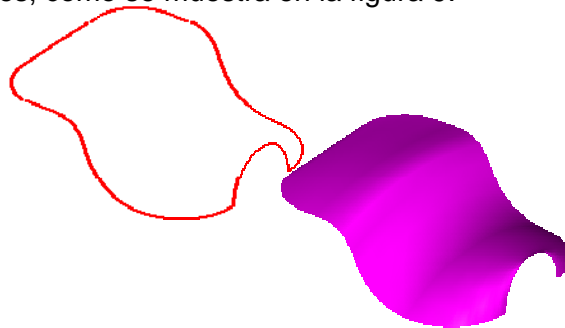


Fig. 9 Anexo A. Superficie coons

Además de estas superficies existe un grupo de operaciones complementarias las cuales nos permiten adaptar nuestros modelos a una mejor representación física, estas herramientas son:

Fillet

Crea un elemento que une dos entidades de forma tangente, el cual es matemáticamente equivalente a una serie de arcos, puede ser creado entre un plano y una superficie, entre una curva y una superficie o entre dos superficies, como se muestra en la figura 10.

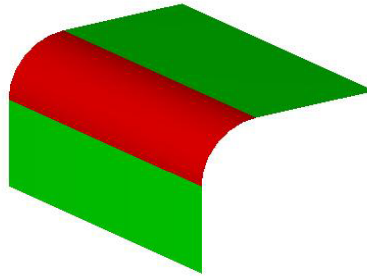


Fig. 10 Anexo A. Superficie fillet

Trim, to surfaces

Esta opción nos permite recortar superficies que se intersectan entre sí, como se muestra en la figura 11, es necesario que las superficies crucen completamente.

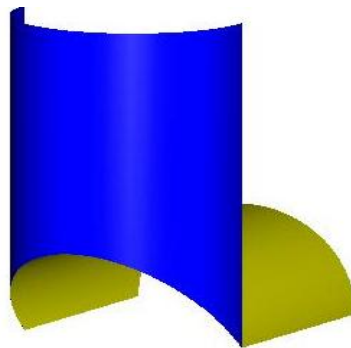


Fig. 11 Anexo A. Superficie trimmed

Trim, flat boundary

Aplicando esta instrucción podemos generar una superficie plana la cual puede tapar huecos innecesarios en nuestro modelo, es necesario que existan esquinas o límites que definen el wireframe de las superficies, como se muestra en la figura 12

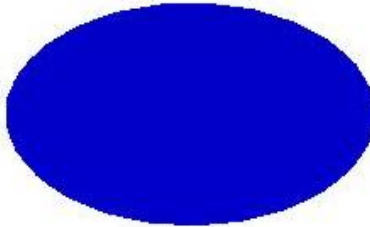


Fig. 12 Anexo A. Superficie flat boundary

Surface blend

Con esta instrucción podemos mezclar dos superficies de forma homogénea, como se muestra en la figura 13, se debe tener cuidado con la dirección y posición de las referencias ya que afecta el resultado, aplica de igual forma para tres superficies.

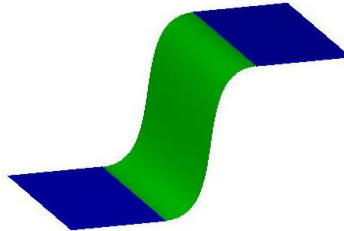


Fig. 13 Anexo A. Superficie blend

Fillet blend

Este comando se emplea mas apropiadamente para mezclar tres superficies, se utiliza comúnmente en las intersecciones de paredes, como se muestra en la figura 14. (Mastercam, 2003)

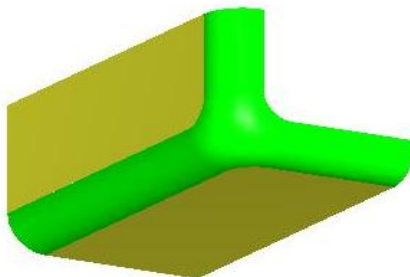


Fig. 14 Anexo A. Superficie fillet blend

ANEXO B

ANEXO B MATERIALES PARA FABRICAR MOLDES DE SOPLADO

Las exigencias básicas en los materiales para el diseño de moldes por soplado deben ser, buenas propiedades de transferencia de calor y resistencia al desgaste, los materiales más utilizados en la fabricación de moldes para soplado son: duraluminio, cobre berilio, zinc y hierro colado.

Material	Conductividad térmica <i>cal/cm²/seg/°C</i>	Resistencia al desgaste	Facilidad reparación	Densidad <i>g/cm³</i>	Maquinabilidad y pulido
Aluminio	0.53	Mala	Buena	2.7	Excelente
Cobre berilio	0.15 – 0.61	Excelente	Buena	3.6 – 8.8	Regular
Zinc	0.27	Regular	Buena	7.1	Excelente
Hierro colado	0.18	Buena	Buena	7.88	Buena

Tabla 1 Anexo B. Propiedades de los materiales para moldes de soplado

Aluminio

La alta conductividad térmica, poco peso, buena ductilidad y excelentes características de maquinado hacen del aluminio un material excelente para su aplicación en moldes para soplado, aunque su resistencia al desgaste es clasificada como mala, algunas aleaciones de aluminio de alta resistencia como la 2024 y 7075 se han utilizado con éxito en aquellas zonas del molde que se ponen en contacto con el plástico y están sujetas a desgaste.

Otra ventaja adicional es la posibilidad de reparación de abolladuras o muescas que aparecen en los bordes de las cavidades, pueden realizarse mediante operaciones de martillado o desplazamiento del material mecánicamente dentro de las depresiones. La posibilidad de movimiento del material está limitada por la ductilidad, que varía con las diferentes aleaciones de aluminio, en caso de reparaciones de mayor importancia es posible soldar con éxito.

ANEXO B

El material más adecuado para moldes que fabrican botellas por el proceso de soplado es el duraluminio el cual es una aleación de aluminio con una base de magnesio, que en un principio recibió el nombre de "endurecimiento del aluminio por envejecimiento". Es un metal liviano, pero muy duro; tiene la aleación en la proporción de 2,5 a 5% de cobre, 0,5 a 4% de magnesio, 4 a 6% de zinc, con silicio, hierro y el 0,1 % de titanio. La proporción conveniente del duraluminio es del 90% al 95% de aluminio, 4,5% de cobre, 0,25% de manganeso, 0,5% de magnesio, 0,5% de hierro y 0,5% de estaño.

Cobre berilio

El cobre berilio se elige como material cuando son de vital importancia la dureza, alta resistencia al desgaste y gran conductividad térmica, cuando el cobre se alea con un pequeño porcentaje de berilio se mejora considerablemente su dureza pero pierde maquinabilidad, como se observa en la tabla anterior su conductividad térmica puede variar entre 0.15 y 0.61 cal/cm²/s/°C. En términos generales el cobre berilio que contiene 2% de berilio, 0.5% de cobalto y el resto de cobre, presenta una conductividad de 0.15 y con un tratamiento térmico aumenta su dureza y mejora su conductividad hasta 0.31, si se reduce el contenido de berilio a 0.6% y se aumenta el de cobalto a 2.6%, la conductividad varía entre 0.25 y 0.61 y disminuye su dureza. El cobre berilio es el material más caro utilizado hasta la fecha en la fabricación de moldes de soplado, muchas veces con objeto de conservar el costo del molde al mínimo este material se utiliza sólo en aquellas zonas del molde donde se requieren sus excelentes propiedades. En general estas zonas son el cuello y el fondo en las que el material plástico es comprimido entre las dos mitades del molde.

Zinc

El zinc o las aleaciones comerciales existentes se han empleado en gran cantidad en la fabricación de moldes, esto es principalmente a la facilidad con que puede colarse, aunque su conductividad térmica es menor que la del aluminio o la del cobre berilio, la seguridad de obtener coladas sanas garantiza la obtención de material sin poros ya que para lograr una buena transferencia de calor, hay que evitar las coladas porosas. Por lo tanto, es posible utilizar zinc en la fabricación de moldes que posean secciones de pared variable y que no podrían lograrse con los otros materiales que desarrollan poros con

ANEXO B

facilidad, como la resistencia al desgaste del zinc es regular puede compararse con los mejores grados de aluminio tales como el 2024 y 7075.

El precio del zinc por kilogramo es el más bajo comparado con los otros materiales, y aunque su densidad es semejante a la del cobre berilio el costo neto de fabricación de un molde con este material es el más favorable pero tiene las limitantes del peso y su rápido desgaste.

Hierro colado.

En la fabricación de recipientes de vidrio se ha utilizado durante mucho tiempo diferentes grados de hierro colado, las fundiciones de hierro colado de alta calidad se desarrollan principalmente para la industria del vidrio, las cuales se maquinan con facilidad, se pulen bien y resisten mucho más a la abrasión. La sustitución directa y simple de hierro colado para moldes que fabrican recipientes de plástico presenta ciertos inconvenientes. Los moldes para vidrio funcionan en caliente, mientras que la mayor parte de los utilizados para plástico se usan tan fríos como sea posible.

El hierro colado se elige generalmente en aplicaciones en las que se desea un bajo costo además de una gran resistencia al desgaste, pero tiene el inconveniente de ser poco resistente a la corrosión, defecto que se suma a su poca conductividad térmica.

ANEXO C

ANEXO C CÓDIGO G Y M PARA MÁQUINA MAHO

Dirección	Clave	Significado y explicación
%PM	ISO	Inicio de programa y adjudicación de memoria
N	9001-9999999	Número de programa de pieza y de subprograma
N	1-8999	Número de bloque
/N	1-8999	Bloques opcionales o suprimibles
G	0	Alta velocidad
	1	Interpolación lineal
	2	Interpolación circular en sentido horario
	3	Interpolación circular en sentido antihorario
G	4	Tiempo de permanencia (0.1- 983 segundos) en X
G	11	Coordenadas polares, redondeado de esquinas
G	14	Orden de salto y función de repetición
G	17	Selección del plano XY, horizontal
	18	Selección del plano XZ, vertical
	19	Selección del plano ZY, Horizontal con giro de 90°
G	22	Llamada de subprograma
G	25	Cancela avances activados
	26	Avance 100%
G	27	Movimiento de avance con enlace
	28	Movimiento de avance con precisión

ANEXO C

G	40	Sin compensación de radio
	41	Compensación de radio a la izquierda
	42	Compensación del radio a la derecha
	43	Compensación de radio, antes de
	44	Compensación de radio, después de
G	51	Borrado de G52
	52	Valor de desplazamiento de activado RESET AXIS
	53	Sin desplazamiento del punto cero memorizado
	54	Desplazamiento del punto cero 1, memorizado
	55	Desplazamiento del punto cero 2, memorizado
	56	Desplazamiento del punto cero 3, memorizado
	57	Desplazamiento del punto cero 4, memorizado
	58	Desplazamiento del punto cero 5, memorizado
	59	Desplazamiento del punto cero 6, memorizado
G	63	Desconexión del paquete geométrico
	64	Conexión del paquete geométrico
G	70	Sistema inglés
	71	Sistema métrico
G	72	Cancela función espejo
	73	Activa función espejo
	77	Define círculo de barrenos
	78	Define punto
G	79	Llamada de ciclo

ANEXO C

G	81	Ciclo de barrenado
	83	Ciclo de barrenado profundo
	84	Ciclo de roscado
	85	Ciclo de rimado
	86	Ciclo de mandrinado
	87	Ciclo de fresado de cajas rectangulares
	88	Ciclo de fresado de ranuras
	89	Ciclo de fresado de cajas circulares
G	90	Programación en coordenadas absolutas
	91	Programación en coordenadas incrementales
G	92	Desplazamiento del punto cero, incremental
	93	Desplazamiento del punto cero, absoluto
G	94	Avance en mm./min., unidad 0.001 mm./min.
	95	Avance en mm./vuelta, unidad 0.001 mm./vuelta
G	98	Zona gráfica
	99	Contorno del material de la pieza
P	0-99	Definición de punto
F	0-4000	Avance en mm./min. o en mm./vuelta

ANEXO C

Dirección	Clave	Significado y explicación
S	20-6300	Revoluciones por minuto
	0	Marcha en vacío del husillo
T	0-99	Número de corrección de herramienta
M	0	Parada de programa
	3	Arranque del husillo en sentido horario
	4	Arranque del husillo en sentido antihorario
	5	Paro del husillo
	6	Cambio de herramienta automático
	7	Suministro de refrigerante interno
	8	Suministro de refrigerante externo
	9	Desactivación del refrigerante
M	10	Bloquea mesa, eje B
	11	Desbloquea mesa, eje B
	13	Arranque del husillo en sentido horario y soluble
	14	Arranque del husillo en sentido antihorario y soluble
	16	Cancela M17 y M18
	17	Enjuague de viruta
	18	Limpieza de pieza
	19	Parada orientada del husillo
	20	Función adicional
	21	2 velocidades de cambio en caso de M6, M46
	22	Eje A Bloqueado
	23	Eje A Desbloqueado
	30	Fin de programa

ANEXO C

	41	Escalón 1 del tren de engranajes del husillo
	42	Escalón 2 del tren de engranajes del husillo
	43	Escalón 3 del tren de engranajes del husillo
	44	Escalón 4 del tren de engranajes del husillo
	46	Cambio de herramienta en cualquier posición
	53	Cabezal en posición horizontal
	54	Cabezal en posición vertical
	60	Cambio de mesa de trabajo
	66	Cambio manual de herramienta
	67	Cambio de compensación de radio de herramienta
E	0-99	Parámetros en el subprograma

BIBLIOGRAFÍA

BIBLIOGRAFÍA.

Alcaide, J. & Artacho, M. (2004). "*Diseño de Producto*". Alfaomega, España

Bodini, G. & Carchi, F. (1993). "*Moldes y máquinas de inyección para la transformación de plásticos*". Edit. Mc Graw Hill, México.

Chang, W. (2006). "*Computer Aided Manufacturing*". Prentice Hall, Inc

Dubois, J. & Pribble W. (1995). "*Plastics Mold Engineering Handbook*".
Buckleitner, New York

Erwin Zettl,(1988) "*Operating Instruction Maho*" Stuttgart

Farid, M.L. (1993). "*Computer-aided design and manufacturing*". Prentice-Hall, Inc.

Ferré, R. (1988) "*Cómo programar un control numérico*" , Marcombo

Grasa, P, (1989) "*Apuntes de control numérico computarizado*" UAM

James, G. B. (1999). "*Handbook Design for Manufacturability*". Mc Graw Hill

James, G. B. (1993). "*Manual de diseño de producto para manufactura*",
McGraw-Hill, México

Mastercam,(1994) "*Post Processor User Guide*". CNC Sostware, Inc.

Mastercam, (1998). "*Design Referente Manual*". CNC Software, inc.

Mastercam, (2003). "*Mill / Design Tutorial*". CNC Software, Inc.

Manfred Berg,(1990) "*Training literature Maho*" Production GmbH

BIBLIOGRAFÍA

Sandvik coromant, (2002). “*Productos para el mecanizado del metal*” Impreso en Suecia

Sandvik coromant, (2005). “*Guía de productividad*” Impreso en Suecia

Páginas web.

1. www.castor.es/historia_CAD_CAM.html
2. www.cimco.com.mx/2211__productos_Digitalizacion_GOM_Atos.html
3. www.scielo.cl/pdf/infotec/v19n3/art15.pdf
4. www.caddyspain.com/noticias/May06_4.htm
5. www.dmgmexico.com/es,ultrasonic,hsc20linear?opendocument&ma=2
6. www.mmattera.com/mastercam/posts/how2write_a_post.html

Software.

Mastercam V9

Catia V5