

ESCUELA POLITÉCNICA DEL EJÉRCITO

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

“ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE PROCESOS DE FRESADO CON SOLIDCAM PARA LA MANUFACTURA DE ELEMENTOS MECÁNICOS PARA EL CENTRO DE MECANIZADO LEADWELL V-30 DE AEROTECNOLOGÍA”

**PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE
INGENIERO MECÁNICO**

**MARCO VINICIO CASTILLO AÑAZCO
OSCAR BLADIMIR CAIZA LOACHAMÍN**

DIRECTOR: Ing. Carlos Naranjo G.

CODIRECTOR: Ing. Fernando Olmedo

Sangolquí, 2006-07-25

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO

El proyecto “ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE PROCESOS DE FRESADO CON SOLIDCAM PARA LA MANUFACTURA DE ELEMENTOS MECÁNICOS PARA EL CENTRO DE MECANIZADO LEADWELL V-30 DE AEROTECNOLOGÍA” fue realizado en su totalidad por Marco Vinicio Castillo Añazco y Oscar Bladimir Caiza Loachamín, como requerimiento parcial para la obtención del título de Ingeniero Mecánico.

Ing. Carlos Naranjo G.

DIRECTOR

Ing. Fernando Olmedo

CODIRECTOR

Sangolquí, 2006-07-25

LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO

“ELABORACIÓN DE UN MANUAL DE PROCEDIMIENTO DE PROCESOS DE FRESADO CON SOLIDCAM PARA LA MANUFACTURA DE ELEMENTOS MECÁNICOS PARA EL CENTRO DE MECANIZADO LEADWELL V-30 DE AEROTECNOLOGÍA”

ELABORADO POR:

Marco Vinicio
Castillo Añezco

Oscar Bladimir
Caiza Loachamin

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

EL DECANO

Sangolquí, 2006-07-25

DEDICATORIA

Marco Vinicio Castillo:

Dedico el presente proyecto a mi Dios todopoderoso por darme todo lo que tengo ya que es él directamente responsable de todos los logros que he alcanzado y alcanzare.

A mi madre que ya no esta a mi lado y nunca la voy a olvidar, a mi padre que ha estado siempre a mi lado y ha sido mi maestro, amigo y consejero al cual le debo muchísimo y lo amo con todo mi corazón.

Oscar Caiza:

El trabajo y apoyo incondicional de mis padres y hermanos han sido un activo muy valioso en el desarrollo personal y profesional tratando de inducir valores morales como son la sencillez, la honestidad, la perseverancia en la obtención de objetivos y el amor incondicional para los seres que lo rodean me han llevado a ser capaz de romper con esquemas y lograr los objetivos planteados desde cuando era un niño. Por ello es que el presente trabajo es dedicado al esfuerzo de mis padres y hermanos.

AGRADECIMIENTOS

Marco Vinicio Castillo:

A Aerotecnología, por darme la oportunidad de realizar las prácticas industriales y por confiar en mí para la realización del presente proyecto.

A Servicios Técnicos Industriales, por ayudarme a culminar el proyecto al poner su Centro de mecanizado.

A la fime y especialmente a los pocos buenos profesores de los cuales aprendí muchísimo como lo son los Ingenieros Carlos Naranjo, José Pérez, Fernando Olmedo, Telmo Sánchez.

Oscar Caiza:

Por el conocimiento transmitido por aquellos ingenieros en el transcurso de la carrera sembrando bases sólidas para un correcto desempeño en el futuro agradezco a: Ing. Carlos Naranjo, Ing. José Pérez, Ing. Adrián Peña, Ing. Emilio Tumipamba, Ing. Fernando Olmedo.

A todas las personas que he conocido en el transcurso de la carrera y han compartido su amistad, compañerismo y apoyo para juntos lograr la meta anhelada.

A todos mis grandes amigos y personas cercanas que con su apoyo he logrado alcanzar el objetivo planteado.

ÍNDICE DE CONTENIDOS

CERTIFICACIÓN DE LA ELABORACIÓN DEL PROYECTO	ii
LEGALIZACIÓN DEL PROYECTO	iii
DEDICATORIA	iv
AGRADECIMIENTO	v
INDICE DE CONTENIDOS	vi
LISTADO DE TABLAS	ix
LISTADO DE FIGURAS	x
NOMENCLATURA	xiv
ANEXO	xvi
RESUMEN	xvii

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES	Pág.
1.1 Antecedentes	19
1.1.1 Procesos de manufactura	19
1.1.2 Máquinas CNC	25
1.1.3 Software de diseño	31
1.2 Análisis del problema	34
1.3 Justificación e importancia	35
1.4 Objetivos	36
1.4.1 General	36
1.4.2 Específicos	36

CAPÍTULO 2

SOLID CAM PROCESOS DE FRESADO Y CENTRO DE MECANIZADO

2.1 Introducción al SolidCam	37
2.2 Procesos de Maquinado de SolidCam	38
2.3 Fresado Solidcam	39
2.4 Códigos G y M	48
2.5 Características generales del centro de mecanizado	61
2.6 Partes principales del centro de mecanizado	62

2.7	Operación del centro de mecanizado	64
2.8	Mantenimiento	68

CAPÍTULO 3

PARÁMETROS DE MAQUINADO Y HERRAMIENTAS

3.1	Parámetros de Maquinado	71
3.2	Tipos de Herramienta en el Fresado	78
3.3	Herramientas para Fresado en Aerotecnología	86
3.4	Costos de maquinado.	91

CAPÍTULO 4

CÁLCULO DE PARÁMETROS DE CORTE

4.1	Acero	91
	4.1.1 Aceros comunes en el Ecuador	92
	4.1.2 Criterios de mecanizado	97
4.2	Aluminio	103
	4.2.1 Aluminios comunes en el Ecuador	104
	4.2.2 Criterios de mecanizado	105

CAPITULO 5

ESTUDIO DE ESTRATEGIAS DE MECANIZADO

5.1	Introducción	109
5.2	Explicación general estrategias de maquinado	111
5.3	Superficie Esférica	119
	5.3.1 Estudio de Desbaste	121
	5.3.2 Estudio de Semiacabado	123
	5.3.3 Estudio de Acabado	119
	5.3.4 Análisis de Resultados	133
5.4	Superficie Cóncava	133
	5.4.1 Estudio de Desbaste	134
	5.4.2 Estudio de Semiacabado	137
	5.4.3 Estudio de Acabado	142
	5.4.4 Análisis de Resultados	147

5.5 Superficie Convexa	148
5.5.1 Estudio de Desbaste	148
5.5.2 Estudio de Semiacabado	151
5.5.3 Estudio de Acabado	156
5.5.4 Análisis de Resultados	161
5.6 Superficie Prismática	162
5.6.1 Estudio de Desbaste	162
5.6.2 Estudio de Semiacabado	165
5.6.3 Estudio de Acabado	170
5.6.4 Análisis de Resultados	172
5.7 Superficie Plana	173
5.7.1 Estudio de Desbaste	173
5.7.2 Estudio de Semiacabado	179
5.7.3 Análisis de Resultados	183
CAPÍTULO 6	
MANUAL DE PROCEDIMIENTOS	185
CAPITULO 7	
APLICACIÓN PRÁCTICA	199
7.1 Introducción	199
7.2 Planificación de Estrategias	199
7.3 Evaluación de resultados	213
CAPITULO 8	
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	215

LISTADO DE TABLAS

	Pág.	
Tabla 2.1	Resumen del código G	49
Tabla 2.2	Código M	55
Tabla 2.3	Resumen del código M	56
Tabla 2.4	Características generales del centro de mecanizado	61
Tabla 3.1	Constante de potencia Kp	74
Tabla 3.2	Valores de C de acuerdo al avance por diente	75
Tabla 3.3	Factores de eficiencia de las máquinas herramienta	76
Tabla 3.4	Factores de uso de herramienta	76
Tabla 3.5	Fórmulas para Q	76
Tabla 3.6	Clasificación de herramientas de fresado	80
Tabla 3.7	Clasificación de herramientas de fresado	81
Tabla 3.8	Clasificación de herramientas de fresado	83
Tabla 3.9	Clasificación de herramientas de fresado	84
Tabla 3.10	Clasificación de herramientas de fresado (CARBURO)	86
Tabla 3.11	Costos de maquinado	89
Tabla 4.1	Clasificación de los aceros de construcción mecánica	93
Tabla 4.2	Clasificación de los aceros para herramientas: trabajo en caliente	94
Tabla 4.3	Clasificación de los aceros para herramientas: trabajo en frío	95
Tabla 4.4	Clasificación de los aceros para moldes plásticos	96
Tabla 4.5	Velocidades y avances para el fresado	99
Tabla 4.6	Factor de corrección Ff	100
Tabla 4.7	Factor de ajuste de vida de la herramienta	102
Tabla 4.8	Clasificación del aluminio	104
Tabla 4.9	Velocidades y avances para el fresado	105
Tabla 4.10	Factor de corrección Ff	106

LISTADO DE FIGURAS

	Pág.
Figura 1.1 Operaciones de Fresado	21
Figura 1.2 Operaciones de Torneado	24
Figura 1.3 Diagrama de bloque de un CNC	26
Figura 1.4 Sistema de cambio automático de herramientas y piezas	28
Figura 2.1 SolidCam manager	40
Figura 2.2. Sistema de coordenadas	40
Figura 2.3 Punto de origen manager	41
Figura 2.4 Punto de origen detallado	41
Figura 2.5 Definición de alturas	41
Figura 2.6 Alturas de trabajo	42
Figura 2.7 Sistema de coordenadas del manager	42
Figura 2.8 Modelo de destino	43
Figura 2.9 Proceso de fresado	44
Figura 2.10 Definición de geometría	44
Figura 2.11 Definición de la herramienta	44
Figura 2.12 Denominación de la herramienta	45
Figura 2.13 Parámetros de desbaste	45
Figura 2.14 Parámetros de semiacabado y acabado	46
Figura 2.15 Definición del área de trabajo	46
Figura 2.16 Área de trabajo	46
Figura 2.17 Editar geometría	47
Figura 2.18 Simulación del proceso	48
Figura 2.19 Operación de la máquina	64
Figura 3.1 Herramientas comunes en el fresado	79
Figura 3.2 Herramientas HSS	87
Figura 3.3 Fresa frontal de carburo	87
Figura 3.4 Plato con pastillas de vidia	87
Figura 3.5 Herramientas HSS	88
Figura 3.6 Varias herramientas de carburo	88
Figura 3.7 Palpador de centrado	88
Figura 4.1 Planeado de cara	97
Figura 4.2 Fresado caras paralelas al husillo	98

	Pág.	
Figura 5.1	Desbaste SolidCam	110
Figura 5.2	Semiacabado y Acabado SolidCam	110
Figura 5.3	Estrategia: contorno	111
Figura 5.4	Estrategia: barrido	111
Figura 5.5	Tipo de corte	111
Figura 5.6	Definición de solapado	112
Figura 5.7	Tolerancia de superficie	112
Figura 5.8	Paso de bajada	112
Figura 5.9	Ángulo óptimo	113
Figura 5.10	Paso lateral	113
Figura 5.11	Dirección: Ida y vuelta	113
Figura 5.12	Dirección: Ascendente	114
Figura 5.13	Dirección: Descendente	114
Figura 5.14	Dirección: Lineal cruzado	114
Figura 5.15	Cajera circular	114
Figura 5.16	Malla proyectada	115
Figura 5.17	Corte compensado	115
Figura 5.18	Acabado cruzado	115
Figura 5.19	Espiral: lineal	116
Figura 5.20	Espiral: espiral	116
Figura 5.21	Espiral: círculos	116
Figura 5.22	Z constante	117
Figura 5.23	Ejemplo: Z constante	117
Figura 5.24	Sobrepaso constante	118
Figura 5.25	Fresado lápiz	118
Figura 5.26	Ángulo bitangencial	118
Figura 5.27	Superficie esférica	119
Figura 5.28	Tiempo de desbaste en superficies esféricas	121
Figura 5.29	Tipo de acabado en desbaste de superficies esféricas	121
Figura 5.30	Tiempo de semiacabado en superficies esféricas	127
Figura 5.31	Tipo de acabado en semiacabado de superficies esféricas	127
Figura 5.32	Tiempo de acabado en superficies esféricas	131
Figura 5.33	Tipo de acabado en acabado de superficies esféricas	131

	Pág.
Figura 5.34 Superficie cóncava	133
Figura 5.35 Tiempo de desbaste en superficies cóncavas	136
Figura 5.36 Tipo de acabado en desbaste de superficies cóncavas	136
Figura 5.37 Tiempo de semiacabados en superficies cóncavas	140
Figura 5.38 Tipo de acabado en semiacabado de superficies cóncavas	140
Figura 5.39 Tiempo de acabado en superficies cóncavas	145
Figura 5.40 Tipo de acabado en acabado de superficies cóncavas	145
Figura 5.41 Superficie convexa	150
Figura 5.42 Tiempo de desbaste en superficies convexas	150
Figura 5.43 Tipo de acabado en desbaste de superficies convexas	150
Figura 5.44 Tiempo de semiacabado en superficies convexas	154
Figura 5.45 Tipo de acabado en semiacabado de superficies convexas	154
Figura 5.46 Tiempo de acabado en superficies convexas	159
Figura 5.47 Tipo de acabado en acabado de superficies convexas	159
Figura 5.48 Superficie prismática	162
Figura 5.49 Tiempo de desbaste en superficies prismáticas	164
Figura 5.50 Tipo de acabado en desbaste de superficies prismáticas	164
Figura 5.51 Tiempo de semiacabado en superficies prismáticas	168
Figura 5.52 Tipo de acabado en semiacabado de superficies prismáticas	168
Figura 5.53 Tipo de acabado en acabado de superficies prismáticas	171
Figura 5.54 Superficie plana	173
Figura 5.55 Tiempo de desbaste en superficies planas	177
Figura 5.56 Tipo de acabado en desbaste de superficies planas	177
Figura 5.57 Tiempo de semiacabado en superficies planas	181
Figura 5.58 Tipo de acabado en semiacabado de superficies planas	181
Figura 7.1 Esquema general del bloque	199
Figura 7.2 Esquema de área a maquinar por centro de mecanizado	200
Figura 7.3 Materia prima por SolidCam	200
Figura 7.4 Materia prima	201
Figura 7.5 Modelo de destino por SolidCam	201
Figura 7.6 Montaje materia prima vs modelo destino por SolidCam	202
Figura 7.7 Esquema de desbaste	202
Figura 7.8 Simulación de desbastes	205

	Pág.
Figura 7.9 Esferas desbastadas	205
Figura 7.10 Esquema de semiacabado	206
Figura 7.11 Simulación de semiacabado	209
Figura 7.12 Esferas semiacabadas	209
Figura 7.13 Simulación de semiesferas acabadas	212
Figura 7.14 Semiesferas acabadas	212
Figura 7.15 Esquema de bloque final	213
Figura 7.16 Bloque de semiesferas terminado	213

NOMENCLATURA

- CNC: Control Numerical Center (Control Numérico Computarizado)
- NC: Numerical Control (Control Numérico)
- MIT: Massachussets Institute of Technology
- CAD: Computer Aided Design (Diseño Asistido por Computador)
- CAM: Computer Aided Manufacturing (Manufactura asistida por computador)
- CAE: Computer Aided Engineering (Ingeniería asistida por computador)
- ECT: Equivalent Chip Thickness (Espesor Equivalente de Viruta)
- HP: Horse Power (Caballo de fuerza)
- KW: Kilovatio
- SI: Sistema Internacional
- SA: Sistema Americano
- Vc: Velocidad de Corte
- f_m : Avance; in./min. o mm/min
- w : Ancho de corte; in. o mm.
- d : Profundidad de corte; in., o mm
- P_C : Potencia en la herramienta de corte; hp o kW
- P_m : Potencia en el motor; hp o kW
- K_p : Constante de potencia
- Q : Proporción de remoción de material; in.³/min o cm³/s
- C : Factor de avance para la constante de potencia
- W : Factor de uso de la herramienta
- E : Factor de eficiencia de la máquina herramienta
- W: Materiales blandos
- N: Tipo Normal
- H: Duro para materiales duros y/o de viruta corta
- NF: Fresa de Semidesbaste
- NR: Normal, desbaste
- WR: Blando, desbastado
- HR: Normal, desbastado

D: Diámetro

N: Numero de revoluciones

V_{opt} : Menor velocidad de las 2 dadas en las tablas de velocidades.

F_f : Factor de ajuste de avance

F_d : Factor de ajuste de profundidad de corte

F_{ar} : Factor de ajuste de área de corte

ANEXOS

	Pág.
Anexo 1: Avance por diente recomendados	219
Anexo 2: Factores de ajuste	220
Anexo 3: Factores de ajuste (corte al borde)	221
Anexo 4: Factores de ajuste (ar/D)	222
Anexo 5: Tabla de avances y velocidades para el aluminio	223
Anexo 6: Ejemplo de cálculo parámetros de maquinado	224

RESUMEN

La elaboración de este manual de procedimientos de procesos de fresado SolidCam es un proyecto de Aerotecnología. El manual está dirigido a:

- Programador del SolidCam: Puede consultar en el manual cual es la mejor estrategia de mecanizado en función de la superficie a maquinarse así como también parámetros de corte que están en función del material a maquinar y del material de la herramienta.
- Operador del centro de mecanizado: El manual contiene las operaciones básicas que se realizan en un centro de mecanizado paso a paso, además de botones que deben presionarse, tales como:
 - Centrado de piezas en el origen o en el centro
 - Compensación de alturas de herramientas
 - Corrida del programa

Por último el manual tiene una tabla de velocidades de corte en función del material a maquinar como el de la herramienta. Con estas velocidades de corte estamos en función de calcular avances de la mesa y velocidades de husillo para cualquier diámetro y número de filos de la herramienta.

Para la obtención de todos estos datos se realizó un estudio muy detallado de los siguientes temas:

Procesos de Manufactura: Se realizó un estudio de los principales procesos de manufactura con su respectiva clasificación que se aplican en la industria sean estos con o sin arranque de viruta. Se dio especial énfasis al fresado por ser el proceso que está involucrado en el estudio.

Centro de mecanizado: Se analizó las características físicas, los sistemas que lo componen y sus limitaciones.

Lenguaje de programación: El código G y M es el manejado por el controlador FANUC, por tanto se estudió y entendió el funcionamiento de cada uno de los códigos.

Materiales en la industria ecuatoriana: Se consultó a los principales proveedores de materia prima para la industria metalmecánica en el

Ecuador y se hizo una analogía de la nomenclatura usada por cada uno de ellos.

Herramientas de corte: Investigación de los diferentes tipos de herramienta usados en el fresado, aplicaciones y restricciones.

Parámetros de Corte: Se analizó las variables más importantes que afectan a los parámetros de corte tales como materiales de herramienta y de materia prima, tipo de herramienta, tipo de operación, etc. Con esto se llegó a obtener una tabla en la que se indica los diferentes parámetros en función de las variables antes expuestas.

Estudio detallado de SolidCam: SolidCam posee operaciones de desbaste, semiacabado y acabado. Cada operación tiene varias estrategias de mecanizado y cada una de las estrategias maneja sus propios parámetros los cuales fueron estudiados, entendidos y diferenciados entre sí para aplicarlos a los diferentes tipos de superficies que se pueden tener.

Una vez elaborado el manual se puso a prueba y se procedió a la manufactura de un bloque que posee 8 semiesferas las cuales muestran cada una de las estrategias que SolidCam posee en las diferentes etapas de desbaste, semiacabado y acabado. Se calcularon los parámetros de corte en función de la herramienta que se utilizó. Como resultado se demostró la veracidad de los datos de simulación tanto en acabado superficial como en tiempos de maquinado que SolidCam posee.

CAPÍTULO 1

GENERALIDADES.

1.1 ANTECEDENTES.

La industria metalmecánica en el Ecuador ha crecido de una manera moderada en los últimos años, utilizando métodos artesanales en la mayoría de los casos. Existen pocas empresas que se han formado como tal. Al trabajar de manera artesanal se habla de un trabajo empírico basado en la prueba y error para la mejora de procesos. En la mayoría de talleres por tanto no existe registro de trabajos, cálculos en los procesos, manuales, órdenes de trabajo y seguimiento de normas. Esto evita que se pueda evaluar a los procesos y calcular de manera técnica los costos de producción.

No se descarta por tanto que esta forma de trabajo sea errónea pero puede ser mejorada. La elaboración de manuales de procesos indicará y explicará de manera sencilla y con carácter técnico los procesos a realizarse, más aún si la máquina que se posee en AEROTECNOLOGÍA es de última generación.

1.1.1 PROCESOS DE MANUFACTURA

Los procesos de manufactura son todos los procesos químicos y no químicos utilizados para conformar o transformar la materia prima en un componente que cumplirá una determinada función práctica en un sistema.

Con el rápido desarrollo de nuevos materiales, los procesos de fabricación se están haciendo cada vez más complejos, de ahí nace la importancia de conocer los diversos procesos de manufactura mediante los cuales pueden procesarse los materiales. La industria requiere actualmente de tales conocimientos para la aplicación de los mismos para buscar la mejora de los procesos industriales.

Clasificación de los procesos de manufactura más importantes:

Sin arranque de viruta:

- Fundición
- Estirado
- Laminado
- Forja

- Corte

Con arranque de viruta:

- Aserrado
- Taladrado
- Torneado
- Cepillado
- Fresado
- Brochado

Enfocaremos los principales procesos de manufactura realizadas por máquinas herramienta. A continuación los principales procesos de maquinado con arranque de viruta:

- Fresado
- Torneado

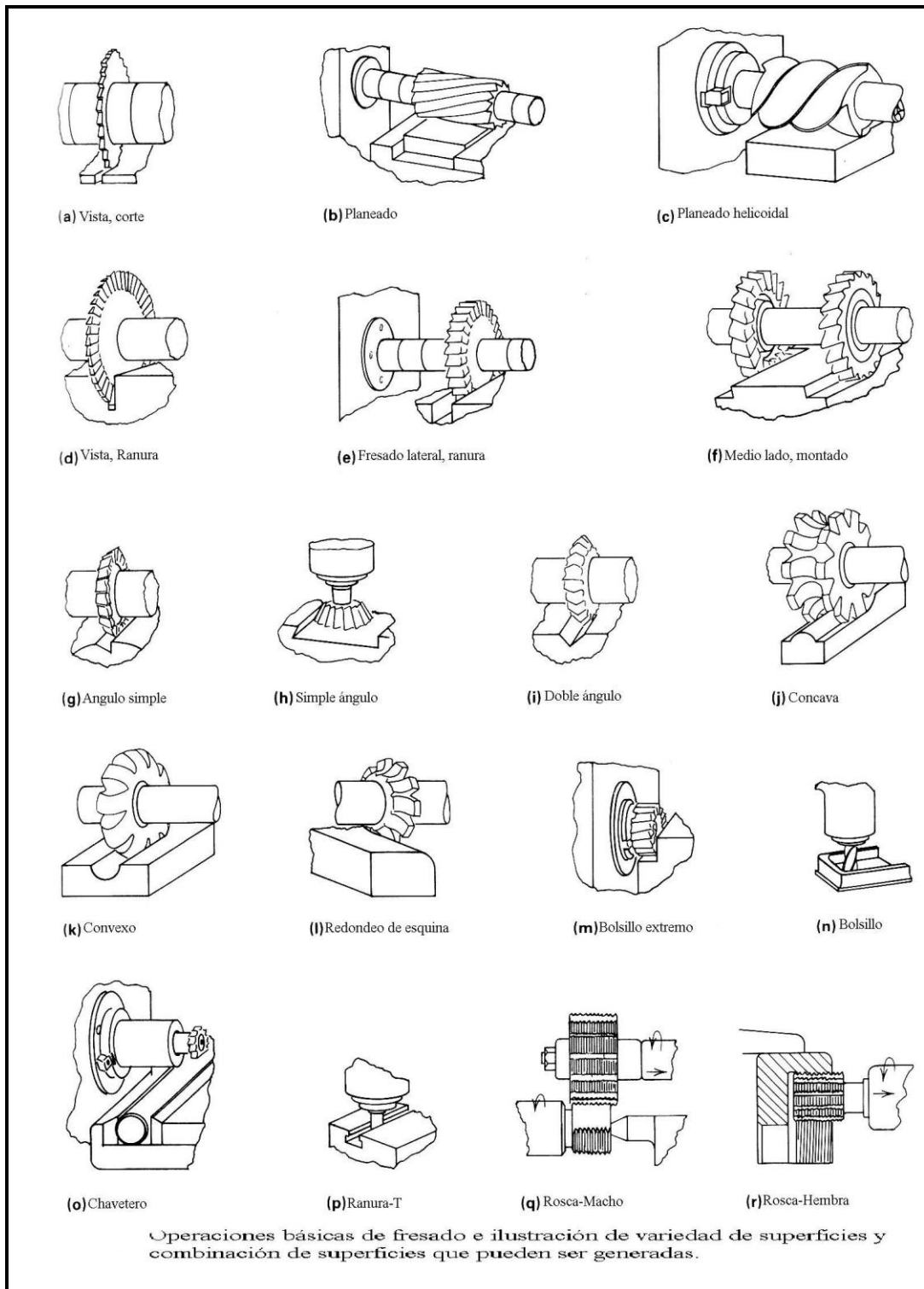
FRESADO.

El fresado es un proceso de maquinado en el cual el metal es removido por la rotación cortante de múltiples dientes, cada diente remueve una pequeña cantidad de metal con cada revolución del husillo. La pieza de trabajo es desplazada con movimiento rectilíneo bajo la herramienta en varias direcciones dependiendo del tipo de herramienta y su ángulo de corte. Existe diferencias entre el fresado y otros procesos de maquinado, como las siguientes:

- La interrupción del corte que ocurre cuando el diente deja la pieza de trabajo.
- El tamaño relativamente pequeño de la viruta.
- La variación en espesor de cada viruta.

En la siguiente figura (Fig. 1.1) mostramos algunas operaciones que pueden ser generadas por medio del fresado.

Figura 1.1 Operaciones de fresado.



Fuente: Metal Handbook, Machining

Los movimientos de trabajo de la fresadora son:

- Movimiento de corte: por rotación de la fresa.
- Movimiento de avance: por desplazamiento rectilíneo de la pieza.

- Movimiento de profundidad de pasada: por desplazamiento vertical de la pieza.

Tipos de Maquinas Fresadoras:

- Máquina fresadora horizontal
- Máquina fresadora vertical
- Máquina fresadora universal
- Máquinas de fresar especiales:
 - Fresadora paralela
 - Fresadora de planear
 - Fresadora de roscas
 - Fresadora de ruedas dentadas
 - Fresadora de copiar

Las herramientas de corte son fabricadas típicamente de acero rápido (HSS) en varias formas y tamaños, sin embargo, las herramientas de corte pueden obtenerse en carburo o diamante para trabajos de materiales mas duros o especiales.

El fresado puede funcionar con control computacional, llamado “Computer Numerical Control” (Control Numérico Computarizado) que se está volviendo necesario y común en las máquinas herramienta.

Ventajas del fresado:

- Virtualmente cualquier material puede ser fresado con una herramienta de corte apropiado.
- Fresado de partes complejas con detalles altos.
- Tolerancias de 0.001” a 0.003” son posibles.

Desventajas del fresado.

- Un reducido juego de características posibles. Ciertas características no son posibles.
- Más pérdida de material que los otros procesos.

- Bastante lento.

Las máquinas utilizadas para producción industrial de fresado deben incorporar:

- Motor de velocidades variables
- Tornillo de bola o equipo de precisión con gusano hidrostático y rodamientos
- Línea hidrostática
- CNC
- Controles automáticos
- Cambio de herramientas automáticas.

Los parámetros de operación dependen del tipo de herramienta a utilizar, su material y el material a trabajar, con la combinación de estos elementos se consigue un trabajo eficiente en el menor tiempo posible.

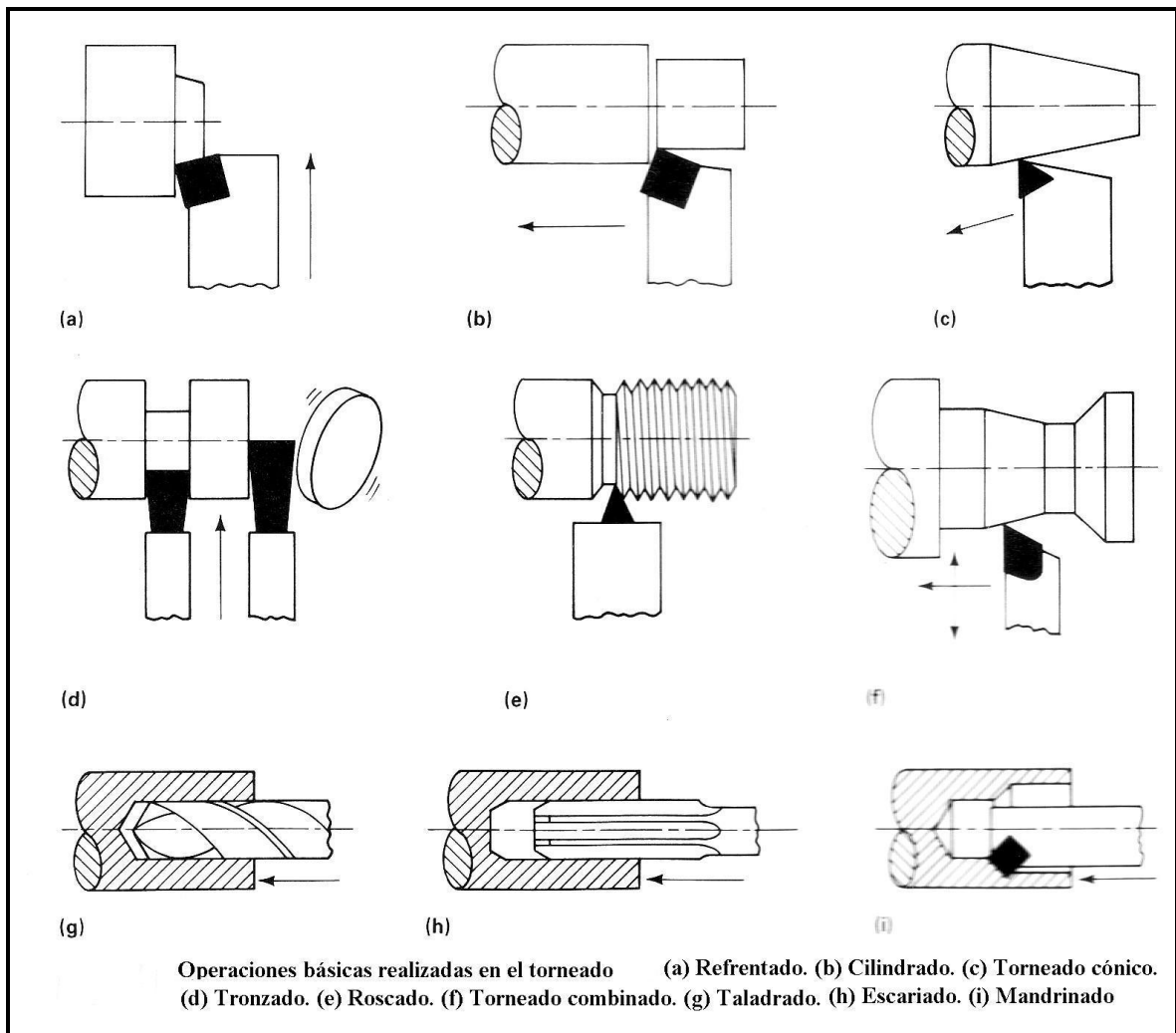
TORNEADO.

El torneado es el segundo proceso más versátil de las máquinas herramienta convencionales, el mismo es usado para producción de partes con rotación simétrica.

Las piezas están sometidas a un movimiento de rotación y se mecaniza por medio de una herramienta dotada de un movimiento de avance, que normalmente es paralelo al eje de rotación de la pieza. El torneado consiste en un arranque de material (viruta) de la pieza a elaborar. La viruta es arrancada por una herramienta de corte, la cual debe ser de mayor dureza del material a trabajar. Es una de las operaciones con mayor secuencia de maquinado.

El gráfico siguiente (Fig. 1.2) muestra las operaciones de torneado.

Figura 1.2 Operaciones de torneado.



Fuente: Metal Handbook, Machining.

Factores que influyen en el torneado:

- Número de revoluciones
- Velocidad de corte
- Profundidad de la pasada
- Grado de acabado

Tipos de tornos:

- Torno paralelo
- Torno copiador
- Torno revolver

Ventajas del torneado:

- Esencialmente la única manera de hacer piezas radialmente simétricas.
- Virtualmente cualquier material puede ser torneado con una herramienta de corte apropiada.
- Partes complejas con detalles altos
- Tolerancias de 0.001" a 0.003" son posibles

Desventajas del torneado:

- Un reducido juego de características posibles. Ciertas características no son posibles.
- Más pérdida de material que los otros procesos.

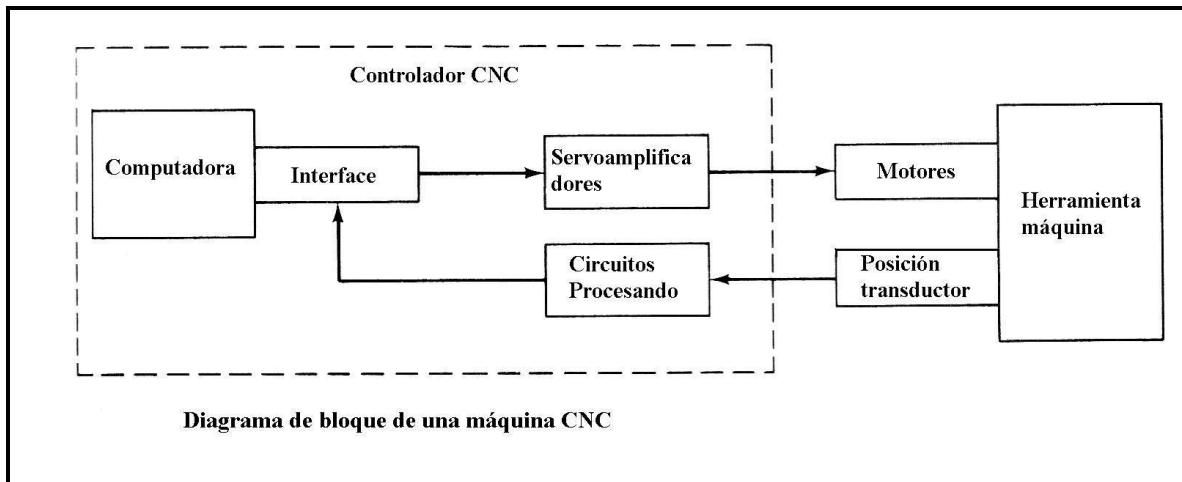
Al igual que en el fresado los parámetros para un desempeño eficiente de las máquinas deben ser escogidos de forma correcta para obtener una pieza de excelentes condiciones.

1.1.2 MÁQUINAS CNC

EL CNC (Control Numérico Computarizado) es un autónomo del sistema NC (Control Numérico) por una sola maquina-herramienta incluido un control computarizado dedicado a almacenar instrucciones para realizar algunas o todas las funciones básicas de un computadora.

Uno de los objetivos del sistema CNC es remplazar tanto al hardware NC como sea posible con software y simplificar el permanecer del hardware. Hay muchas formas en las cuales las funciones pueden compartir entre software y hardware en tales sistemas, pero todo involucra algo de hardware en el controlador dedicado a la máquina individualmente. Este hardware debe contener al menos el servo amplificador, el transductor de circuitos, y el componente de interfase como se muestra en la figura siguiente. (Fig. 1.3).

Figura 1.3 Diagrama de bloque de un CNC.



Fuente: Metal Handbook, Machining

El software de un sistema CNC consiste de por lo menos tres programas mayores:

- Una parte del programa
- Un programa de servicio
- Un programa de control

La parte del programa contiene una descripción de la geometría de la parte siendo procesada y las condiciones de corte, tales como: velocidad del husillo, proporción de alimentación. El programa de servicio es usado para chequear, editar, y corregir las partes del programa y para correr el diagnostico del sistema. El programa de control acepta la parte programada como entrada de datos y produce signos para manejar las coordenadas de movimiento de la máquina.

El principio de operación común de todas las aplicaciones del control numérico es el control de la posición relativa de una herramienta o elemento de procesado con respecto al objeto a procesar.

El CNC es un sistema que aplicado a una máquina-herramienta automatiza y controla todas las acciones de la misma, entre las que se encuentran:

- Los movimientos de los carros y del cabezal,

- El valor y el sentido de las velocidades de avance y de corte,
- Los cambios de herramientas y de piezas a mecanizar,
- Las condiciones de funcionamiento de la máquina (bloqueos, refrigerantes, lubricación, etc.),
- El estado de funcionamiento de la máquina (averías, funcionamiento defectuoso, etc.),
- La coordinación y el control de las propias acciones del CN (flujos de información, sintaxis de programación, diagnóstico de su funcionamiento, comunicación con otros dispositivos, etc.).

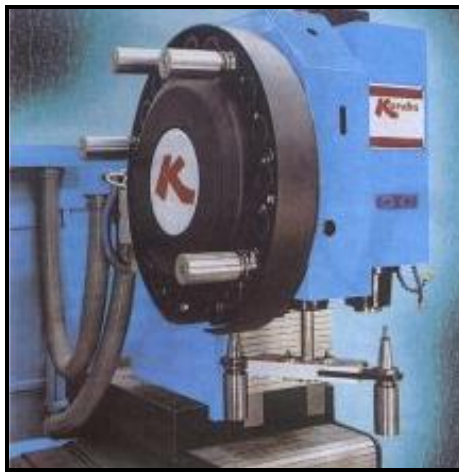
El programa se escribe en un lenguaje especial (código) compuesto por letras y números y se graba en un soporte físico (cinta magnética, disquete, etc.) o se envía directamente al control vía RS-232. El control numérico (NC), debe interpretar las instrucciones contenidas en el programa, convertirlas en señales que accionen los dispositivos de las máquinas y comprobar su resultado.

El control numérico puede aplicarse a una gran variedad de máquinas, entre las que podemos citar:

- | | |
|--|---|
| <ul style="list-style-type: none"> ○ tornos, ○ fresadoras, ○ centros de mecanizado, ○ taladradoras, ○ mandrinadoras, ○ rectificadoras, ○ punzonadoras, ○ dobladoras, ○ plegadoras, ○ prensas, ○ cizallas, | <ul style="list-style-type: none"> ○ máquinas de corte por láser, plasma, chorro de agua, etc., ○ plotters o trazadores, ○ máquinas de bobinar, ○ máquinas de medir por coordenadas, ○ robots y manipuladores, |
|--|---|
-
- máquinas de electro erosión,
 - máquinas de soldar,
 - máquinas de oxicorte,

En el ámbito de las máquinas-herramienta, la incorporación de un sistema de control numérico ha supuesto una gran evolución hasta llegar a los centros de mecanizado y centros de torneado como los que se muestran en la figura, que incorporan sistemas de cambio automático de piezas y herramientas que poseen unas 100 herramientas o más. Está diseñada para efectuar diversas operaciones sobre diferentes superficies de la pieza de trabajo. Los centros de mecanizado pueden producir piezas complejas con gran exactitud y rapidez.

Figura 1.4 Sistema de cambio automático de herramientas y piezas



Fuente: www.metalunivers.com

El tipo de controles basados en circuitos específicos y lógica cableada (CN) ha caído en desuso con la aparición de los Controles Numéricos Computarizados (CNC), basados en el uso de uno o varios microprocesadores que sustituyen a los circuitos de lógica cableada de los sistemas CN, poco fiables y de gran tamaño. Los CNC incluyen una memoria interna de semiconductores que permite el almacenamiento del programa pieza, de los datos de la máquina y de las compensaciones de las herramientas. Por otra parte, incorporan un teclado que facilita la comunicación y el grado de interactividad con el operario y permiten la ruptura de la secuencia de los programas, la incorporación de subrutinas, los saltos condicionales y la programación paramétrica. De esta forma, se facilita una programación más estructurada y fácil de aprender.

Con una CNC podemos comandar:

- Movimientos de cabezal y ejes (carros).
- Los cambios de herramientas y piezas.
- Los valores de avance y revoluciones.
- Salida de lubricante-refrigerante.

Ventajas:

- La automatización es el empleo de equipo especial para controlar y llevar a cabo los procesos de fabricación con poco o ningún esfuerzo humano.
- Aplicado en la fabricación de todos los tipos de artículos y procesos desde la materia prima hasta el producto terminado.
- Las ventajas del control numérico computarizado es la facilidad de operación, programación más sencilla, mayor exactitud, adaptabilidad y menos costos de mantenimiento, la combinación del diseño por computadora, mayor productividad.

Desventajas:

- Las condiciones que influyen en las decisiones con la automatización son los crecientes costos de producción, alto porcentaje de piezas rechazadas, demoras en la producción, escasez de mano de obra, condiciones peligrosas de trabajo.
- Los factores que se deben estudiar con cuidado son el alto costo inicial del equipo, los problemas de mantenimiento y el tipo de producto.

CENTRO DE MECANIZADO.

Un centro de mecanizado ha sido el resultado de la evolución lógica de la "máquina herramienta" convencional en un contexto donde se ha precisado aumentar la productividad, la flexibilidad y la precisión, al tiempo que se mejoran las condiciones de seguridad de los trabajadores, todo ello lógicamente acompañado por la incorporación de la electrónica.

Lo dicho hasta ahora nos puede permitir introducir el concepto de "centro de mecanizado". Un centro de mecanizado es ante todo una máquina herramienta de conformado por arranque de material (esto es, una máquina no portable que, operando con la ayuda de una fuente de energía exterior, es capaz de modificar la forma del material o pieza a mecanizar mediante el arranque de virutas, de forma continua o discontinua).

Sin embargo, las características esenciales de un centro de mecanizado y que por tanto sirven para diferenciarlo de otro tipo de máquinas son las siguientes:

- a) Está dotado de un control numérico
- b) Puede realizar otras operaciones de mecanizado además del fresado
- c) Dispone de un cambiador de herramientas automático

a) Dotado de un control numérico

Los centros de mecanizado son el producto de la revolución tecnológica que ha supuesto en el mundo de la mecanización la introducción de la tecnología del control numérico. No existen centros de mecanizado anteriores a la tecnología del control numérico.

b) Puede realizar otras operaciones de mecanizado además del fresado

La transformación de la fresadora clásica en un centro de mecanizado ha sobrevenido como consecuencia de dotarla de la potencialidad para desarrollar operaciones de trabajo que tradicionalmente se realizaban en otro tipo de máquinas. Es el caso del taladrado, y del roscado fundamentalmente. En efecto, este tipo de operaciones no es cinemática y conceptualmente hablando distintas del fresado, dado que aunque tengan implicaciones mecánicas y tecnológicas bien distintas, todas ellas se ejecutan mediante un movimiento de corte circular, con la ayuda de una herramienta rotativa. Esto es lo que hizo posible que en un momento dado se integrasen este tipo de operaciones en una misma máquina conocida como centro de mecanizado. Por lo tanto, y hasta aquí, un centro de mecanizado es una máquina herramienta dotada de control numérico que permite realizar distintas operaciones de mecanizado como fresado, taladrado y roscado. En este sentido se debe

establecer la diferencia entre centros de mecanizado y fresadoras de control numérico, dado que éstas últimas son máquinas herramienta que si están dotadas de control numérico pero sólo están destinadas a realizar operaciones de fresado.

c) Dispone de un cambiador de herramientas automático

La segunda de las características esenciales mencionada implica prácticamente a la tercera, en el sentido de que se hace prácticamente ineludible la existencia de un sistema que facilite el cambio automático de las herramientas que permitan efectuar las distintas operaciones posibles. Lógicamente, el sistema de cambio de herramienta está gobernado por el control numérico de la máquina. Los sistemas de cambio de herramienta responden a conceptos estructurales, necesidades y soluciones de diseño bien distintas, pero en cualquier caso deben asegurar la posibilidad de efectuar un cambio de herramienta en el transcurso de ejecución de un programa pieza, sin la necesidad de intervención por parte del operario.

El centro de mecanizado ha permitido diversificar enormemente el número de operaciones a realizar en una misma máquina, así como aumentar el número de operaciones a realizar con la misma sujeción de pieza, lo que redundará en un incremento de la relación calidad/coste de las piezas producidas.

1.1.3 SOFTWARE DE DISEÑO

Hoy, los modernos sistemas CAD/CAM proporcionan más herramientas poderosas que lo libra de la necesidad de crear los modelos físicos.

El sistema SKETCHPAD, desarrollado por Ivan Sutherland en el Massachussets Institute of Technology (MIT), en 1962, puede considerarse como el inicio del CAD. El aspecto revolucionario de dicho sistema era que permitía al usuario la capacidad de interactuar gráficamente con la computadora, a través de una presentación visual y un lápiz óptico. Estos modelos evolucionarían más tarde para pasar al desarrollo de dibujos de dos a tres dimensiones.

La historia del software CAD se encuentra muy vinculada con el desarrollo de hardware por computadora. En la década de los sesenta y setenta la mayor parte de este tipo de soluciones fueron aplicadas por las grandes compañías de defensa, los fabricantes de automóviles y las aeroespaciales.

CAD/CAM/CAE.

Las herramientas CAD “Computer Aided Design” (Diseño asistido por computador) permiten que el diseñador dé rienda suelta a su creatividad para, finalmente, conceptualizarla de forma virtual. Este software toma los elementos básicos del dibujo técnico para hacer más fácil la generación de formas y su visualización con perspectiva en 3D desde cualquier punto del observador. Al modelo se le pueden introducir dimensiones y se puede documentar por medio de planos con todas las especificaciones necesarias para su producción.

Además, es posible obtener la explosión de materiales no sólo del ensamble final, sino también de los subensambles de forma rápida, sencilla y sin perder perspectiva. Gracias a la capacidad de almacenamiento de información de las computadoras actuales, se puede tener una amplia base de datos de una gama de productos. Esto es de gran ayuda para realizar nuevos diseños, mezclas y modificaciones posteriores sobre productos estándar sin partir de cero ya que se pueden extraer directamente de las librerías creadas.

Para las tareas de simulación, control y administración de la manufactura de los productos, se emplean las aplicaciones CAM “Computer Aided Manufacturing” (Manufactura asistida por computador). Éstas son de gran utilidad si pensamos en que la realización de un prototipo así como su prueba en una línea de producción se traduce en costos muy altos. Al emplear este tipo de software, se cuenta con la opción de simular el proceso de manufactura con las diferentes formas del producto en la computadora para que, de esta manera, se ejecute la planeación de todo el instrumental necesario.

Una vez probada la simulación se puede obtener los códigos de control para las diferentes máquinas automáticas como tornos, fresadoras, electroerosionadoras, cortadoras por láser o por chorro de agua, e incluso

robots. A grandes rasgos el CAM se ubica en un nivel operativo para el control de máquinas.

El CAE “Computer Aided Engineering” (Ingeniería asistida por computador) permite hacer pruebas y análisis del comportamiento del producto bajo ciertas condiciones. Es decir, se puede elegir el material que se planea utilizar en la producción de ciertas piezas y obtener el desempeño no sólo del material sino de la pieza en sí, bajo las condiciones normales en las cuales se predice su funcionamiento.

Se puede determinar si tanto el diseño como los materiales tendrán la resistencia suficiente y/o adecuada para los procesos de fabricación, así como para la utilidad para la cuál se destinaron. También se puede llevar a cabo análisis de esfuerzos, de transferencia de calor, de flujo de fluidos, aerodinámicos, de llenado de moldes, de inyección, y cinemáticas, entre otros.

En las tres herramientas se explotan los beneficios de la incorporación del uso de las computadoras en los procesos productivos. Gracias a ella podemos gozar de gran capacidad de almacenamiento, transferencia de archivos, visualización tridimensional, velocidad de procesamiento, modificación inmediata y correspondencia (asociatividad) en los cambios de un módulo a otro al trabajar sobre una misma base de datos.

La tendencia actual, gracias al software, es la concurrencia en las funciones. El tiempo de desarrollo de un producto se acorta debido al traslape de funciones y la concurrencia de actividades. Ya no se puede hablar de ningún proceso aislado, más bien la interdependencia entre los distintos departamentos que conforman una empresa se hace cada vez más fuerte debido a que lo que pase en alguno de ellos forzosamente afectará a los demás. Es así como ahora el diseño se convierte en parte esencial del proceso productivo.

Para las soluciones de alto nivel, que abarca las tres herramientas CAD/CAM/CAE sólo se pueden emplear en estaciones de trabajo robustas,

existe software como CATIA, que hace más eficiente el manejo de superficies para modelar piezas con formas complejas más fácilmente.

Otro caso es el de PRO/ENGINEER que permite trabajar con piezas regulares y familias de partes (piezas que son similares pero que tienen una modificación respecto a otra). Su capacidad paramétrica facilita la generación de familias de partes con modificaciones instantáneas en toda la familia.

También tenemos el SOLIDWORKS (CAD) con el SOLIDCAM (CAM) y el COSMOS (CAE) aplicados en la Facultad de Ingeniería Mecánica de la ESPE que proviene de la familia de los fabricantes de CATIA.

Existen otros programas, como IDEAS, para modelados mediante el empleo de formas preestablecidas, y UNIGRAPHICS, cuya presentación y gráficas ayudan a observar el modelo de la pieza con mayor claridad.

Existen otros sistemas de niveles inferiores cuyo diseño es específico para cierto tipo de aplicaciones, ya sean sólo CAD, CAM o CAE.

La tendencia en los CAD apunta hacia el modelado por medio de sólidos y datos paramétricos (con la capacidad de modificar cualquier valor). En el CAM podría haber una integración en lo que se refiere a la generación de códigos para el manejo de celdas flexibles de manufactura (procesos en los cuales se puede cambiar el proceso con pequeñas modificaciones sobre el mismo para la elaboración de un producto similar de diferentes características) y no máquinas automáticas aisladas. Además, se podrían incorporar elementos de realidad virtual, con el fin de ver el producto terminado desde cualquier ángulo como si uno estuviera adentro de éste.

1.2 ANÁLISIS DEL PROBLEMA

El desarrollo de productos sin un camino predeterminado de ingeniería en las diferentes áreas se traduce en altos precios y altos desperdicios, con personal trabajando según su experiencia en la labor diaria, sin llevar un rumbo

para mejorar su desempeño y/o mejorar la calidad del producto. El desorden en el lugar de trabajo, la fabricación artesanal, la pérdida de tiempo por problemas que pueden ser solucionados con facilidad, el bajo mantenimiento, y la falta de conocimiento de la máquina y sus alcances hacen que el trabajo sea inestable, por ende, la reunión de todos estos elementos a la hora de competir con empresas de la misma rama provoca desequilibrios y baja eficiencia de la empresa, baja competitividad, etc., llevando consigo un malestar hacia el dueño o inversionista de la empresa que no encuentra la satisfacción en los ingresos de utilidades, es por ello que se crea un camino para un proceso de trabajo eficiente y de mejora continua.

1.3 JUSTIFICACIÓN E IMPORTANCIA

Es importante además la elaboración de este manual debido a que en la actualidad cada máquina posee su manual de operación. El software de diseño posee sus respectivos manuales de uso. Los catálogos de herramientas brindan información dimensional, composición y de avances. Los catálogos de materias primas (hierros, aceros, aluminios) poseen sus propias características.

Todos estos manuales son por tanto muy específicos y teóricos, es ahí donde radica la importancia de este manual que **RECOPILEARÁ TODA ESTA INFORMACIÓN APLICÁNDOLA A UN ENTORNO REAL** que toma en cuenta todos los factores que intervienen en un proceso de manufactura en un centro de mecanizado, lo que lo convierte en un proyecto innovador.

La globalización produce la necesidad de competir en el ámbito nacional e internacional llegando a la conclusión de que se debe explotar de una manera correcta y eficiente el desempeño de las máquinas para lograr extender su vida útil y recuperar la inversión hecha por la misma en un corto plazo. La búsqueda de la eficiencia en general es el objetivo al cual apuntan las industrias.

En el caso específico de la eficiencia en el proceso de manufactura se ha desarrollado procedimientos detallados de una manera lógica y no empírica para el proceso, ahorrándonos tiempo y dinero. Se adentra en los factores

importantes que determinan la calidad del producto terminado para satisfacer las necesidades del consumidor final, por ende, la elaboración de un manual de procedimiento para procesos de manufactura ayuda a la empresa a utilizar su centro de mecanizado de forma eficiente y lógica para un futuro poder ingresar de manera sencilla en el proceso de calidad total para la futura certificación de normas.

1.4 OBJETIVOS

Los objetivos planteados para este manual de procedimientos son los siguientes:

1.4.1 OBJETIVO GENERAL

- La meta del proyecto es: Elaborar un manual de procedimiento de procesos de fresado del SolidCam para la manufactura de elementos mecánicos y ponerlo en práctica con bloques de un material a determinarse; servirá además para la capacitación de futuros técnicos del centro de mecanizado.

1.4.2 OBJETIVOS ESPECÍFICOS

- Establecer aplicaciones y diferencias entre los procesos de manufactura que posee el fresado de SOLIDCAM.
- Analizar las capacidades, limitaciones y procesos económicamente factibles del Centro de Mecanizado.
- Relacionar parámetros de maquinado de acuerdo a materiales y tipos de herramienta.
- Clasificar los procesos de fresado posibles y económicamente factibles en función de las variables mencionadas

- Establecer el orden lógico de los procesos para la obtención de elementos mecánicos de la manera más económica.

CAPÍTULO 2

SOLIDCAM PROCESOS DE FRESADO Y CENTRO DE MECANIZADO

2.1 INTRODUCCIÓN AL SOLIDCAM

En la actualidad gracias al avance tecnológico se dispone de software de aplicación en el trabajo lo suficientemente desarrolladas como es el caso del CAM “Computer Aided Manufacturing” (Manufactura asistida por computador), en donde se puede simular el proceso de maquinado de elementos por medio de maquinas herramienta de control numérico o centros de mecanizado.

SOLIDCAM es un software que ayuda junto con el SOLIDWORKS a simular procesos de manufactura de fresado y torneado en máquinas herramientas con CNC y centros de mecanizado, verificando los detalles en la simulación del proceso de maquinado, las herramientas utilizadas y sus respectivas funciones y que partes se puede mejorar o crear una modificación para un mejor acabado ingresando criterios de maquinado.

El avance de la tecnología ha obligado a ser eficaces en el desarrollo de productos, por ende, en la creación del mismo ya no es necesario la construcción de un prototipo para ser verificado y probado, el SOLIDCAM ayuda a no tener esos gastos innecesarios de la construcción de un prototipo, porque se obtiene por medio de simulación los datos necesarios para tomar correcciones antes de realizar su respectivo proceso, además el proceso en si ya es controlado por completo por la máquina, en este caso la mano del hombre juega un papel menor al de la máquina, ya no es necesario la habilidad del operador para construir por medio de sus habilidades piezas complejas.

La facilidad que brinda la interfase de SOLIDCAM con las herramientas incluidas en el software lo hace un programa fácil de utilizar. Tenemos el control de todos los elementos de ingreso como el tipo de material, el tipo de herramientas, tipo de avance, tolerancias, número de revoluciones, cero de referencia, etc. Con el establecimiento de estos parámetros se puede realizar la simulación y observar su proceso virtual y luego con la ayuda del código G de interfase entre el software y la máquina pasa a formar parte entendible con la misma para tomar el proceso y llevarlo a cabo.

2.2 PROCESOS DE MAQUINADO DE SOLIDCAM

SolidCAM es la mejor herramienta en su clase para trabajar en programación de CNC dentro de SOLIDWORKS. SOLIDCAM provee de una

integración muy efectiva, haciendo el trabajo más sencillo y rápido desde el diseño del modelo. Los sellos que caracterizan a SOLIDCAM son su fácil combinación que crea una poderosa funcionalidad y sus procesos personalizados que generan un código listo para maquinarse. Sus principales procesos de maquinado son los siguientes:

Fresado 2.5D: modelos que estén diseñados en SOLIDWORKS pueden ser rápidamente convertidos en rutas de maquinado.

Fresado 3D: las utilidades de SOLIDCAM para fresado en 3D pueden ser usadas tanto para modelos prismáticos como para modelos complejos. En partes prismáticas SOLIDCAM analiza el modelo y reconoce automáticamente cavidades y perfiles a ser maquinados utilizando estrategias de Z constante. Para el maquinado de moldes, electrodos y prototipos, SOLIDCAM ofrece poderosas herramientas de maquinado de material restante.

Torneado y conducción de herramientas: soporta un gran número de herramientas incluyendo soporte especial para tecnologías de maquinado avanzado de herramientas.

Además de ofrecer todas las operaciones de barrenado y fresado sobre la cara o el perímetro del material.

Electro-erosionado con Hilo 2/4 ejes: Esta práctica función permite manejar contornos con ángulos constantes y variables. SOLIDCAM te da control total sobre puntos de paro y condiciones de corte en cualquier punto de perfil.

2.3 FRESADO SOLIDCAM

Para el fresado de piezas en el SOLIDCAM es necesario los siguientes pasos fundamentales:

- Cargar la pieza de SOLIDWORKS en el SOLIDCAM, siempre y cuando sea la única activa.
- Seleccionar el proceso a usar: fresado, torneado, torneado-fresado, corte de hilo.

- Guardar la pieza ubicándola en una carpeta predeterminada.
- Seleccionar el controlador que posee la máquina.
- Seleccionar el origen o cero de pieza.
- Seleccionar la materia prima (stock) y elemento al que queremos llegar (target)
- Se cargará por tanto una serie de opciones, se seleccionará el tipo de proceso más apto dependiendo de la geometría que tengamos.

Dentro del cuadro se seleccionará:

- Área de trabajo
- Herramienta y avances
- Tipo de maquinado (desbaste, semiacabado y acabado)

SOLIDCAM nos permite simular el proceso que diseñamos mostrando los datos de tiempo de maquinado, tipo de rugosidad al final del proceso que ayudará al diseñador para la planificación de procesos, cálculo de costos, etc.

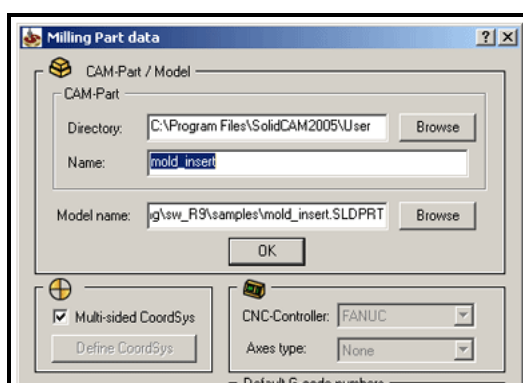
DEFINICIÓN DE UNA PIEZA NUEVA.

Los detalles son importantes acerca de la pieza en el cuadro de diálogo del fresado. El nombre predeterminado será el mismo que tiene en el modelo de SOLIDWORKS, además se puede cambiar el nombre si se desea.

Se presiona OK y se activarán los botones inferiores del cuadro. SolidCAM crea el archivo de pieza CAM con extensión.prt y automáticamente lo inserta en la carpeta del mismo nombre de la pieza; copia además el archivo original de SOLIDWORKS en dicha carpeta con sus ensamblés.

Existen 2 componentes en este ensamble que son:

- DesignModel.sldprt: copiado del archivo de SolidWorks
- CAM.sldprt: Contiene los datos geométricos del SolidCam



Luego de haber sido creado aparece a la izquierda de la pantalla el SolidCAM Manager que hace las veces del Feature Manager del SOLIDWORKS. Tiene las siguientes opciones:

- Materia Prima

Figura 2.1 SOLIDCAM Manager

DEFINICIÓN DEL ORIGEN

Este paso es fundamental para los procesos de maquinado que se deseen hacer, ya que a partir de aquí se generarán los puntos coordenados que tendrá el código.

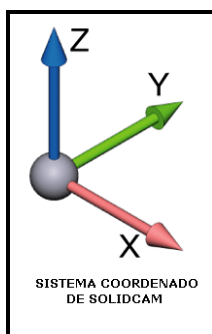


Figura 2.2 Sistema de coordenadas



Figura 2.3 Punto de origen Manager

De las tres opciones que se posee la más usada es la que permite seleccionar el punto de origen, y 2 líneas para los ejes X y Y.

Luego aparecerá el siguiente cuadro de diálogo:

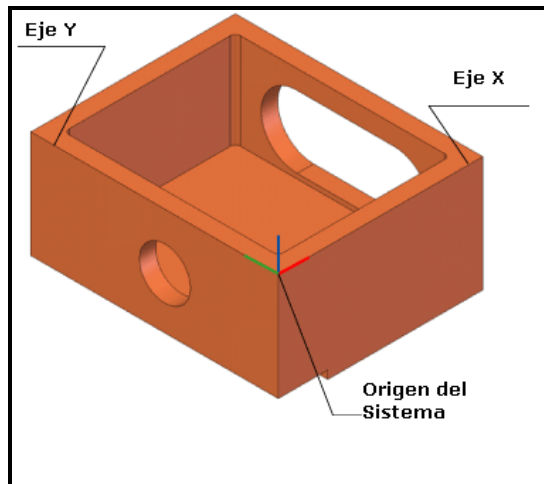


Figura 2.4 Punto de origen detallado

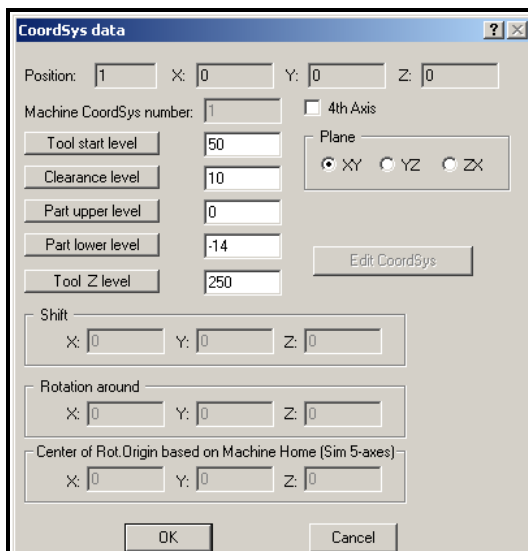


Figura 2.5 Def

Nivel de comienzo de herramienta (Tool start level) = 50: Es la altura inicial donde se posiciona la herramienta antes de iniciar el maquinado.

Nivel libre (Clearance level) = 10: Es el segundo posicionamiento superior.

Nivel superior e inferior de la pieza (Upper and lower level): Se indica las caras superior e inferior en donde se va a trabajar.

Tool Z Level: es la altura que la

herramienta se mueve antes de rotar en el 4º y 5º eje evitando coaliciones entre la pieza de trabajo y la herramienta.

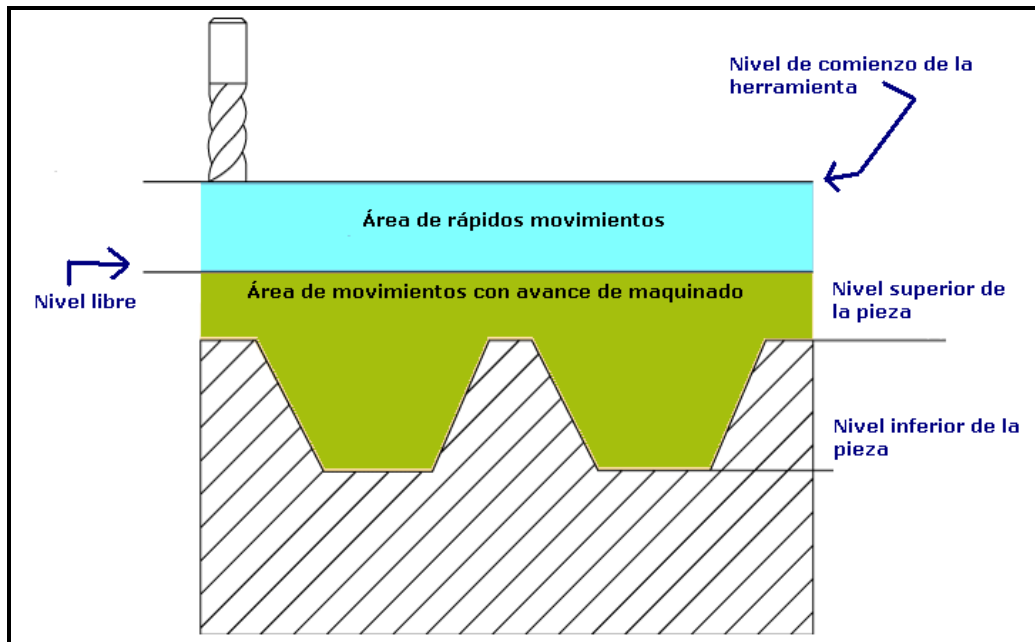


Figura 2.6 Alturas de trabajo

Una vez registrado todos estos datos necesarios de la pieza confirmamos y aparece la siguiente ventana:

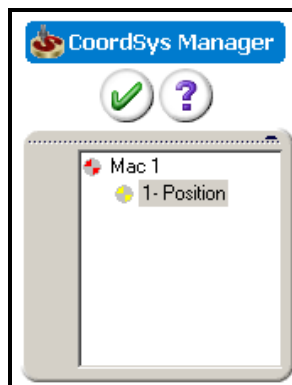
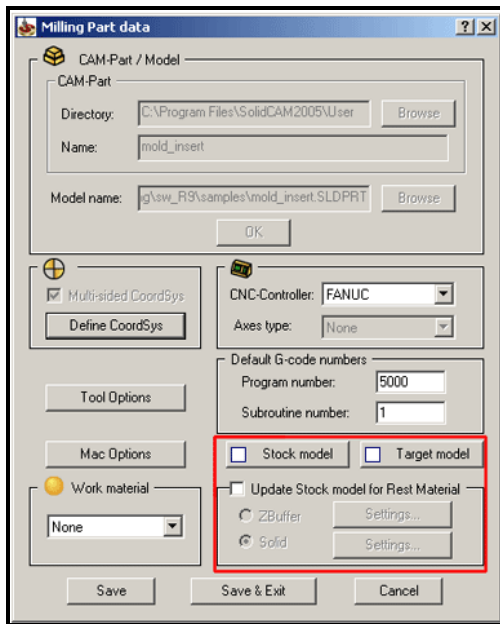


Figura 2.7 Sistema de coordenadas del Manager

DEFINICIÓN DE MATERIA PRIMA Y MATERIAL DE DESTINO.



Materia Prima:

Se debe indicar al software de donde se va a partir. Se tiene las siguientes opciones para la selección del mismo:

- Modelo 3D
- 2 planos límites
- Caja

Modelo de Destino:

Existen 2 formas de seleccionar el modelo de destino:

- Se hace clic en el componente DesignModel del Feature Manager
- Se hace clic en cualquiera de las caras del modelo

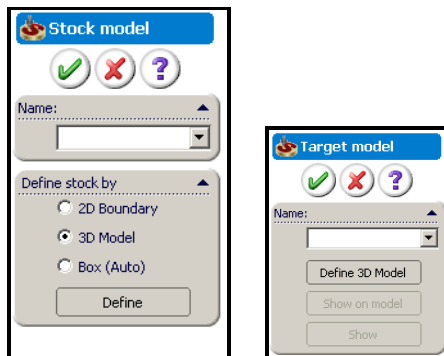


Figura 2.8 Modelo de Destino

Una vez seleccionado y verificado todos estos pasos se hace clic en *Save&Exit*

SELECCIÓN DE UN PROCESO DE FRESADO

Se hace clic derecho en Tareas, se pone agregar trabajo y se muestra para escoger entre las siguientes opciones:

- Perfil
- Cajera
- Taladrado 2D y 3D
- Ranura
- Superficie trasladada
- Modelo 3D
- 4º y 5º eje

La ventana más completa y por motivos de explicación es la del Modelo 3D

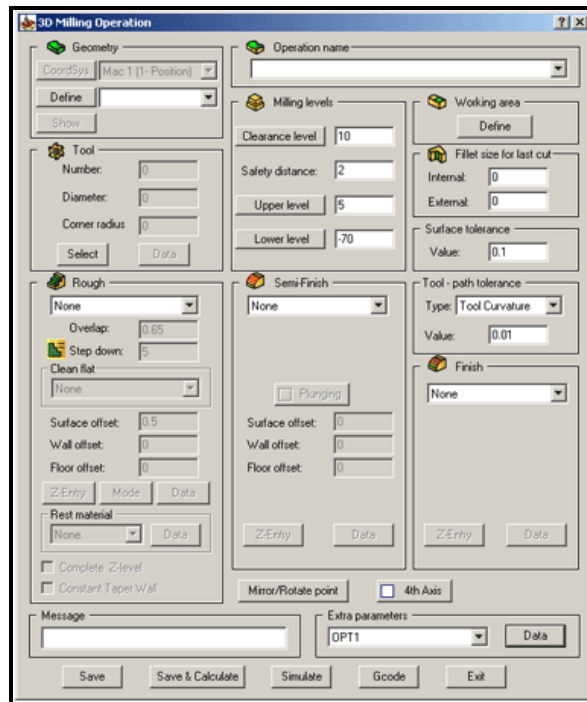


Figura 2.9 Proceso de Fresado

Definición de Geometría:

Una vez que se halla definido la geometría de trabajo al principio se puede usarla de nuevo de la siguiente manera:

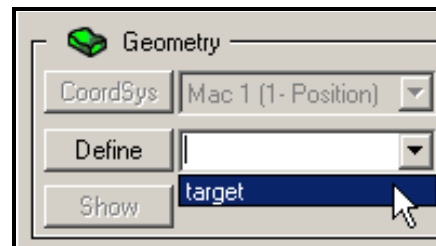


Figura 2.10 Definición geometría

Definición de Herramienta:

En la opción de herramienta podemos dar todos los detalles de la misma con excepción del material de la misma. Datos como longitud, diámetro, # de filos, longitud de corte son necesarios.

Figura 2.11 Definición de la herramienta

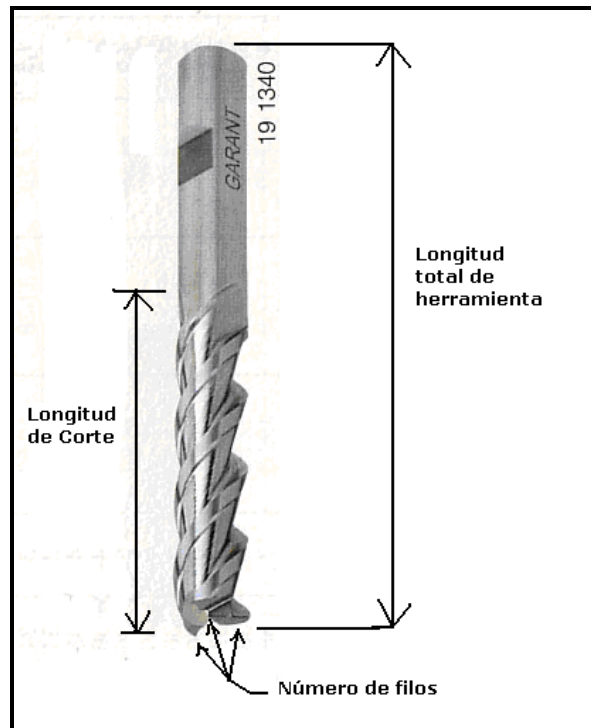
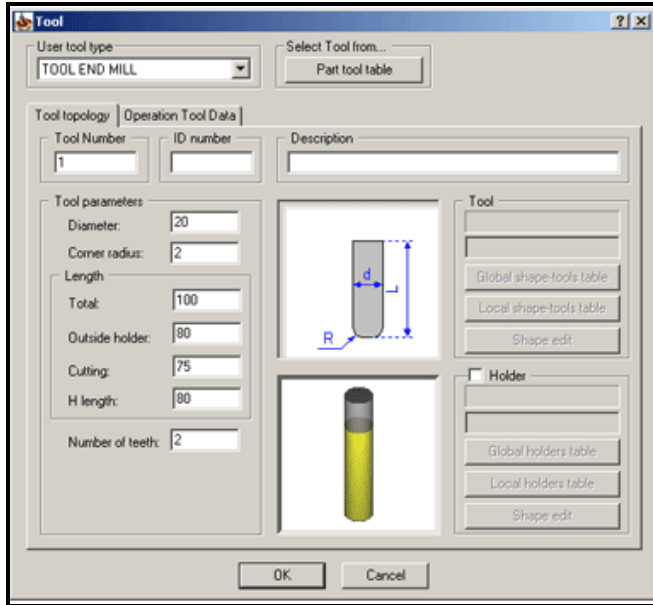
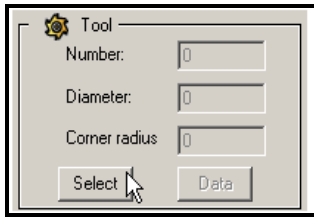
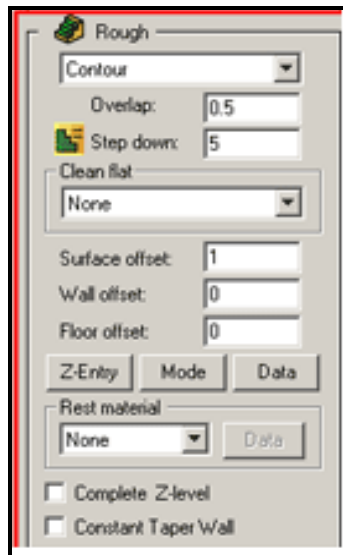


Figura 2.12 Denominación de la Herramienta



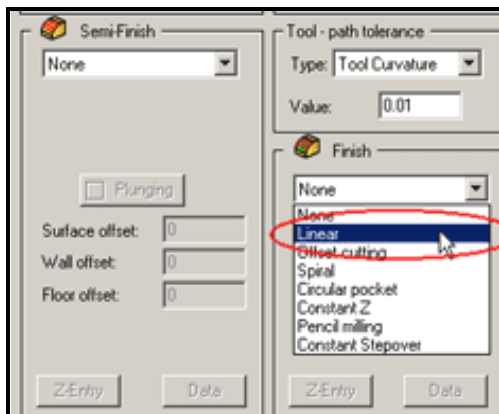
Especificación de Parámetros de Desbaste: Existen los siguientes tipos: Contorno, Barrido y la mezcla de ambos.

Overlap o Solapado: Es un porcentaje de rugosidad de superficie, no puede ser mayor que 1.

Step down o paso de bajada: Indica el valor en Z que debe clavarse por cada vuelta de maquinado.

Surface offset, wall offset y floor offset: Es la tolerancia de piso y pared que se deja para los siguientes procesos de acabado.

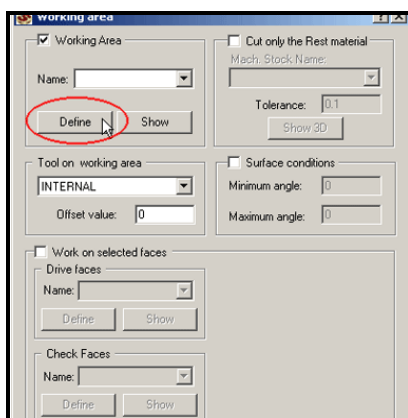
Figura 2.13 Parámetros de desbaste



Especificación de Parámetros de Semi acabado y acabado:

Cajera Circular, Lineal, Espiral, y Z constante son los procesos más comunes.

Figura 2.14 Parámetros de semiacabado y acabado



Definición del Área de Trabajo: La selección del área de trabajo es muy importante ya que se determina el lugar por donde va ir nuestra herramienta, de debe fijar en que esta área es suficientemente amplia para que la herramienta pueda pasar; caso contrario no hará nada.

Figura 2.15 Definición del Área de Trabajo.

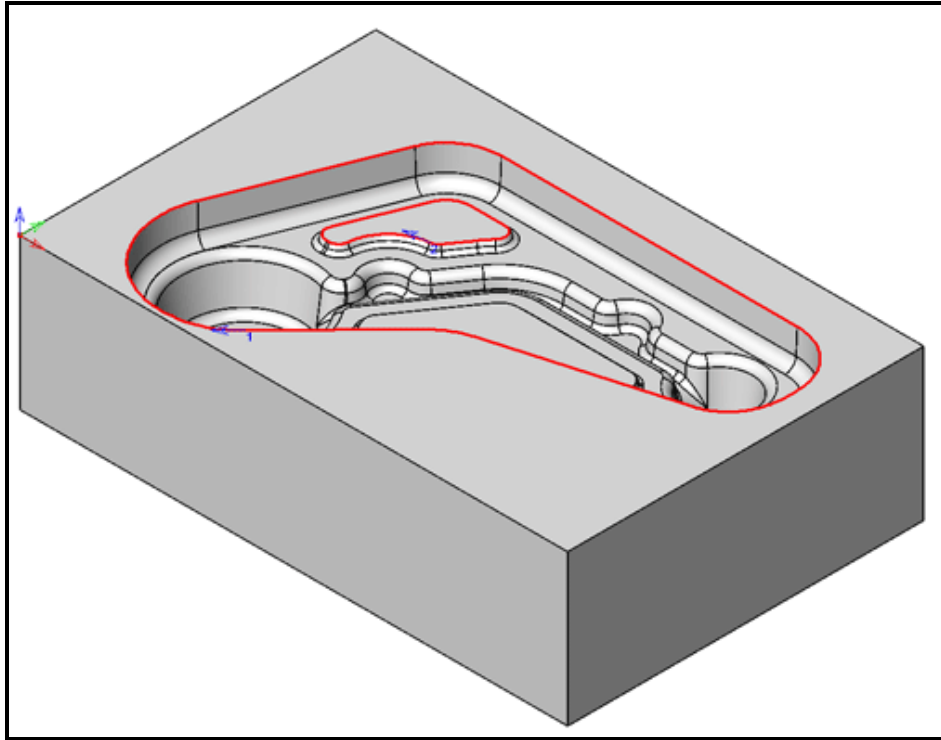


Figura 2.16 Área de Trabajo.

Para definir esta área tenemos las siguientes opciones:

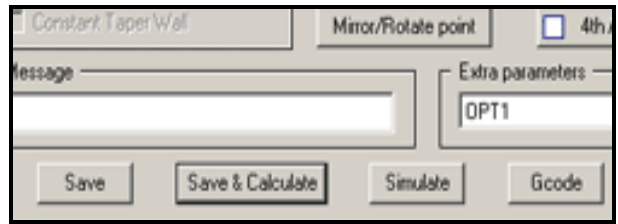
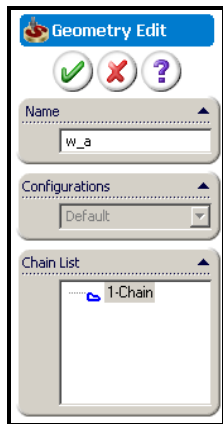
Las opciones son:

- Curva
- Punto a punto
- Arco con puntos

Se selecciona de la siguiente forma:

- Automáticamente
- Auto Z constante
- Auto Delta Z

Figura 2.17 Editar geometría



Se convierte cada contorno en chains o cadenas.

Una vez que se tienen establecidos: área de trabajo, herramienta, procesos y target se procede a guardar y calcular el proceso.

SIMULACIÓN DEL PROCESO

Luego de haber calculado lo anterior se procede a simular para estar seguros de lo que se está haciendo. Además se obtiene tiempos de maquinado y un estimado de la rugosidad de manera casi exacta.

Si se hace clic derecho en cada proceso podemos realizar la simulación:

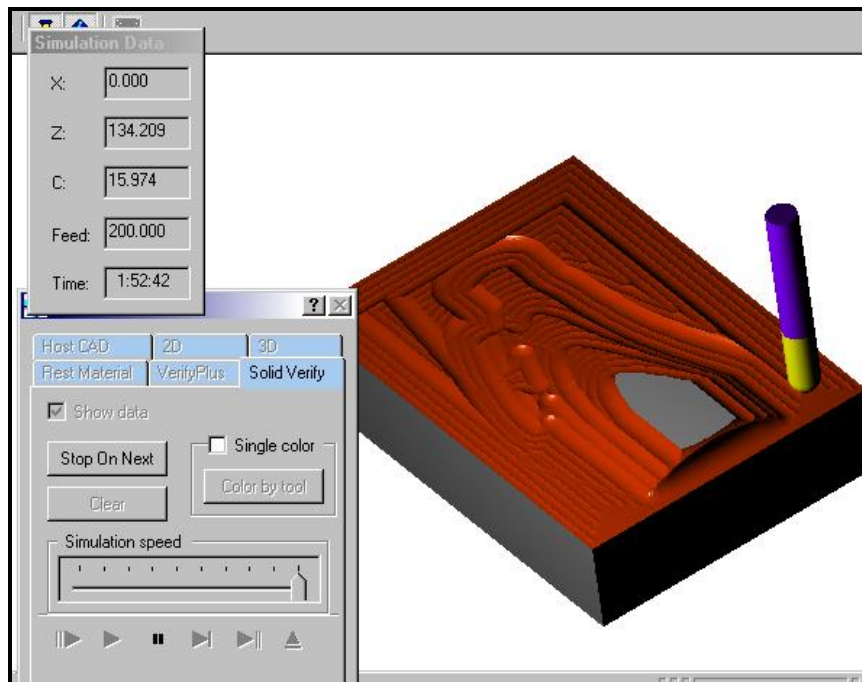


Figura 2.18 Simulación del proceso

2.4 CÓDIGO G Y M

Este código es parte de un lenguaje de programación utilizado en las máquinas de control numérico y centros de mecanizado; el lenguaje mencionado es la programación ISO.

Este sistema usa 2 códigos que agrupan una serie de órdenes y comandos para la ejecución de un programa y estos son:

- Código G
- Código M

CÓDIGO G

El código G esta dividido en 2 grandes grupos:

- *Modales*: El código es efectivo hasta que otro código del mismo grupo sea activado.
- *No Modales*: El código es efectivo solo en el bloque en el cual fue especificado.

A continuación se muestra la tabla que resume el código y su respectiva aplicación:

Tabla 2.1 Resumen del Código G

Código G	Grupo	Función
G00	_01	Posicionamiento
G01		Interpolación Lineal
G02		Interpolación Circular (sentido horario)
G03		Interpolación Circular (sentido antihorario)
G04	_00	Paro exacto, temporización
G05.1		Control avanzado
G07.1		Interpolación cilíndrica
G08		Control previo avanzado
G09		Parada exacta
G10		Ingreso programable de datos
G11		Modo de cancelación de ingreso programable de datos
G15	17	Cancelación de coordenadas polares
G16		Activación de coordenadas polares
G17	_02	Selección del plano XY
G18		Selección del plano XZ
G19		Selección del plano YZ
G20	_06	Entrada en pulgadas
G21		Entrada en milímetros
G27	_00	
G28		Retorno a la posición de referencia
G29		Retorno de la posición de referencia
G30		Retorno a la 2a, 3a y 4a posición de referencia
G31		Función de salto
G33	_01	Activación de corte por hilo
G37	_00	Medición automática de longitud de herramienta
G39		Desplazamiento de esquina en interpolación circular
G40	_07	Cancelación de compensaciones de corte
G41		Compensación de corte izquierda
G42		Compensación de corte derecha
G40.1	19	Modo de cancelación de dirección normal de corte
G41.1		Activación control de dirección de corte en el lado izquierdo
G42.1		Activación control de dirección de corte en el lado derecho
G43	_08	Compensación positiva de longitud de herramienta
G44		Compensación negativa de longitud de herramienta

Fuente: Manual de Operación Leadwell

Tabla 2.1 (Continuación) Resumen del Código G

G45	_00	Incremento de offset de herramienta
G46		Decremento de offset de herramienta
G47		Doble incremento de offset de herramienta
G48		Doble decremento de offset de herramienta
G49	_08	Cancelación de compensación de longitud de herramienta
G50	11	Cancelación de escalamiento
G51		Escalamiento
G50.1	22	Cancelación de imagen programada de espejo
G51.1		Imagen programada de espejo
G52	_00	Seteado del sistema local coordinado
G53		Selección del sistema coordinado de máquina
G54	14	Selección de cero de pieza
G54.1		Selección de sistema adicional de cero de pieza
G55		Selección de 2o sistema de cero de pieza
G56		Selección de 3er sistema de cero de pieza
G57		Selección de 4to sistema de cero de pieza
G58		Selección de 5to sistema de cero de pieza
G59		Selección de 6to sistema de cero de pieza
G60	_00	Dirección individual de posicionamiento
G61	15	Modo exacto de paro
G62		Automática sobremedida de esquina
G63		Activación de modo de roscado
G64		Activación de modo de corte
G65	_00	Llamada de macros
G66	12	Llamada de macros modales
G67		Cancelación de macros modales
G68	16	Rotación coordinada
G69		Cancelación de rotación coordinada
G73	_09	Taladrado rompe viruta
G74		Roscado Izquierda
G75	_01	Ciclo de zambullida (no apto para fresadoras)
G76	_09	Alesado o Mandrinado de Precisión
G77	_01	Dirección constante - dimension plunge grinding cycle (for grinding machine)
G78		Continuo - Avance de superficie grinding cycle (for grinding machine)
G79		Intermitente - Avance de superficie grinding cycle (for grinding machine)

Fuente: Manual de Operación Leadwell

Tabla 2.1 (Continuación) Resumen del Código G

G80	_09	Cancelación de ciclos fijos
G81		Taladrado Normal
G82		Taladrado temporizado en el fondo
G83		Taladrado con desahogo total de viruta
G84		Roscado derecha
G85		Escariado o Rimado
G86		Escariado o Rimado
G87		Cancelación de escariado
G88		Escariado o Rimado
G89		Escariado o Rimado
G90		_03
G91	Coordenadas relativas	
G94	_05	Avance por minuto
G95		Avance por rotación
G96	13	Control de velocidad de constante sobre superficie
G97		Cancelación de control de velocidad de constante sobre superficie
G98	10	Retorno al punto inicial de seguridad
G99		Retorno al punto superior de seguridad

Fuente: Manual de Operación Leadwell

Dada la enorme lista de comandos se explicará el significado y modo de uso de los más importantes que tienen una mayor aplicación en el centro de mecanizado:

G00: Interpolación Lineal. (Avance de posicionamiento)

Formato:

G00 X_Y_Z_

X_Y_Z_: coordenadas del punto de destino

G01: Interpolación Lineal. (Avance de maquinado)

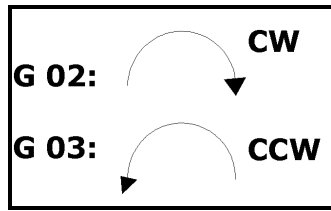
Formato:

G01 X_Y_F_

X_Y_: coordenadas del punto de destino

F_: Avance de corte

G02, G03: Interpolación Circular



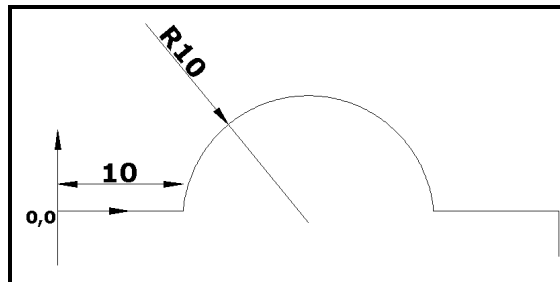
Formato:

G02X_Y_R_

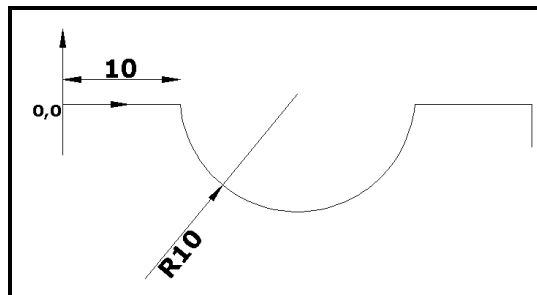
X, Y: Coordenadas del punto final del arco

R: radio del arco

G02 X30 Y0 R10



G03 X30 Y0 R10



G04: Temporización

G04 P4000, 4000 milisegundos es decir 4 segundos.

G04 X300, 300 segundos

G90: Activa coordenadas absolutas

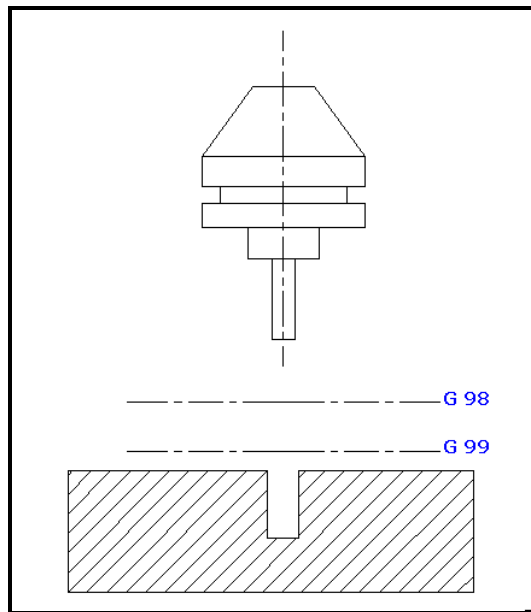
G91: Activa coordenadas relativas (el último punto al que me mueva se convierte en origen (0,0,0) del siguiente).

CICLOS FIJOS

G80: Cancelación de ciclos fijos

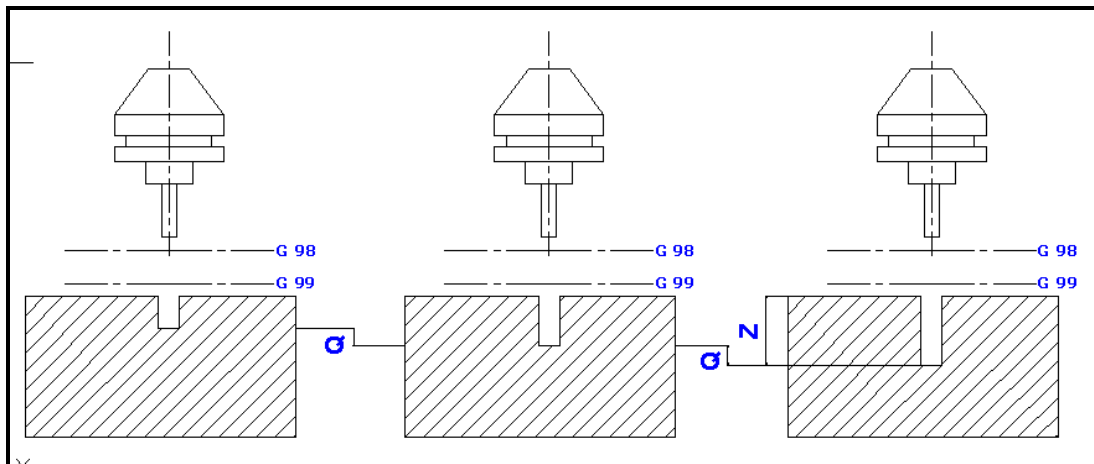
G98: Devuelve la herramienta al plano inicial

G99: La herramienta regresa al plano de retirada



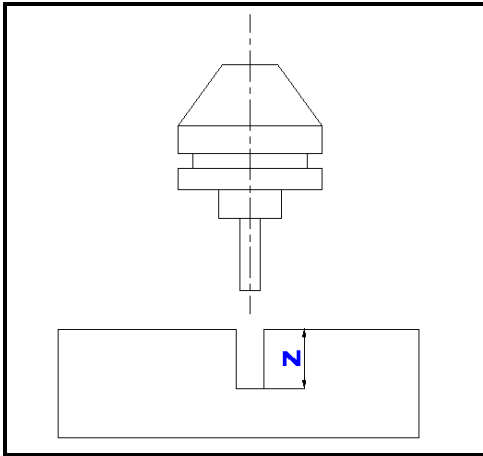
Formato:
 G99 X_Y_Z
 G98 X_Y_Z

G73: Taladro Rompe Viruta



Formato:
 G99/G98 G73 X_Y_Z_Q_F_
 Q: Profundidad por cada pasada
 F: Avance de Corte
 Z: Profundidad total del agujero (debe ser negativa)

G81: Taladro Normal



Formato:

G99/G98 G81 X_Y_Z_F_

F: Avance de Corte

Z: Profundidad total del agujero (debe ser negativa)

G82: Taladro Temporizado en el Fondo

Formato:

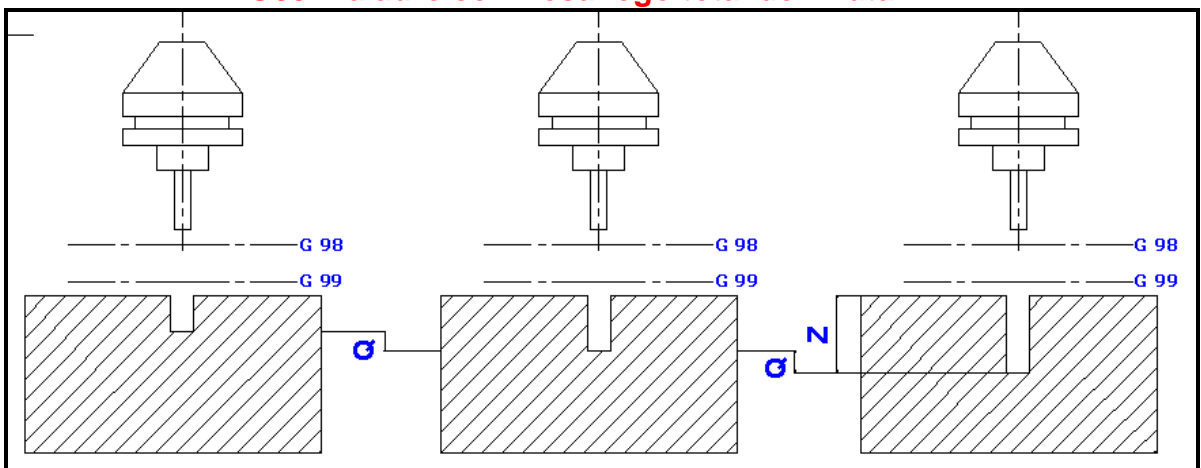
G99/G98 G82 X_Y_Z_P_F_

P: Tiempo en milisegundos

F: Avance de Corte

Z: Profundidad total del agujero (debe ser negativa)

G83: Taladro con Desahogo total de Viruta



Formato:

G99/G98 G83 X_Y_Z_Q_F_

Q: Profundidad por cada pasada, $Q < 3D$, D=diám de herramienta

F: Avance de Corte

Z: Profundidad total del agujero (debe ser negativa)

G84: Roscado derecha

G74: Roscado izquierda

G85: Rimado o Escariado

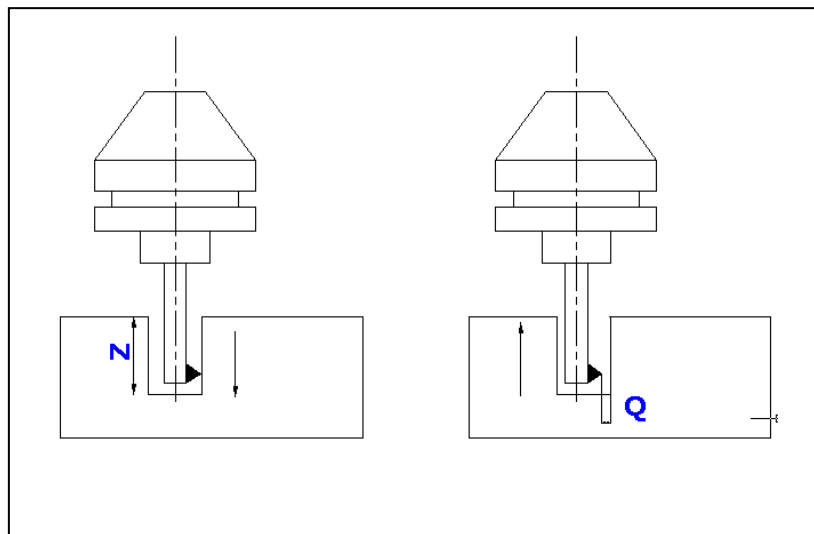
Formato:

G99/G98 G85 X_Y_Z_Q_F_

F: Avance de Corte

Z: Profundidad total del agujero (debe ser negativa)

G76: Alesado o Mandrinado de Precisión



Formato:

G99/G98 G76 X_Y_Z_Q_F_

F: Avance de Corte

Z: Profundidad total del agujero (debe ser negativa)

Q: Distancia a la que se retira la cuchilla para no rayar

CÓDIGO M

Este código es más sencillo que el anterior y está enfocado a órdenes más específicas hacia la máquina. La siguiente tabla muestra los comandos:

Tabla 2.2 Código M

CÓDIGO	FUNCION
M00	Parada de programa
M01	Parada opcional de programa
M02	Fin de Programa

M03	Encendido de Husillo CW
-----	-------------------------

Tabla 2.2 (Continuación) Código M

M04	Encendido de Husillo CCW
M05	Parada de Husillo
M06	Cambio de Herramienta
M07	Activación de refrigerante
M08	Encendido de refrigerante
M09	Apagado de refrigerante
M13	Husillo CW + refrigerante On
M14	Husillo CCW + refrigerante On
M19	Orientación de Husillo
M20	Referenciación de carrusel de herramientas
M21	Giro del Carrusel de Herramienta Derecha
M22	Giro del Carrusel de Herramienta Izquierda
M25	Liberación de cono del husillo
M26	Atrapa cono al husillo
M29	Activa Roscado rígido
M30	Fin de Programa
M40	Activación de 4º eje
M41	Desactivación de 4º eje
M45	Activación de limpiador de viruta
M46	Desactivación de limpiador de viruta
M61	Cancelación de Imagen espejo respecto a eje X
M62	Cancelación de Imagen espejo respecto a eje Y
M64	Cancelación de Imagen espejo respecto a eje Z
M66	Durante cambio de herramienta
M67	Cancela M66
M70	Cancelación total de comandos espejo
M71	Activación de Imagen espejo respecto a eje X
M72	Activación de Imagen espejo respecto a eje Y
M73	Activación de Imagen espejo respecto a eje Z
M74	Activación de Imagen espejo respecto a 4º eje
M98	Llama Sub-Programa
M99	Fin de Sub-Programa

Fuente: Manual de Operación Leadwell

De los cuales los comandos más usados son los siguientes:

Tabla 2.3 Resumen del Código M

M0	Parada Programada
M1	Parada Opcional
M2	Fin de Programa (no se necesita resetear)

M3	Encendido Husillo Sentido Horario
----	-----------------------------------

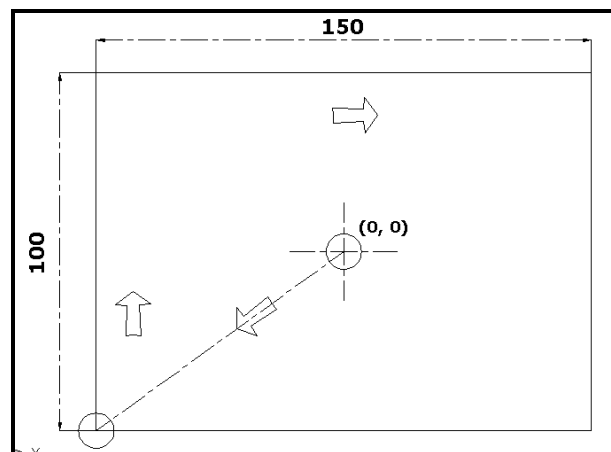
Tabla 2.3 (Continuación) Resumen del Código M

M4	Encendido Husillo Sentido AntiHorario
M5	Parada de Husillo
M6	Cambio de Herramienta
M8	Encendido de Refrigerante
M9	Apaga Refrigerante
M13	Encendido Husillo + Refrigerante (CW)
M14	Encendido Husillo + Refrigerante (CCW)
M29	Actúa Roscado
M30	Fin de Programa
M98	Llama SubPrograma
M99	Fin de SubPrograma

Fuente: Manual de Operación Leadwell

A continuación se presenta ejercicios de programación básica de código G y M:

EJERCICIO 1



O 0001

G00 G91 G21 G17 G40 G49 G80;

M6T3; M3S1000;

G00 G90 G54 X0 Y0;

X-75 Y-50;

G43 H3 Z0;

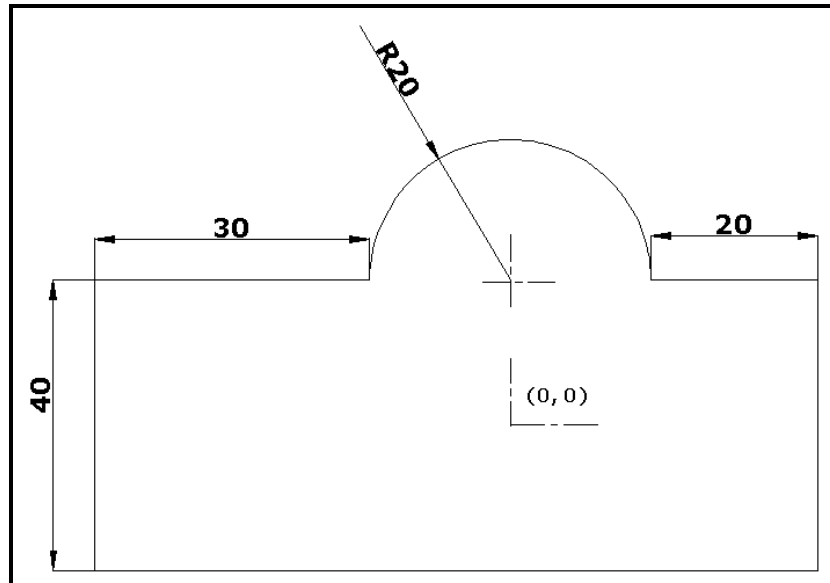
G91 G01 F50 Z-2;

Y100;

X150;

Y-100;
X-150;
G90 G28 Z10;
M30;

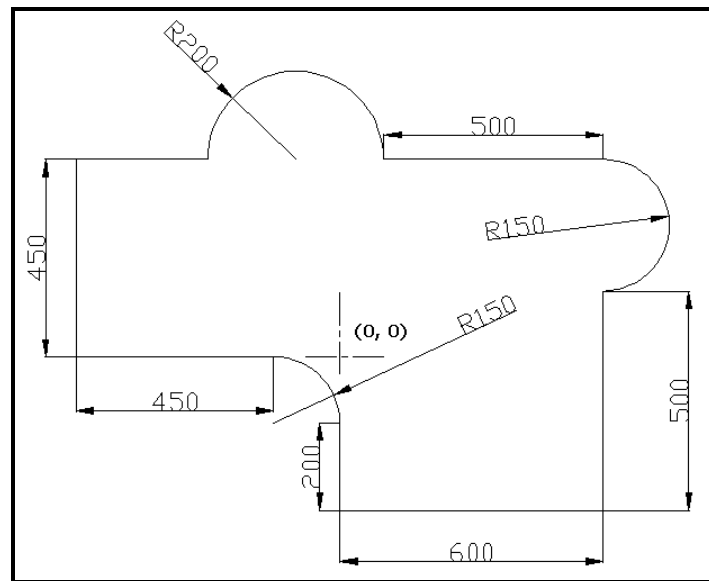
EJERCICIO 2



O 0002

```
G00 G91 G21 G17 G40 G49 G80;  
M6T3; M3S1500;  
G00 G90 G54 X0 Y0;  
G91 X-40Y-20;  
G90 G43H3 Z0;  
G91 G01 F100 Z-2;  
G01 F250 Y40;  
X30;  
G02 X20 R10;  
G01 X20;  
Y-40;  
X-70;  
G28 Z0;  
M30;
```

EJERCICIO 3



O 0003

G00 G91 G21 G17 G40 G49 G80;

M6T2;

G00 G90 G54 X0 Y0;

G91 X-600;

G90 G43H2 Z-2;

G91 G01 F200 Y450;

X300;

G02 X400 R200;

G01 X500;

G02 Y-300 R150;

G01 Y-500;

X-600;

Y200,

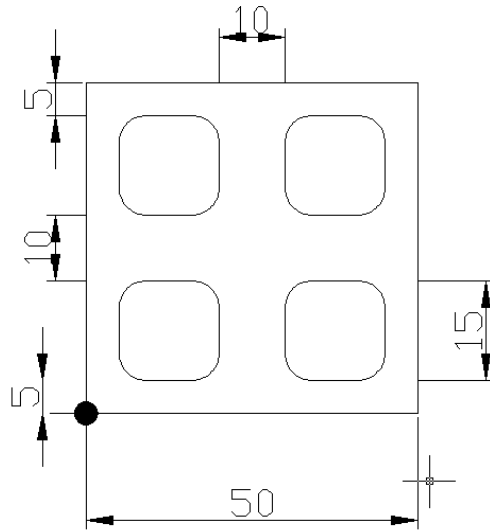
G03 X-150 Y150 R150;

X-450;

G90 G28 Z10;

M30;

EJERCICIO 4 (Sub-Programación)



G00 G91 G21 G17 G40 G49 G80;

M6T2;

G00 G90 G54 X0 Y0;

G43 H2 Z-2;

G91 Y50;

X50;

Y-50;

X-50;

Z10;

X12,5 Y5;

M98 P0050 L1;

Y25;

M98 P0050 L1;

X25;

M98 P0050 L1;

Y-25;

M98 P0050 L1;

Z10;

M30;

Sub Programa:

P0050

G91 X7.5 R4;

Y15 R4;

X-15 R4;

Y-15 R4;

X-7.5;

Z10;

G90;

M99;

2.5 CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL CENTRO DE MECANIZADO

Tabla 2.4 Características Generales del centro de mecanizado

Características Generales	Altura	2430 mm
	Área que ocupa	2100mm x 2721 mm
	Peso	4500 kg
	Controlador	Fanuc Oi-MC
Mesa	Capacidad de Desplazamiento	
	X (mm)	760
	Y (mm)	410
	Z (mm)	410
	Área (mm ²)	890 x 400
Husillo	Max capacidad de Carga	300 kg
	Máx. Velocidad	8000 rpm
	Tamaño Nominal	7/24 Taper #40
	Diámetro	70 mm
Avance	Máx. avance posicionamiento X, Y	20000 mm/min
	Máx. avance posicionamiento Z	15000 mm/min
	Máx. avance de corte	5000 mm/min
Carrusel de Herramientas	Número de herramientas	20
	Máx. Diámetro de cono	95 mm
	Máx. Longitud de herramienta	250 mm
	Tiempo de cambio de herramienta	7,5 s.
Motores	Potencia motor de husillo	7.5 KW o 10 HP
	Potencia motores de avance	1.2 Kw o 1,6 HP
	Requerimiento de potencia	25 KVA

Fuente: Manual LeadWell

2.6 PARTES PRINCIPALES DEL CENTRO DE MECANIZADO

Luego de haber mostrado las características principales de la máquina se describirá a continuación los diferentes sistemas que forman parte del conjunto y estos son:

- Sistema neumático
- Sistema eléctrico
- Sistema hidráulico
- Sistema de lubricación

SISTEMA NEUMÁTICO

Este sistema interviene en el movimiento del carrusel de herramientas para su respectivo giro manual y cambios de herramienta (que es lo más usual). Consta de:

- Compresor de 100 psi
- Unidad de mantenimiento (incluye filtro y lubricador)
- Mangueras
- Carrusel de herramientas

El compresor debe ser purgado diariamente de forma manual previo su encendido; tiene por tanto una pequeña llave en el fondo del tanque para el respectivo desfogue del agua.

La unidad de mantenimiento posee un manómetro el cual debe marcar 70 psi como mínimo, caso contrario se activará una alarma en el controlador que no permitirá el correcto funcionamiento de la máquina. También purga de manera automática el aire antes de ingresar al interior de la máquina.

SISTEMA DE REFRIGERACIÓN

El objetivo de este sistema es contrarrestar el calentamiento que aparece por la fricción entre la herramienta de corte y la materia prima. Este calor varía de acuerdo al tipo de materiales que se usen en el maquinado y los parámetros de corte que estén empleando.

Este es un sistema cerrado ya que hace que el fluido de trabajo circule de manera continua a través de la máquina. Las principales partes del sistema son:

- Bomba
- Tanque de almacenamiento
- Mangueras

El fluido de trabajo es la conocida *taladrina* que es una mezcla de aceite soluble en una proporción de 10 partes de agua con una de aceite. La taladrina debe irse renovando constantemente ya que a pesar de que es un sistema cerrado, se evapora por el calor que produce la fricción mencionada. Además se debe realizar la limpieza total del tanque con renovación de taladrina cada 5 meses aproximadamente (dependiendo de la carga de trabajo que tengamos)

SISTEMA DE LUBRICACIÓN

La lubricación de la máquina es de vital importancia para el buen funcionamiento y duración de la máquina. La mesa y el husillo poseen guías que requieren de aceite para su correcto funcionamiento. Las partes principales son:

- Tanque (capacidad de 500 cc)
- Bomba y Temporizador
- Filtro
- Mangueras

El aceite que se usa es: “*Texaco Way Lubricant # 68*” que es recomendado por el fabricante. Cada vez que se enciende la máquina debemos alimentar manualmente a la máquina de aceite; luego, cuando esté en operación, el temporizador actúa sobre la bomba enviando pulsos de aceite a una presión de 7 kg/ cm² cada 30 minutos. Este tiempo podemos regularlo en un rango de 0 a 60 min, siendo cada pulso equivalente a 6 cc.

SISTEMA ELÉCTRICO

El panel eléctrico ubicado en la parte posterior de la máquina consta de varios PLC's para el control de los diferentes sistemas. Posee de un intercambiador de calor aire – aire y un filtro para mantener frío todos estos

elementos eléctricos que son muy delicados y costosos. Además tiene un transformador de voltaje que cambia el mismo de 220 V a 440 V.

2.7 OPERACIÓN DEL CENTRO DE MECANIZADO

MODOS DE OPERACIÓN

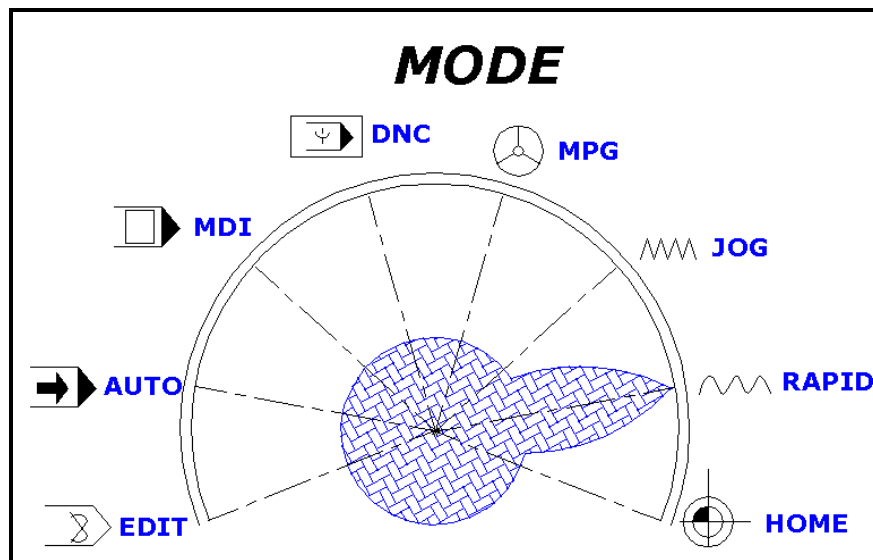


Figura 2.19 Operación de la máquina

a. "HOME" DE MÁQUINA

Este modo se encarga de mover la mesa y el husillo a su posición referencial de máquina. Cuando el operario realiza esta operación obliga a estos elementos a hacer contacto con 6 micro interruptores (uno para cada eje X, Y, Z).

Pasos a seguir:

- Ubique la perilla principal en Modo Home.
- Presione los botones correspondientes a X, Y, Z indicando los ejes en los que va a realizar la referenciación.
- Presione: "Home Start"

La máquina está programada para referenciarse primero en Z, para retirar la herramienta del elemento a maquinar; para luego hacerlo en los ejes X y Y.

Es mandatorio mandar a HOME en las siguientes situaciones:

- Después de haber efectuado una parada de emergencia
- Cuando se enciende la máquina
- Antes y después de correr un programa

b. MODOS MANUALES

a. MODO “JOG”: Realiza movimientos con avances constantes en los 3 ejes que pueden regular la velocidad del movimiento en un rango de 2 a 1260 mm/min.

Pasos a seguir:

- Ubique la perilla principal en Modo “Jog”
- Presione el botón correspondiente al eje que se quiere desplazar sea este X, Y o Z.
- Con las teclas “+” o “-” se realiza el desplazamiento.

Tome en cuenta que solo se puede desplazar un eje a la vez.

b. MODO “RAPID”: Realiza movimientos en los 3 ejes que pueden regular el avance en 4 valores correspondiente a los avances de posicionamiento mm/min.

Pasos a seguir:

- Ubique la perilla principal en Modo “Rapid”
- Presione el botón correspondiente al eje que se quiere desplazar sea este X, Y o Z.
- Con las teclas “+” o “-” se realiza el desplazamiento.

Tome en cuenta que solo se puede desplazar un eje a la vez.

c. MODO “MPG”: Manual Pulse Generator. Realiza movimientos en los 3 ejes usando la perilla manual. Cada pulso es regulable en tres valores: 0.1 mm, 0.01mm, 0.001mm.

Pasos a seguir:

- Ubique la perilla principal en Modo “MPG”

- Presione el botón correspondiente al eje que queremos desplazar sea X, Y o Z.
- Presione a escoger las teclas: “x100”, “x10”, “x1” dependiendo de la velocidad de desplazamiento.
- Gire la perilla en el sentido que desee para realizar el desplazamiento

Tome en cuenta que solo se puede desplazar un eje a la vez.

d. MODO “MDI”: Permite crear programas simples para operaciones básicas tales como:

- Cambio de Herramienta
- Desplazamiento a puntos específicos, etc.

Pasos a seguir:

- Ubique la perilla principal en Modo “MDI”
- En la pantalla Program digite el programa que desee ejecutar
- Presione el botón “Cycle Start” para la ejecución del programa.

c. MODOS AUTOMÁTICOS

a. MODO “DNC”: Sirve para correr programas directamente desde el computador sin necesidad de grabarlos en el controlador. Desecha las líneas del código luego de ejecutarlas.

Pasos a seguir:

- Ubique la perilla principal en Modo “DNC”
- Presione el botón Cycle Start (color verde), y en la pantalla aparecerá: LSK de forma intermitente; lo que indica que esta lista para recibir el código de la computadora.
- En la computadora dentro del software Cimco transmita el programa.

b. MODO “EDIT”: En este modo se puede realizar las siguientes actividades:

- Grabar programas desde la computadora para luego ejecutarlos.
- Editar los códigos grabados en el controlador.

Pasos a seguir:

- Si desea grabar un programa:
 - Ubique la perilla principal en Modo “EDIT”
 - Presione OPRD luego la flecha hacia la derecha
 - Presione Lectura y luego EJEC
 - En la pantalla aparecerá: “LSK” de forma intermitente; lo que indica que esta lista para recibir el código de la computadora.
 - En la computadora dentro del software *Cimco* transmita el programa.

c. MODO “AUTO”: Este modo sirve únicamente para correr programas que están grabados en el controlador.

Pasos a seguir:

- Ubique la perilla principal en Modo “AUTO”
- Presione el botón Cycle Start (color verde), el programa correrá.

OPERACIONES COMUNES EN LA MÁQUINA

DEFINICIÓN DEL ORIGEN DEL MECANIZADO.

Este proceso es de vital importancia para todas las operaciones de mecanizado que se realicen en la máquina.

VER CUADRO 6.8

CENTRADO DE PIEZAS POR DOS CARAS

VER CUADRO 6.9

COMPENSACIÓN DE ALTURAS

VER CUADRO 6.10

CORRIDA DEL PROGRAMA

2.8 MANTENIMIENTO

REVISIÓN DIARIA:

- Verificar que la presión de aire marque 6 Kg/cm.
- Purgar el agua del sistema neumático.
- Revisar el nivel de aceite del lubricador neumático.
- Verificar que la presión del sello neumático del husillo marque 2 Kg/cm.
- Verificar el nivel de aceite de la unidad de lubricación centralizada.
- Antes de iniciar la jornada, bombear manualmente 5 veces el sistema de lubricación centralizada.
- Antes de iniciar el trabajo ejecutar un programa de calentamiento por 15 minutos, donde se muevan todos los ejes y se precaliente el husillo subiendo la velocidad poco a poco S 1000, S2000, S3000, S4000 rpm, sobretodo si se va a trabajar a altas rpm.
- Verificar el funcionamiento del intercambiador de aire de la cabina eléctrica.
- Limpiar con aire comprimido el filtro de este intercambiador.
- Retirar las virutas de la bandeja de virutas.
- Verificar el nivel de refrigerante.
- Retirar las impurezas flotantes del refrigerante.
- Las guardas telescópicas deben estar libres de virutas.

REVISIÓN SEMANAL:

- Lavar con agua el filtro de malla negra del intercambiador de aire de la cabina eléctrica y colocarlo después de secarlo.
- Limpiar el interior del cono del husillo.
- Lubricar las guardas telescópicas con aceite hidráulico delgado.

REVISIÓN SEMESTRAL:

- Limpiar el tanque de refrigerante.

- Engrasar el mecanismo de cruz de malta del magazín de cambio de herramientas.
- Verificar la nivelación de la máquina.
- Limpiar y engrasar la cadena del cabezal.

REVISIÓN ANUAL:

- Desmontar el recipiente del sistema de lubricación, limpiarlo y cambiar el aceite. Cambiar el filtro de línea, y limpiar los filtros de llenado y de succión.
- Desmontar las guardas telescópicas y limpiar las guías lineales y tornillos de bolas, verificar que la lubricación llegue a estos. Lubricar las guardas con aceite hidráulico delgado.
- Realizar limpieza general de la máquina interior y exterior.
- Cambiar el filtro de malla negra del intercambiador de aire de la cabina eléctrica. Limpiar los ventiladores de este sistema.
- Desmontar y limpiar los vasos de purga y el lubricador del sistema neumático.
- Desmontar la bomba de refrigerante desarmarla y limpiarla.
- Desmontar y limpiar el ventilador del motor del husillo. Verificar la tensión de la correa del husillo.
- Limpiar el tanque de refrigerante.
- Ajustar y limpiar micro switch de referencia y emergencia.
- Verificar la nivelación de la máquina.
- Limpiar y engrasar la cadena del cabezal.
- Cambiar las pilas del control con la máquina encendida.
- Limpiar la cabina eléctrica. Ajustar borneras y conectores eléctricos. Verificar el funcionamiento de los ventiladores de las tarjetas electrónicas.
- Revisar el comportamiento de los pistones y válvulas del sistema de cambio de herramientas. Eliminar golpes fuertes.
- Calibrar la altura de cambio de herramienta si es necesario (que el magazín coja la herramienta sin forzarse demasiado).

- Calibrar la orientación del husillo para el cambio de herramienta si es necesario.
- Calibrar la precisión de los ejes X, Y, Z (calibrar Backlash).

CAPÍTULO 3

PARÁMETROS DE MAQUINADO Y HERRAMIENTAS

3.1 PARÁMETROS DE MAQUINADO

INTRODUCCIÓN

El parámetro básico de corte es conocido como: “ECT” que quiere decir Equivalent Chip Thickness el cual simplifica las predicciones de velocidades, avances y vida de la herramienta; además del cálculo de fuerzas de corte, torque y potencia requeridos.

ECT es un parámetro básico de corte que combina:

- Profundidad de corte
- Avance por revolución
- Ángulo de la cuchilla
- Número de dientes
- Ancho del corte
- Diámetro de la herramienta

Este concepto fue presentado por primera vez en 1931 por el profesor R. Woxen quien mostró que el ECT es un parámetro básico de corte para herramientas que trabajan a alta velocidad. Este parámetro es más usado en lo referente al torneado.

PARÁMETROS DE FRESADO

El parámetro básico para corte en el fresado es el avance por diente, el cual es medido en pulgadas por diente. Existen muchos factores a considerar en la selección del avance por diente y no existe una fórmula capaz de resolver estos factores. Entre los factores a considerar están:

- Material de herramienta
- Material de la pieza a maquinar y su dureza

- Ancho y profundidad de corte
- Tipo de fresa y diámetro
- Tipo de acabado que deseamos alcanzar

La meta será siempre usar el máximo avance que nos permita las condiciones de trabajo en la que se encuentre, para así reducir horas de maquinado que se traducen en costos de producción. Se evita en lo posible usar avances menores al 0,001 pulgadas por diente ya que avances bajos reducen la vida de la herramienta. El fresado con materiales duros y herramientas de diámetros pequeños requerirán avances pequeños; pero por otro lado se sube el avance en lo máximo posible para herramientas de diámetros grandes. El ancho y profundidad de corte también afectarán los avances; un avance lento resultará una mejor superficie final o rugosidad. Virutas finas son producidas por finos avances y son peligrosas en el fresado con magnesio debido a una espontánea combustión que podría ocurrir.

Las herramientas de carburo metálico requieren por lo general altas potencias de maquinado y de darse el caso en que se deba reducir el tamaño de corte para poder estar dentro de la capacidad de potencia de la máquina se debe iniciar reduciendo la velocidad de corte antes de reducir el avance en pulgadas por diente.

Fórmulas

Las velocidades de corte son usualmente dadas en metros por minuto y estas deben ser convertidas en velocidades de husillo (rpm) para operar la máquina:

$$N = \frac{1000 * V}{\pi * D}$$

Ecuación 3.1

$$N = 318.3 * \frac{V}{D} (rpm)$$

V: velocidad de corte en m/min
D: diámetro de la herramienta (mm)

O en el sistema americano:

$$N = \frac{12 * V}{\pi * D}$$

Ecuación 3.2

$$N = 3.82 * \frac{V}{D} (rpm)$$

V: velocidad de corte en pies/min
D: diámetro de la herramienta (pulg)

La fórmula para calcular los ratings de avance cuando el avance es en pulgadas por diente es conocido por la siguiente ecuación:

$$f_m = f_t * n_t * N \quad \text{Ecuación 3.3}$$

donde:

f_m : avance en pulgadas por minuto (ipm)

f_t : avance en pulgadas por diente (ipt)

n_t : # de dientes de la herramienta

N : # de revoluciones por minuto del husillo (rpm)

Ejemplo: Calcule la velocidad de corte en m/min de una herramienta de diámetro 19 mm y una velocidad de husillo de 400 rpm:

$$N = \frac{1000 * V}{\pi * D}$$

$$N = 318.3 * \frac{V}{D} (rpm)$$

de donde:

$$V = \frac{D * \pi * N}{1000}$$

$$V = \frac{19mm * \pi * 400rpm}{1000}$$

$$V = 23.94(m / \text{min})$$

POTENCIA DE CORTE

Este parámetro es de vital importancia para el momento en que se desea comprar una máquina.

La unidad de medida acostumbrada es el HP (horse power: caballo de fuerza) en el sistema americano y en el sistema internacional "SI" es el KW (kilowatt). Este valor requerido depende del índice al cual el material está siendo cortado y experimentalmente se ha determinado la constante de potencia K_p la cual es llamada unidad de cabalaje o poder específico de consumo.

Esta constante es igual a: la potencia en KiloWatts requerida para cortar un material a un índice de $1 \text{ cm}^3/s$ o la potencia en HP para un material a un índice

de $1 \text{ in}^3/\text{min}$ Si se desea en el sistema americano de debe dividir la constante en Kw para 2.73.

Tabla 3.1 Constante de Potencia kp

CONSTANTE DE POTENCIA kp			
Material	Dureza Brinell	kp (SA)	kp (SI)
Aceros al carbono			
Todos los aceros al carbono	80-100	0,63	1,72
	100-120	0,66	1,8
	120-140	0,69	1,88
	140-160	0,74	2,02
	160-180	0,78	2,13
	180-200	0,82	2,24
	200-220	0,85	2,32
	220-240	0,89	2,43
	240-260	0,92	2,51
	260-280	0,95	2,59
	280-300	1	2,73
	300-320	1,03	2,81
	320-340	1,06	2,89
340-360	1,14	3,11	
Aceros de maquinado libre			
AISI 1108, 1109, 1110, 1115, 1116, 1117, 1118, 1119, 1120, 1125, 1126, 1132	100-120	0,41	1,12
	120-140	0,42	1,15
	140-160	0,44	1,2
	160-180	0,48	1,31
	180-200	0,5	1,36
AISI 1137, 1138, 1139, 1140, 1141, 1144, 1145, 1146, 1148, 1151	180-200	0,51	1,39
	200-220	0,55	1,5
	220-240	0,57	1,56
	240-260	0,62	1,69
Aleaciones de acero			
AISI 4023, 4024, 4027, 4028, 4032, 4037, 4042, 4047, 4137, 4140, 4142, 4145, 4147, 4150, 4340, 4640, 4815, 4817, 4820, 5130, 5132, 5135, 5140, 5145, 5150, 6118, 6150, 8637, 8640, 8642, 8645, 8650, 8740	140-160	0,62	1,69
	160-180	0,65	1,77
	180-200	0,69	1,88
	200-220	0,72	1,97
	220-240	0,76	2,07
	240-260	0,8	2,18
	260-280	0,84	2,29
	280-300	0,87	2,38
	300-320	0,91	2,48
	320-340	0,96	2,62
	340-360	1	2,73
AISI 4130, 4320, 4615, 4620, 4626, 5120, 8615, 8617, 8620, 8622, 8625, 8630, 8720	140-160	0,56	1,53
	160-180	0,59	1,61
	180-200	0,62	1,69
	200-220	0,65	1,77
	220-240	0,7	1,91
240-260	0,74	2,02	

	260-280	0,77	2,1
	280-300	0,8	2,18
	300-320	0,83	2,27
	320-340	0,89	2,43

Tabla 3.1(Continuación) Constante de Potencia kp

AISI 1330, 1335, 1340, E52100	160-180	0,79	2,16
	180-200	0,83	2,27
	200-220	0,87	2,38
	220-240	0,91	2,48
	240-260	0,95	2,59
	260-280	1	2,73

Fuente: HandBook`s Manual 26th Edition

*SA: Sistema americano: HP *SI: Sistema Internacional KW

Este valor de la constante de corte esencialmente NO es afectado por los siguientes parámetros:

- Velocidad de corte (Vc)
- Profundidad de corte
- Material de la herramienta de corte.

Los factores que SI afectan a esta constante son:

- Dureza y micro estructura del material
- Índice de avance por diente
- Ángulo de filo de la herramienta
- Rugosidad de la superficie a cortar (se relaciona con posibles impactos por la irregularidad de la superficie)

El factor C, es el factor de ajuste de la constante de potencia de acuerdo al índice de avance por diente.

Tabla 3.2 Valores de C de acuerdo al avance por diente

FACTOR DE AVANCE C PARA LA CONSTANTE DE POTENCIA							
Sistema Americano (in/diente)				Sistema Internacional (mm/diente)			
avance in.	C	avance in.	C	avance mm.	C	avance mm.	C
0,001	1,6	0,014	0,97	0,02	1,7	0,35	0,97
0,002	1,4	0,015	0,96	0,05	1,4	0,38	0,95
0,003	1,3	0,016	0,94	0,07	1,3	0,4	0,94
0,004	1,25	0,018	0,92	0,1	1,25	0,45	0,92
0,005	1,19	0,02	0,9	0,12	1,2	0,5	0,9
0,006	1,15	0,022	0,88	0,15	1,15	0,55	0,88
0,007	1,11	0,025	0,86	0,18	1,11	0,6	0,87
0,008	1,08	0,028	0,84	0,2	1,08	0,7	0,84

0,009	1,06	0,03	0,83	0,22	1,06	0,75	0,83
0,01	1,04	0,032	0,82	0,25	1,04	0,8	0,82
0,011	1,02	0,035	0,8	0,28	1,01	0,9	0,8
0,012	1	0,04	0,78	0,3	1	1	0,78
0,013	0,98	0,06	0,72	0,33	0,98	1,5	0,72

Fuente: HandBook`s Manual 26th Edition

La herramienta de la maquina transmite la potencia desde el motor a la pieza de trabajo, donde esta es utilizada para cortar el material. La eficiencia de esta transmisión es medida por el factor de eficiencia de la máquina herramienta E . La siguiente tabla muestra los valores para E .

Tabla 3.3 Factores de eficiencia de las máquinas herramientas

FACTOR DE EFICIENCIA DE LA MAQUINA HERRAMIENTA (E)			
Tipo de sistema	E	Tipo de sistemas	E
Sistema de correas	0,9	Sistema de piñones	0,70-0,80
Sistema de piñones posteriores	0,75	Sistema hidráulico	0,60-0,90

Fuente: HandBook`s Manual 26th Edition

Los valores promedios de estos factores están dados en la siguiente tabla para el factor de uso de la herramienta.

Tabla 3.4 Factores de uso de herramienta

FACTOR DE USO DE HERRAMIENTA	
Tipo de Operación	W
Para todas las operaciones con herramientas de corte afiladas	1
Fresado:	
Fresado de desbaste	1,1
Fresado de acabado	1,1
Planeado de carga ligera y media	1,10-1,25
Planeado de carga extra pesada	1,30-1,60

Fuente: HandBook`s Manual 26th Edition

Las formulas para calcular la proporción de remoción de material maquinado (Q) en el fresado es la siguiente:

Tabla 3.5 Formulas para Q

Operación	Proporción de Remoción de Material	
	SA: $Q = \text{in}^3/\text{min}$	SI: cm^3/s

Fresado	$f_m w d$	$f_m w d / 60.000$
---------	-----------	--------------------

Fuente: HandBook`s Manual 26th Edition

Donde: f_m : avance; in./min. o mm/min
 w : ancho de corte; in. o mm.
 d : profundidad de corte; in., o mm

La formula que se presenta a continuación conjuga todos los factores dados en las tablas anteriores para calcular la potencia que se ejerce en la herramienta de corte y la potencia que entrega la maquina para realizar el trabajo.

$$P_c = K_p C Q W \quad \text{Ecuación 3.4}$$

$$P_m = \frac{P_c}{E} = \frac{K_p C Q W}{E} \quad \text{Ecuación 3.5}$$

Donde:

P_c = potencia en la herramienta de corte; hp o kW

P_m = potencia en el motor; hp o kW

K_p = constante de potencia (tabla 3.1)

Q = proporción de remoción de material; in.³/min o cm³/s (tabla 3.5)

C = factor de avance para la constante de potencia (tabla 3.2)

W = factor de uso de la herramienta (tabla 3.4)

E = factor de eficiencia de la máquina herramienta (tabla 3.3)

Ejemplo: Un acero AISI 8640 (160-180 Bhn), tiene 6 pulgadas de ancho y sobremedida de 1/8 de espesor se trabaja en una maquina de 10 hp, se utiliza una herramienta de insertos de carburo de 8 pulgadas de diámetro y 10 dientes. El avance seleccionado para el corte es 0.012 in/diente, toda la sobremedida (0.125 in) puede ser removido de un solo corte. Estimar la velocidad de corte que puede ser utilizada para disponer de la potencia máxima en la máquina. Se realizara un fresado de cara o planeado.

$$K_p = 0.59 \text{ (tabla 3.1)}$$

$$C = 1.00 \text{ (tabla 3.2)}$$

$$W = 1.20 \text{ (tabla 3.4)}$$

$$E = 0.80 \text{ (tabla 3.3)}$$

$$Q_{\max} = \frac{P_m E}{K_p C W} = \frac{10 * 0.80}{0.59 * 1.00 * 1.20} = 11.30 (\text{in}^3 / \text{min})$$

$$f_m = \frac{Q_{\max}}{wd} = \frac{11.30}{6 * 0.125} = 15.1 (\text{in} / \text{min})$$

$$N = \frac{f_{\max}}{f_t n_t} = \frac{15.1}{0.012 * 10} = 125.8 (\text{rpm})$$

$$V = \frac{\pi D N}{12} = \frac{\pi * 8 * 125.8}{12} = 263.5 (\text{fpm})$$

Siempre es posible disponer de la potencia máxima en una máquina herramienta y debe usarse cuando se requieren cortes pesados. Las condiciones de corte para utilizar la potencia máxima debería ser seleccionada en el siguiente orden:

- o Seleccionar la máxima profundidad de corte que puede ser usada;
- o Seleccionar el máximo avance que puede ser usado;
- o Estimar la velocidad de corte que puede ser utilizada para disponer de la potencia máxima en la máquina.

La vida de la herramienta de corte es mas afectada por la velocidad de corte, que por el avance, y menos por la profundidad de corte.

Esta secuencia se basa en obtener una vida de la herramienta mas prolongada y al mismo tiempo obtener una alta producción como sea posible en la máquina.

3.2 TIPOS DE HERRAMIENTAS EN EL FRESADO

Tabla 3.6 Clasificación de Herramientas de Fresado



Denominación de la fresa	Fresas para chaveteros						Fresado frontal de acabado							Minifresas	
DIN	WN		327								844				WN
Tipo de fresa	W	N	N	N	N	W	N	N	N	N	N	N	W	W	N
Material de Corte	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-PM	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-PM	HSS-Co8	HSS-Co10	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8 PM	
Nº de dientes de corte	1	2	2	2	2	2	3	3	3	3	3	3	3	3	
Recubrimiento	TiAIN		TiAIN	TiAIN				TiAIN	TiAIN					TiAIN	
Rango de tamaño	3-10	1-40	2-20	2-20	2-40	2-32	1,5-32	2-25	2-25	3-30	6-20	3-32	6-30	1-20	
Grupo de material															
Aceros de construcción, cementación y nitrurados hasta 700 N/mm ²	o	o	o	o	o	X	o	o	o	o	o	o	x	x	o
Aceros bonificados y de herramientas hasta 1000 N/mm ²		o	o	o	o		o	o	o	o	o			o	
Aceros aleados hasta 1400 N/mm ²			o	o				o	o						
Aceros de buena maquinabilidad hasta 700 N/mm ²			o	o				o	o		o				
Aceros de difícil maquinabilidad hasta 1000 N/mm ²			x	o				x	o		x				
Aceros de difícil maquinabilidad aleados de Ni/Ti				x					x						
Fundición gris hasta 200 HB		x	o	o	x			o	o	x	o			x	
Fundición gris superior a 200 HB			x	o				x	o		x				
Fundición de aluminio hasta 6% Si	o	o	o	o	o	O		o	o	o		o	o	o	

Fuente: UNCETA, Herramientas de Calidad.

Tabla 3.6 (continuación) Clasificación de Herramientas de Fresado

Fundición de aluminio de más de 6% Si				x		X			x			x	x	
Acero templado hasta 67 HRC														
Grafito y materiales GFK														

Fuente: UNCETA, Herramientas de Calidad.

Tabla 3.7 Clasificación de Herramientas de Fresado



Denom. de la fresa	Fresa de mango para acabado									Fresas de desbaste y acabado							
	DIN		844		327		844		WN				844				
T. de fresa	N	N	N	N	N	N	H	N	N	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF	NF
Material de Corte	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-PM	HSS-Co8	HSS-PM	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co5	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-PM	HSS-PM
Nº de dientes de corte	4-6	4-6	4-6	5-7	4	4	5-8	5	6-8	3	3	3	4-6	4-6	4-6	4-6	4-6
Recubrimiento		TiAIN	TiAIN		TiAIN	TiAIN					TiAIN			TiAIN	TiAIN	TiAIN	
Rango de tamaño	2-40	3-25	3-25	5-40	6-25	6-20	3-20	6-20	30-50	6-36	6-30	8-40	6-40	6-32	4-30	4-30	
Grupo de material																	
Aceros de construcción, cementación y nitrurados hasta 700 N/mm ²	o	o	o	o	o	o		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o

Fuente: UNCETA, Herramientas de Calidad.

Tabla 3.7 (continuación) Clasificación de Herramientas de Fresado

Aceros bonificados y de herramientas hasta 1000 N/mm ²	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o
Aceros aleados hasta 1400 N/mm ²		o	o		o	o	o				o				o	o
Aceros de buena maquinabilidad hasta 700 N/mm ²		o	o		o	o					o				o	o
Aceros de difícil maquinabilidad hasta 1000 N/mm ²		x	o		o	x					x				o	o
Aceros de difícil maquinabilidad aleados de Ni/Ti			x		x										x	x
Fundición gris hasta 200 HB		o	o	x	o	o	o	x	x	x	o	x	x	x	o	o
Fundición gris superior a 200 HB		x	o		o	x	o				x				o	o
Fundición de aluminio hasta 6% Si		o	o	o	o	o		o	o	o	x	o	x	x	o	o
Fundición de aluminio de más de 6% Si			x		x		x								x	x
Acero templado hasta 67 HRC																
Grafito y materiales GFK							x									

Fuente: UNCETA, Herramientas de Calidad.

Tabla 3.8 Clasificación de Herramientas de Fresado



Denominación de la fresa	Fresa de desgaste y acabado		Fresas para acabado														
DIN	844		844														
Tipo de fresa	NF	NF	NR	NR	NR	WR	WR	WR	WR	WR	WR	NR	NR	NR	NR	HR	HR
Material de Corte	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-PM	HSS-Co8	HSS-PM	HSS-Co8	HSS-PM	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8
Nº de dientes de corte	4-6	4-6	3	3	3	3	3	3	3	3	3	4-6	4-6	4-6	4-6	3-5	3-5
Recubrimiento				TiAIN								TiAIN		TiAIN			TiAIN
Rango de tamaño (mm)	6-40	6-32	6-40	6-30	6-40	6-30	10-20	6-30	10-30	10-30	10-30	6-40	6-32	6-40	10-32	6-25	4-30
Grupo de material																	
Aceros de construcción, cementación y nitrurados hasta 700 N/mm ²	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o		
Aceros bonificados y de herramientas hasta 1000 N/mm ²	o	o	o	o	o							o	o	o	o	o	o
Aceros aleados hasta 1400 N/mm ²				o								o		o	x	o	
Aceros de buena maquinabilidad hasta 700 N/mm ²				o								o		o	x	o	
Aceros de difícil maquinabilidad hasta 1000 N/mm ²				x								x		x		x	
Aceros de difícil maquinabilidad aleados de Ni/Ti																	

Fuente: UNCETA, Herramientas de Calidad.

Tabla 3.8 (continuación) Clasificación de Herramientas de Fresado

Fundición gris hasta 200 HB	x	x		o								o		o	x	x
Fundición gris superior a 200 HB				x								x		x		
Fundición de aluminio hasta 6% Si	x	x		o		o	o	o	o	o		o		x		
Fundición de aluminio de más de 6% Si						x	x	o	x	o						
Acero templado hasta 67 HRC																
Grafito y materiales GFK																

Fuente: UNCETA, Herramientas de Calidad

Tabla 3.9 Clasificación de Herramientas de Fresado



Denominación de la fresa	Fresa para acabado					Fresas de forma	Fresa de radios								Mango cónico	
DIN	844					WN	WN								844	845
Tipo de fresa	HR	HR	HR	HR	NR			N	N	N	N	N	NR	HR	N/NR	
Material de Corte	HSS-PM	HSS-PM	HSS-PM	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co5	HSS-Co5	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co8	HSS-Co5/8	
Nº de dientes de corte	4-6	4	4-5	4	5-6	6-14	4-6	2	2	2	2	2-3	3-5	3-4	4-6	
Recubrimiento	TiAIN	TiAIN	TiAIN	TiAIN					TiAIN			TiAIN		TiAIN		
Rango de tamaño (mm)	4-32	10-20	10-30	6-20	30-50	10,5-45,5	1-16	2-32	3-20	3-32	3-32	2-6	8-40	8-25	12-40	
Grupo de material																
Aceros de construcción, cementación y nitrurados hasta 700 N/mm ²	x	x	x		o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	o	
Aceros bonificados y de herramientas hasta 1000 N/mm ²	o	o	o	o	o	x	x	o	o	o	o	o	o	o	o	

Fuente: UNCETA, Herramientas de Calidad.

Tabla 3.9 (continuación) Clasificación de Herramientas de Fresado

Aceros aleados hasta 1400 N/mm ²	o	o	o	o		x	x		o		o	o		o	
Aceros de buena maquinabilidad hasta 700 N/mm ²	o	o	o	o		x	x		o		o	o		o	
Aceros de difícil maquinabilidad hasta 1000 N/mm ²	o	o	o	x		x	x		x		x	x		x	
Aceros de difícil maquinabilidad aleados de Ni/Ti	x	x	x												
Fundición gris hasta 200 HB	x	x	x	x		x	x		o		o	o		o	
Fundición gris superior a 200 HB									x		x	x		x	
Fundición de aluminio hasta 6% Si						x	x		o		o	o		o	
Fundición de aluminio de más de 6% Si															
Acero templado hasta 67 HRC															
Grafito y materiales GFK															

Fuente: UNCETA, Herramientas de Calidad

Platos de cuchillas con plaquitas de vidia o metal duro (carburo).

Tabla 3.10 Clasificación de Herramientas de Fresado (CARBURO).

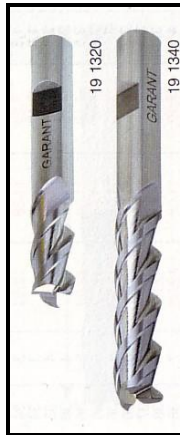
Detalle	Tipo de aplicación	Detalle	Tipo de aplicación
	Fresa de escuadrar 90°		75° Fresa de planear
	Fresa de alto rendimiento		43° Fresa de planear
	Fresa de alto rendimiento		45° Fresa de planear
	Mandrinador		45° Fresa de planear
	Fresa helicoidal para aluminio + metales no férricos		45° Fresa de planear universal, cortes múltiples
	Fresa de escuadrar 90°		Fresas de copiar y planear

Fuente: UNCETA, Herramientas de Calidad.

3.3 HERRAMIENTAS PARA FRESADO EN AEROTECNOLOGÍA

Las herramientas que se va a presentar a continuación son aquellas con las cuales se desempeña el centro de mecanizado.

Las herramientas para el centro de mecanizado LEADWELL V-30 son las siguientes:



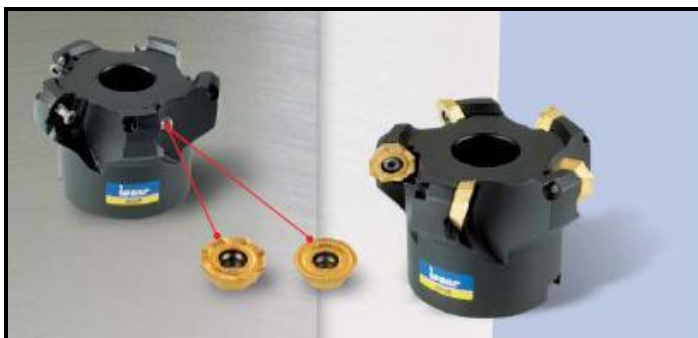
Herramientas de HSS, diámetros de 8 mm y 12 mm con 4 filos cortantes

Figura 3.2 Herramientas HSS



Fresa frontal de carburo. Diámetro 16 mm y cuatro filos de corte

Figura 3.3 Fresa frontal de carburo



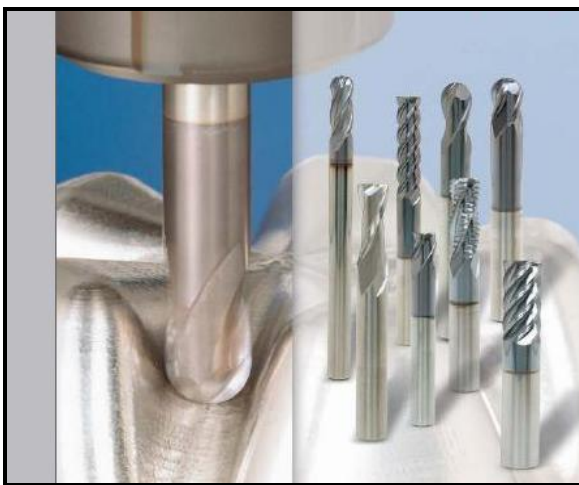
Plato de pastillas de vidia para planeado

Figura 3.4Plato con pastillas de vidia



Herramienta HSS de 8 mm de diámetros.

Figura 3.5 Herramienta HSS



Herramientas de carburo diámetro 18 mm redonda de 4 filos cortantes.
Herramientas de carburo diámetro 10, 12 mm planas de 4 filos cortantes.
Butil HSS de 2 filos diámetro 12 mm.

Figura 3.6 Varias herramientas de carburo



Palpador para centrado de piezas.

Figura 3.7 Palpador de centrado

Nota: Fotos de las herramientas del Centro de Mecanizado Leadwell V30.

3.4 COSTOS DE MAQUINADO

El conocer los costos de maquinado de la industria metalmecánica ecuatoriana es de vital importancia para poder entender el porque se desea mejorar los procesos de mecanizado. En los últimos años, con el implantamiento de la dolarización, en el Ecuador que se ha reflejado en el aumento de las facilidades de acceder a un crédito la compra de maquinaria nueva y usada ha aumentado de manera considerable. Este aumento es comparable con el aumento de las ventas en la industria automotriz, por lo que existe mucha competitividad lo que ha provocado una reducción en los costos de hora de alquiler de maquinaria.

Se realizó la respectiva investigación de los costos hora por máquina en las diferentes empresas y talleres de matricería de Quito obteniendo lo siguiente:

Tabla 3.11 Costos de maquinado

Máquina:	Costo Hora (promedio)
Torno	\$ 9
Fresadora Universal	\$ 9
Rectificadora plana	\$ 8
Rectificadora cilíndrica	\$ 13
Erosión > 30 A	\$ 13
Erosión < 20 A	\$ 8
Cepillo	\$ 7
Centro de mecanizado	\$ 25

Fuente: Aerotecnología, Mecánica Industrial Castillo, STI.

CAPÍTULO 4

CÁLCULO DE PARÁMETROS DE CORTE

4.1 ACERO.

El acero es una aleación de hierro que contiene entre un 0,04 y un 2,25% de carbono y a la que se añaden elementos como níquel, cromo, manganeso, silicio o vanadio, entre otros para adquirir diferentes características.

Los aceros se clasifican en: aceros al carbono, aceros aleados, aceros inoxidables, aceros de herramientas y aceros de baja aleación ultrarresistentes. Los aceros al carbono contienen diferentes cantidades de carbono y menos del 1,65% de manganeso, el 0,60% de silicio y el 0,60% de cobre. Los aceros aleados poseen vanadio y molibdeno además de cantidades mayores de manganeso, silicio y cobre que los aceros al carbono. Los aceros inoxidables llevan cromo y níquel, entre otros elementos de aleación. Los aceros de herramienta contienen wolframio, molibdeno y otros elementos de aleación que les proporcionan mayor resistencia, dureza y durabilidad. Los aceros de baja aleación ultrarresistentes tienen menos cantidad de elementos de aleación y deben su elevada resistencia al tratamiento especial que reciben.

Las propiedades físicas del acero y su comportamiento a distintas temperaturas varían según la cantidad de carbono y su distribución en el hierro. Antes del tratamiento térmico, la mayor parte de los aceros son una mezcla de tres sustancias: la ferrita, blanda y dúctil; la cementita, dura y frágil; y la perlita, una mezcla de ambas y de propiedades intermedias. Cuanto mayor es el contenido

en carbono de un acero, menor es la cantidad de ferrita y mayor la de perlita: cuando el acero tiene un 0,8% de carbono, está compuesto por perlita. El acero con cantidades de carbono aún mayores es una mezcla de perlita y cementita. Al elevar la temperatura del acero, la ferrita y la perlita se transforman en austenita, que tiene la propiedad de disolver todo el carbono libre presente en el metal. Si el acero se enfría despacio, la austenita vuelve a convertirse en ferrita y en perlita, pero si el enfriamiento es repentino, la austenita se convierte en martensita, de dureza similar a la ferrita, pero con carbono en disolución sólida.

El objetivo de este proceso es controlar la cantidad, la forma, el tamaño y la distribución de las partículas de cementita contenidas en la ferrita, que son las que determinan las propiedades físicas del acero. Al calentar el metal hasta una temperatura a la que se forma austenita y después enfriarlo rápidamente sumergiéndolo en agua o aceite se denomina temple. Otro método de tratamiento térmico es la cementación, en la que se endurecen las superficies de las piezas de acero calentándolas con compuestos de carbono o nitrógeno.

4.1.1 ACEROS COMUNES EN EL ECUADOR

Las principales empresas que abarcan el mercado nacional de aceros son: Aceros Böhler y Aceros Ivan Bohman. Con los aceros que proporcionan las empresas antes mencionadas se procede a realizar una clasificación de los aceros por medio de un coeficiente de maquinabilidad. La maquinabilidad de un material es una propiedad tecnológica que depende de factores tanto internos como externos. La maquinabilidad se podría definir como la facilidad que presenta un material para ser maquinado que puede ser asociada a aspectos como:

- o Al acabado superficial
- o La vida de la herramienta
- o La potencia necesaria para cortar el material
- o El ritmo de eliminación del material
- o La consecución de tolerancias estrechas.

En forma práctica se ha establecido un coeficiente de maquinabilidad tomando en forma arbitraria a un material como patrón (AISI 1112) al que se le ha

asignado el 100% de maquinabilidad, existiendo también materiales con un coeficiente de maquinabilidad mayor o menor al 100%.

La clasificación de acuerdo a su campo de aplicación son los siguientes:

- Aceros de construcción mecánica
- Aceros para herramientas: trabajo en caliente
- Aceros para herramientas: trabajo en frío
- Moldes plásticos

Tabla 4.1 Clasificación de los aceros de construcción mecánica.

	Equivalencia								Aplicaciones
	Coeficiente maquinabilidad	Aceros Böhler	Ivan Bohman	AISI/SAE	% C aproximado	Dureza		Tratamiento Térmico	
						Böhler	Bohman	Temple	
Aceros de construcción mecánica	0,3	4340 Equiv. V155	705	4340	0,34-0,40	240-380 HB	270-330 HRB	830-860 °C	Para la fabricación de partes y piezas de aviones, automotores pesados y construcción de maquinaria como hélices, cigüeñales y ejes de torción.
	0,45	1045 Equiv. V 945	760	1045	0,45	180 HB	200HB	770-850 °C	Acero para construcciones mecánicas, no aleado. Para la fabricación de partes y piezas de pequeña sección de baja resistencia
	0,6	4140 Equiv. V 320	709	4140	0,38-0,43	250-310 HB	275-320 HB	820-860 °C	Para construcción de partes y piezas de automotores, motorreductores, árboles de transmisión, ejes, bielas, etc.
	0,6	8620 AISI 5115 E 410	-	8620	0,17	180 HB	-	810-840 °C	Para piezas de construcción mecánica resistente al desgaste. Para fabricación de repuestos de automotores y maquinaria como: bielas, bujes, engranajes, piñones, ejes sin fin, etc.
	0,8	SAE 1018 E920	SAE 1018	1018	0,15-0,20	150 HB	163 HB	770-800 °C	Aplicaciones como por ej: pernos y tuercas, piezas de maquinas pequeñas, ejes, bujes, pasadores, grapas, etc. Factible de cementación con buena profundidad de penetración. Excelente soldabilidad.

Fuente: Catálogo de Aceros Industrias Böhler e Ivan Bohman.

Tabla 4.2 Clasificación de los Aceros para herramientas: trabajo en caliente

	Coeficiente maquinabilidad	Equivalencia			% C aproximado	Dureza		Tratamiento Térmico	Aplicaciones
		Aceros Böhler	Ivan Bohman	AISI/SAE		Böhler	Bohmam		
						Temple			
Aceros para herramientas: trabajo en caliente	0,78	W 302	8407	H13	0,37-0,43	205 HB	180 HB	1020-1080 °C	Acero de gran resistencia al desgaste en estado caliente, se presta al enfriamiento al agua. Su empleo radica en herramientas para fundición a presión de metales livianos, herramientas en la transformación de metales livianos como matrices para extrusión de barras, tubos y perfiles, cuchillas para cortar en caliente, herramientas para la fabricación de tuercas, tornillos, remaches y bulones.
	0,78	W 303	-	-	0.38	229 HB	-	1030-1080 °C	Apto para enfriamiento en agua. Aplicaciones: Herramientas para extrusión de aluminio, Herramientas para trabajar en caliente, especialmente para la elaboración de aleaciones de metales ligeros, tales como punzones y matrices de extrusión. Herramientas para fundición inyectada, cilindros receptores para la extrusión de barras y tubos. Herramientas para extrusión en caliente y la fabricación de cuerpos huecos.
	0,78	W 320	-	H10	0.31	205 HB	-	1010-1050 °C	Se emplea en herramientas para la transformación de metales pesados por inyección e impacto, como punzones y matrices para la fabricación de tornillos, tuercas, bulones. Herramientas de extrusión de tubos y perfiles de metales no ferrosos refrigerados por agua. Herramientas para estampar latón y bronce en caliente.
	0,77	W 321	-	-	0.39	229 HB	-	1000-1070 °C	Se presta al enfriamiento en agua. Aplicaciones: Herramientas altamente exigidas en metales pesados, con los mejores resultados para stampa en caliente. Herramientas para grandes series, por ejemplo: Matrices para la fabricación de tornillos, remaches; cuchillas de corte en caliente. Para extrusión por impacto.
	0,68	W 500	-	L6	0.55	248 HB	-	830-900 °C	Acero para matrices, apto para el temple en aceite o al aire. Estampas hasta los tamaños más grandes, herramientas para la extrusión, cuchillas para cortar en caliente. Moldes para material plástico.

Fuente: Catálogo de Aceros Industrias Böhler e Ivan Bohman.

Tabla 4.3 Clasificación de los Aceros para herramientas: trabajo en frío

	Equivalencia								Aplicaciones
	Coeficiente maquinabilidad	Aceros Böhler	Ivan Bohman	AISI/SAE	% C aproximado	Dureza		Tratamiento Térmico	
						Böhler	Bohman	Temple	
Aceros para herramientas: trabajo en frío	0,37	K 100	D3	D3	2,00-2,05	248 HB	210 HB	930-970 °C	Corte y estampación. Trabajo de la madera. Cuchillas para tijeras de corte en frío. Conformación en frío, prensado de materiales cerámicos. Moldes para plásticos, calibres. Troqueles de corte en frío.
	0,33	K 107	XW-5	D6	2,05-2,10	250 HB	240 HB	940-980 °C	De aplicación en primer lugar para punzones de gran rendimiento, cizallas con capacidad de corte hasta 4 mm de espesor. Para herramientas de embutición profunda. Cojinetes y rodillos de roscas por laminación.
	0,44	K 110	XW-41	D2	1,50-1,55	250 HB	210 HB	1000-1040 °C	Las mismas aplicaciones que el K 100. Tratamiento térmico especial para nitruración.
	0,55	K 340	-	-	1,1	235 HB	-	1040-1080 °C	Acero de alta tecnología, templable al aire, con buena estabilidad dimensional, buena tenacidad, alta resistencia al desgaste y a la compresión. Excelente para electroerosión.
	0,68	K 329	-	-	0,52	-	-	-	Acero para trabajo en frío, con muy buena resistencia a la abrasión. Para la fabricación de cizallas rectas y circulares, con capacidad de corte de lámina, hasta 15 mm de espesor. Así mismo, cuchillas para celulosa, papel y placas de fibra de madera.
	0,74	K 455	-	S1	0,63	225 HB	-	870-900 °C	Herramientas de corte para chapa gruesa, cuchillas de tijeras, trabajo de madera, punzonado y recalcado en frío, herramientas para acuñación.
	0,85	K 460	DF-2	01	0,85-0,95	220 HB	190 HB	780-850 °C	Acero para temple en aceite con buena estabilidad dimensional en el tratamiento térmico. Herramientas para corte, estampación y tallado de roscas. Moldes para plásticos. Cuchillas para maquinas y calibres

Fuente: Catálogo de Aceros Industrias Böhler e Ivan Bohman.

Tabla 4.4 Clasificación de los Aceros para Moldes Plásticos

	Coeficiente maquinabilidad	Equivalencia			% C aproximado	Dureza		Tratamiento Térmico	Aplicaciones
		Aceros Böhler	Ivan Bohman	AISI/SAE		Böhler	Bohman	Temple	
Aceros para moldes plásticos		M 238	718	P20	0,35-0,38	280-320 HB	310 HB	840-860 °C	El contenido de Ni garantiza una resistencia uniforme hasta el núcleo. De aplicación en armazones de moldes, piezas en la construcción de maquinaria y útiles en general para la industria plástica.
		M300	-	-	0,38	270-330 HB	-	1000-1050 °C	Se lo emplea para la fabricación de moldes de plásticos químicamente agresivos como el PVC o con aditivos abrasivos.
		-	STAVAX	420	0,38	-	215 HB	1020-1030 °C	Adecuado para todo tipo de herramientas de moldeo, pero especialmente para moldes que debe reunir requisitos como: resistencia a la corrosión/manchas: PVC, acetatos, resistencia al desgaste: moldeo de materiales, acabado superficial de gran calidad: para producción de piezas ópticas como lentes de cámaras, cristales de gafas y artículos médicos.
		-	CALMAX	-	0,6	-	200 HB	950-970 °C	Resistencia al desgaste, buena pulibilidad. De aplicación en trabajos en frío y moldes de plástico.

Fuente: Catálogo de Aceros Industrias Böhler e Ivan Bohman.

4.1.2 CRITERIOS DE MECANIZADO

Al momento de maquinar cualquier material necesariamente se debe empezar por los criterios recomendados que indican las tablas, o sea, se parte de los avances por diente que se proporciona en este caso en el **Anexo 1** relacionado con la profundidad de pasada, el diámetro de la herramienta y material de la misma, el tipo de maquinado y la dureza de los materiales más comunes en el entorno.

En el capítulo 3 se analizó la fórmula básica en el maquinado que relaciona la velocidad de corte (m/min) en función del número de revoluciones y diámetro de la herramienta.

$$V = \frac{D * \pi * N}{1000} \quad \text{Ecuación 4.1}$$

Esta fórmula es muy general ya que no toma en cuenta criterios como el material a maquinar, la herramienta, profundidad de corte, etc. Por esto se han adicionado 3 factores de ajuste a la fórmula anterior que la llevan a una situación real de la siguiente manera:

$$V = V_{opt} * F_f * F_d * F_{ar} \quad \text{Ecuación 4.2}$$

donde:

V_{opt} : Menor velocidad de las 2 dadas en las tablas de velocidades.

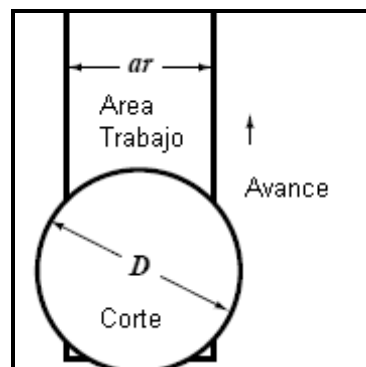
F_f : Factor de ajuste de avance

F_d : Factor de ajuste de profundidad de corte

F_{ar} : Factor de ajuste de área de corte

Cuando se realiza un corte como la figura 4.1 se utiliza la tabla del Anexo 4.

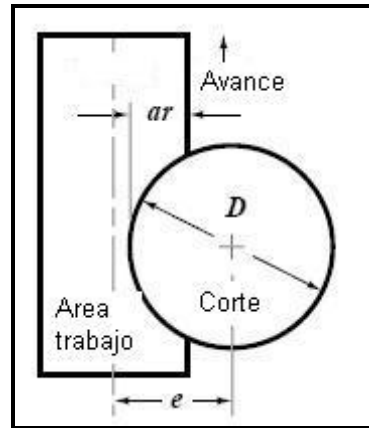
Figura 4.1 Planeado de cara



Fuente: HandBook`s Manual 26th Edition

Caso contrario, si se realiza un corte como la figura 4.2 se utiliza la tabla del Anexo 3.

Figura 4.2 Fresado de caras paralelas al husillo



Fuente: HandBook`s Manual 26th Edition

Para poder entender de una mejor manera el uso de estos factores se usará un ejemplo aplicativo:

¿Qué velocidad de corte debería aplicarse para un corte de ranura completo en una pasada a un acero 5140 con una dureza de 300 Bhn? La herramienta tiene 1 pulgada de diámetro con insertos de carburo. El avance por diente es de 0.003 pulgadas/diente y la profundidad de corte de 0.2 pulgadas.

- a) La tabla 4.5 indica la pareja de velocidades para los diferentes materiales que este caso son:

Optimo: 15/80 esto es: 0.015 pulg/diente a 80 pies/min

Promedio: 8/240 esto es: 0.008 pulg/diente a 240 pies/min

Tabla 4.5 Velocidades y avances para el fresado

AVANCE DE CORTE Y VELOCIDADES DE FRESADO														
Material	Dureza HB	HSS	Fresado de caras paralelas al husillo				Fresado de caras		Fresado de ranura					
			HSS	Sin insertos de carburo		Con insertos de carburo		Sin insertos de carburo	Con insertos de carburo		Sin insertos de carburo	Con insertos de carburo		
		Velc. (fpm)	f = avance (0,001 in/diente), s = velocidad (ft/min)											
			Opt.	Prom.	Opt.	Prom.	Opt.	Prom.	Opt.	Prom.	Opt.	Prom.	Opt.	Prom.
AISI 1018	125-175	110	f	7	4					39	20			
			s	35	100					215	405			
AISI 1045	175-225	85	f	7	4					39	20			
			s	30	85					185	350			
AISI 8620	175-225	90	f	15	8	15	8	15	8		39	20	39	20
			s	7	30	105	270	220	450		295	475	135	305
AISI 4140, 4340, 5140	225-275	60	f	15	8	15	8	15	8		39	20	39	20
			s	5	25	50	175	85	255		200	320	70	210
	275-325	50	f	15	8	15	8	15	8		39	20		
			s	5	25	45	170	80	240		190	305		
	325-375	35	f	15	8	15	8	15	8		39	20		
			s	5	20	40	155	75	225		175	280		
AISI S1, O1	175-225	50-55	f	8	4	8	4	8	4	39	20			
AISI D2, D3, D6	200-250	40	s	25	70	235	455	405	635	235	385			
AISI H10, H13	200-250	50	f							39	20			
			s							255	385			
AISI L6, P20	150-200	65-60	f	8	4	8	4	8	4	39	20		39	20
			s	25	70	235	455	405	635	235	385		115	265
AISI 420	175-225	85	f	7	4	7	4						39	20
			s	20	55	210	585						75	240

Fuente: HandBook's Manual 26th Edition

Dada la fórmula:

b) $V = V_{opt} * F_f * F_d * F_{ar}$ se escoge el menor del par de velocidades que la tabla nos da, en este caso es 80 pies/min.

c) F_f es el factor de ajuste del avance que debe ser aplicado ya que tenemos como dato un avance por diente de 0.003 pulgadas y las tablas nos indican 0.008 - 0.015.

F_f se obtiene intersecando los valores encontrados en la tabla 4.6 (tabla completa en el Anexo 2) de la siguiente manera:

$$\frac{\text{Avance}_{Escogido}}{\text{Avance}_{Óptimo}} = \frac{F_f}{F_{opt}} = \frac{0.003}{0.015} = 0.2 \quad \text{y} \quad \frac{\text{Velocidad}_{promedio}}{\text{Velocidad}_{óptima}} = \frac{V_{avg}}{V_{opt}} = \frac{240}{80} = 3$$

Tabla 4.6 Factor de corrección F_f .

Elección prom. avance para avance óptimo	Proporción de dos velocidades de corte (promedio/óptima) dadas en la tabla						
	V_{avg}/V_{opt}						
	1.00	1.25	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00
	Factor avance F_f						
1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.90	1.00	1.06	1.09	1.14	1.18	1.21	1.27
0.80	1.00	1.12	1.19	1.31	1.40	1.49	1.63
0.70	1.00	1.18	1.30	1.50	1.69	1.85	2.15
0.60	1.00	1.20	1.40	1.73	2.04	2.34	2.89
0.50	1.00	1.25	1.50	2.00	2.50	3.00	4.00
0.40	1.00	1.23	1.57	2.29	3.08	3.92	5.70
0.30	1.00	1.14	1.56	2.57	3.78	5.19	8.56
0.20	1.00	0.90	1.37	2.68	4.49	6.86	17.60
0.10	1.00	0.44	0.80	2.08	4.26	8.00	20.80

Fuente: HandBook`s Manual 26th Edition

En este caso F_f es igual a 6.86. El factor F_d es igual a 1 como se indica en la tabla siguiendo la fila del valor de 6.86 hacia la derecha con una profundidad de 0.2 pulgadas el cual indica un valor 1. El factor F_{ar} no se aplica ya que la operación de fresado es un ranurado completo como en la figura 4.1.

d) Por tanto de calcula la velocidad de corte real:

$$V = V_{opt} * F_f * F_d$$

$$V = 80 * 6.86 * 1$$

$$V = 548.8 \text{ fpm}$$

Aproximadamente 550 ft/min.

$$N = \frac{12 * V}{\pi * D}$$

$$N = \frac{12 * 550}{3.1416 * 1}$$

$$N = 2100.84(\text{rpm})$$

e) Por último el avance de la mesa para 6 dientes:

$$f_m = f_t * n_t * N$$

$$f_m = 0.003 * 6 * 2100$$

$$f_m = 37.8(\text{pulg/ min})$$

El valor calculado lo relacionamos con los avances que dispone la máquina.

Con el cálculo realizado se obtiene los valores corregidos para un maquinado encaminado a la optimización.

En el ejemplo presentado obtuvimos un factor de ajuste de 1 para F_d , si se varia la profundidad a 0.04 pulgadas el Anexo 2 indica un valor en la tabla de 0.94. Se realiza los cálculos para identificar la diferencia.

$$V = V_{opt} * F_f * F_d$$

$$V = 80 * 6.86 * 0.94$$

$$V = 515.9 \text{ fpm}$$

$$N = \frac{12 * V}{\pi * D}$$

$$N = \frac{12 * 516}{3.1416 * 1}$$

$$N = 1970.97(\text{rpm})$$

$$f_m = f_t * n_t * N$$

$$f_m = 0.003 * 6 * 1970.97$$

$$f_m = 35.5(\text{pulg/ min})$$

En este caso el factor de ajuste de profundidad de corte disminuye el avance f_m para una menor profundidad. Por lo general al momento que se da una mayor profundidad se debe disminuir la velocidad de avance de la mesa.

- f) El avance calculado es para una vida de la herramienta de 45 minutos, tiempo que para ciertas operaciones resultaría molesto para la producción y afilar la herramienta por lo que si se desea una mayor vida de la herramienta se debe multiplicar por el factor de tiempo.

En la siguiente tabla se presenta los factores de ajuste de la vida de la herramienta.

Tabla 4.7 Factor de ajuste de vida de la herramienta.

Vida herramienta T (minutos)	Fresado de cara con carburo y HSS			Fresado final con carburo y HSS		
	f_s	f_m	f_l	f_s	f_m	f_l
15	1.69	1.78	1.87	1.10	1.23	1.35
45	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
90	0.72	0.70	0.67	0.94	0.89	0.83
180	0.51	0.48	0.45	0.69	0.69	0.69

Fuente: HandBook's Manual 26th Edition

La tabla 4.7 sigue las siguientes reglas: para avances bajos, donde al avance $\leq \frac{1}{2} f_{opt}$ la velocidad de corte deseada para una vida de la herramienta T es $V_T = f_s \times V_{15}$; para avances medios, donde $\frac{1}{2} f_{opt} < avance < \frac{3}{4} f_{opt}$, $V_T = f_m \times V_{15}$; y para avances más grandes, donde $\frac{3}{4} f_{opt} \leq avance \leq f_{opt}$, $V_T = f_l \times V_{15}$. f_{opt} es el mayor avance (óptimo) de los dos valores dados en la tabla 4.5.

Por ejemplo si se desea una vida T = 180 minutos para la herramienta.

$$0.003 \leq \frac{1}{2} * 0.015$$

$$0.003 \leq 0.0075$$

El avance que se utiliza es menor que $\frac{1}{2} f_{opt}$, por lo tanto se aplica el factor f_s .

$$V_{180} = 550 \text{ fpm} * 0.51$$

$$V_{180} = 280.5 \text{ fpm}$$

$$N = 1071.43(\text{rpm})$$

$$f_m = 19.29(\text{pulg/ min})$$

4.2 ALUMINIO

De color plateado y muy ligero, tiene un punto de fusión de 660 °C, un punto de ebullición de 2.467 °C y una densidad relativa de 2,7. Es un metal muy electropositivo y altamente reactivo. Al contacto con el aire se cubre rápidamente con una capa dura y transparente de óxido de aluminio que resiste la posterior acción corrosiva. Tiene la propiedad de reducir muchos compuestos metálicos a sus metales básicos. Por ejemplo, al calentar termita (una mezcla de óxido de hierro y aluminio en polvo), el aluminio extrae rápidamente el oxígeno del óxido; el calor de la reacción es suficiente para fundir el hierro. Este fenómeno se usa en el proceso Goldschmidt o Termita para soldar hierro

Entre sus compuestos más importantes están el óxido, el hidróxido, el sulfato y el sulfato mixto. El óxido de aluminio es anfótero, es decir, presenta a la vez propiedades ácidas y básicas. El cloruro de aluminio anhidro es importante en la industria petrolífera.

Los únicos metales más ligeros son el litio, el sodio, el berilio y el magnesio. Debido a su elevada proporción resistencia-peso es muy útil para construir aviones, vagones ferroviarios y automóviles, y para otras aplicaciones en las que es importante la movilidad y la conservación de energía. Por su elevada conductividad térmica, el aluminio se emplea en utensilios de cocina y en pistones de motores de combustión interna. Solamente presenta un 63% de la conductividad eléctrica del cobre para alambres de un tamaño dado, pero pesa menos de la mitad. Un alambre de aluminio de conductividad comparable a un alambre de cobre es más grueso, pero sigue siendo más ligero que el de cobre.

Este metal se utiliza cada vez más en arquitectura, tanto con propósitos estructurales como ornamentales. Las tablas, las contraventanas y las láminas de aluminio constituyen excelentes materiales de construcción. Se utiliza también en reactores nucleares a baja temperatura porque absorbe

relativamente pocos neutrones. Con el frío, el aluminio se hace más resistente, por lo que se usa a temperaturas criogénicas. Debido a su poco peso, a que se moldea fácilmente y a su compatibilidad con comidas y bebidas, el aluminio se usa mucho en contenedores, envoltorios flexibles, y botellas y latas de fácil apertura. El reciclado de dichos recipientes es una medida de ahorro de energía cada vez más importante. La resistencia del aluminio a la corrosión por el agua de mar también lo hace útil para fabricar cascos de barco y otros mecanismos acuáticos.

Se puede preparar una amplia gama de aleaciones recubridoras y aleaciones forjadas que proporcionen al metal más fuerza y resistencia a la corrosión o a las temperaturas elevadas. Algunas de las nuevas aleaciones pueden utilizarse como planchas de blindaje para tanques y otros vehículos militares.

4.2.1 ALUMINIOS COMUNES EN EL ECUADOR

Ivan Bohman proporciona aluminio a la industria metalmecánica ecuatoriana con excelentes características y bajo catálogo, a continuación se presenta sus características.

Tabla 4.8 Clasificación del Aluminio.

	Indice maquinabilidad	Equivalencia			% C aproximado	Dureza		Tratamiento Térmico
		Aceros Böhler	Ivan Bohman	AISI/SAE		Böhler	Bohman	
		Aluminio	3	-		PRODAX	-	
Descripción y Aplicaciones								
Aluminio aleado de alta resistencia de excelente maquinabilidad, buena estabilidad, garantizando mínimas deformaciones durante y después del maquinado, buena resistencia a la corrosión. Susceptible de tratamientos superficiales como anodizado, cromado o niquelado para incrementar la dureza, resistencia al desgaste y a la corrosión.								

Fuente: Catálogo de Aceros Ivan Bohman.

4.2.2 CRITERIOS DE MECANIZADO

Al momento de maquinar el material se debe empezar por los criterios recomendados que indican las tablas, o sea, se parte de los avances por diente que se proporciona para el aluminio en el **Anexo 1** relacionado con la profundidad de pasada, el diámetro de la herramienta y material de la misma, el tipo de maquinado y la dureza de los materiales más comunes en el entorno.

Por medio de un ejemplo se explicará de mejor manera el desarrollo de los criterios antes expuestos en el caso del acero.

Determine la velocidad de corte y velocidades de operación de máquina para el planeado de aluminio Aleación 413 utilizando una herramienta de 4'' de diámetro policristalina. El ancho del corte es de 3'', profundidad de corte de 0.1'' y el avance por diente de 0.006 pulg/diente.

- g) La tabla 4.9 (*tabla completa en el Anexo 5*) habla de aleaciones de aluminio indicando la pareja de velocidades de corte para los diferentes materiales siendo en este caso:

Optima: 8 / 2320 esto es: 0.008 pulg/diente a 2320 pies/min

Promedio: 4 / 4755 esto es: 0.004 pulg/diente a 4755 pies/min

Tabla 4.9 Velocidades y avances para el fresado

Alloys = aleaciones	Material	Material Condition*	HSS		Carburo		Carburo		Diamante policristalino	
			Opt.	Avg.	Opt.	Avg.	Opt.	Avg.	Opt.	Avg.
f = feed (0.001 in./tooth), s = speed (ft/min)										
All wrought aluminum alloys, 6061-T651, 5000, 6000, 7000 series	CD	f	15	8	15	8	39	20	8	4
All aluminum sand and permanent mold casting alloys	ST and A	s	165	850	620	2020	755	1720	3750	8430
Aluminum Die-Casting Alloys										
Alloys 308.0 and 319.0	—	f	15	8	15	8	39	20		
		s	30	100	620	2020	755	1720		
Alloys 360.0 and 380.0	—	f	15	8	15	8	39	20	8	4
		s	30	90	485	1905	555	1380	3105	7845
Alloys 390.0 and 392.0	—	f					39	20		
		s					220	370		
Alloy 413	—	f			15	8	39	20	8	4
		s			355	1385	405	665	2320	4755

Fuente: HandBook`s Manual 26th Edition

- h) Estas velocidades se basan en:

- i. Profundidad de corte de: 0.1''
- ii. Diámetro de herramienta de 8''
- iii. Ancho de corte de 6''

Si estas condiciones se cumplieren para este caso los avances y velocidades dados en el literal a se aplicarían sin ningún factor para una vida de la herramienta de 45 minutos

Dada la fórmula:

- i) $V = V_{opt} * F_f * F_d * F_{ar}$ se escoge el menor del par de velocidades que la tabla da, en este caso es 2320 pies/min.
- j) El factor F_f que es el factor de avance que debe ser aplicado ya que se tiene como dato un avance por diente de 0.006 pulg. Y las tablas indican 0.004 o 0.008.

F_f se obtiene intersecando los valores encontrados a continuación en la Tabla 4.10 (tabla completa en el Anexo 4) de la siguiente manera:

$$\frac{Avance_Escogido}{Avance_Óptimo} = \frac{F_f}{F_{opt}} = \frac{0.006}{0.008} = 0.75 \text{ y } \frac{Velocidad_promedio}{Velocidad_óptima} = \frac{V_{avg}}{V_{opt}} = \frac{4755}{2320} = 2$$

Tabla 4.10 Factor de corrección F_f .

Elec. prom. Avanc. para avanc. óptimo	Proporción de dos velocidades de corte (promedio/óptima) dadas en la tabla V_{avg}/V_{opt}						
	1.00	1.10	1.25	1.35	1.50	1.00	2.00
	Feed Factor, F_f						
1.00	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
0.90	1.00	1.02	1.05	1.07	1.09	1.10	1.12
0.80	1.00	1.03	1.09	1.10	1.15	1.20	1.25
0.70	1.00	1.05	1.13	1.22	1.22	1.32	1.43
0.60	1.00	1.08	1.20	1.25	1.35	1.50	1.66
0.50	1.00	1.10	1.25	1.35	1.50	1.75	2.00
0.40	1.00	1.09	1.28	1.44	1.66	2.03	2.43
0.30	1.00	1.06	1.32	1.52	1.85	2.42	3.05
0.20	1.00	1.00	1.34	1.60	2.07	2.96	4.03
0.10	1.00	0.80	1.20	1.55	2.24	3.74	5.84

Fuente: HandBook`s Manual 26th Edition

Por tanto el valor de F_f resulta del promedio de 1,25 y 1,43 es decir **1,34**

k) F_d y F_{ar} son iguales a 1 debido a que son los mismos de las condiciones estándar.

l) Por tanto se calcula la velocidad de corte real:

$$V = V_{opt} * F_f * F_d * F_{ar}$$
$$V = 2320 * 1.34 * 1 * 1$$
$$V = 3109 \text{ fpm}$$
$$N = \frac{12 * V}{\pi * D}$$

de donde: $N = \frac{12 * 3109}{3.1416 * 4}$

$$N = 2970(\text{rpm})$$

m) Por último el avance de la mesa para 6 dientes:

$$f_m = f_t * n_t * N$$
$$f_m = 0.006 * 6 * 2970$$
$$f_m = 106.92(\text{pulg/ min})$$

n) El avance calculado es para una vida de la herramienta de 45 minutos, tiempo que para ciertas operaciones resultaría molesto para la producción y afilar la herramienta por lo que si se desea una mayor vida de la herramienta se debe multiplicar por el factor de tiempo.

Con el cálculo realizado se obtiene los valores corregidos para un maquinado encaminado a la optimización.

Además de estos criterios de mecanizado en la vida real se toma el tipo de desgaste y el acabado superficial, el SOLIDCAM nos ayudara en los siguientes capítulos a buscar la estrategia que mejor se adapta a trabajos repetitivos con la aplicación de los criterios de mecanizado dados en el desarrollo de este capítulo y del Anexo 1, 2, 3, 4, 5 que presenta varias tablas de referencia de los factores de ajuste.

CAPÍTULO 5

ESTUDIO DE ESTRATEGIAS DE MECANIZADO

5.1 INTRODUCCIÓN

Para poder obtener los esquemas de mecanizado ideales y presentarlos en el respectivo manual de procedimiento, se estudiará todas las estrategias que contiene SolidCam.

Este estudio contiene el análisis individual de cada estrategia y la forma en que interactúa con otras en las etapas de desbaste, semiacabado y acabado. Se debe tomar en cuenta que *no es estrictamente necesario* que para cada operación de maquinado se necesite:

- Un desbaste
- Un semiacabado
- Un acabado

Dependiendo del tipo de superficie, volumen de corte, material a maquinar se llegará a establecer la mejor combinación y número posibles de estrategias (sean de desbaste, semiacabado o acabado); tomando en cuenta el tiempo que tardarán, la rugosidad obtenida de la materia prima y la semejanza de la pieza obtenida con la diseñada.

Se analiza las combinaciones lógicas posibles para luego compararlas y así escoger la mejor tomando en cuenta los parámetros antes señalados.

Por tanto este estudio se divide de acuerdo al tipo de superficie que deseemos maquinar, clasificándolas de la siguiente manera:

- Esféricas
- Cónicas
- Convexas
- Planas

ESTRATEGIAS DE FRESADO EN MODELO 3D

Las estrategias que se presentan son aquellas con las que se va a hacer el estudio individual con sus respectivas combinaciones:

Desbaste:

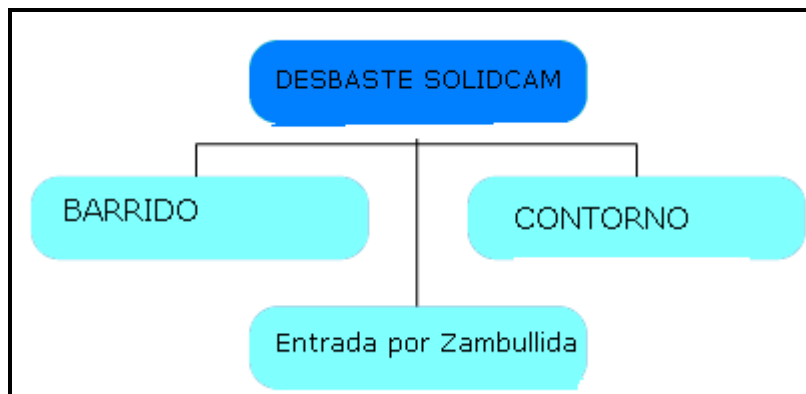


Figura 5.1 Desbaste SOLIDCAM

Semiacabado y Acabado:

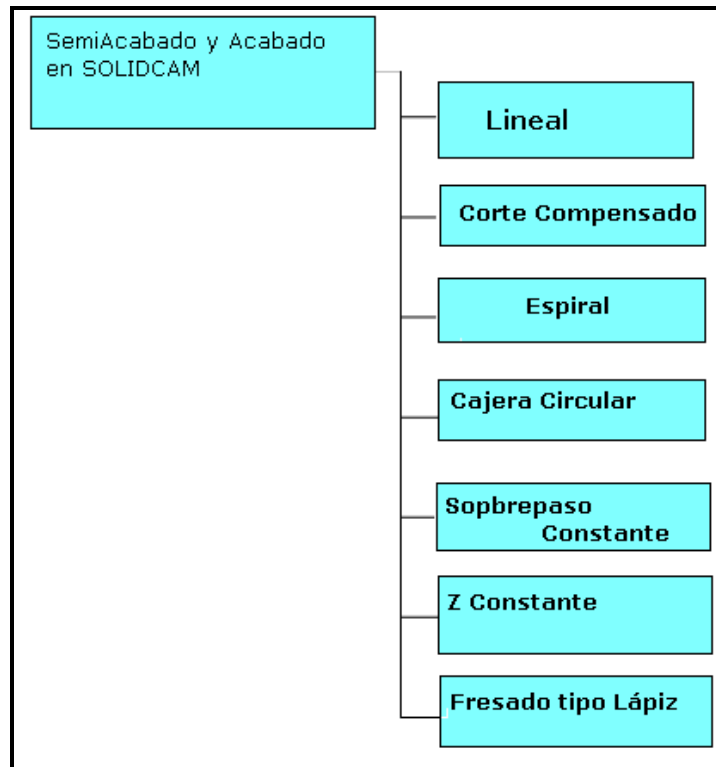


Figura 5.2Semi acabado y acabado SOLIDCAM

5.2 EXPLICACIÓN GENERAL ESTRATEGIAS DE MAQUINADO

ESTRATEGIAS DE DESBASTE: CONTORNO

La herramienta se mueve en contornos paralelos al área de trabajo.

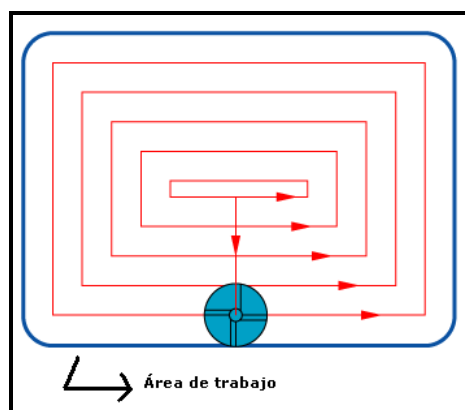


Figura 5.3Estrategia: Contorno

BARRIDO

La herramienta realiza un rayado constante de la superficie.

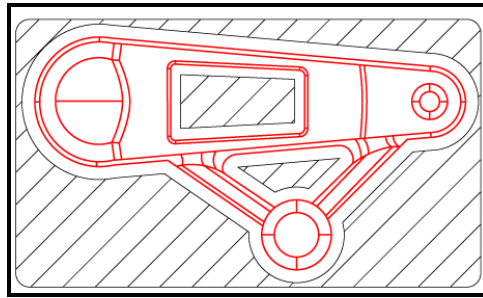


Figura 5.4 Estrategia: Barrido

Tipo de corte: Existen 2 tipos de corte: convencional y ascendente los cuales están en función del sentido de giro de la herramienta y la disposición de los dientes de la misma.

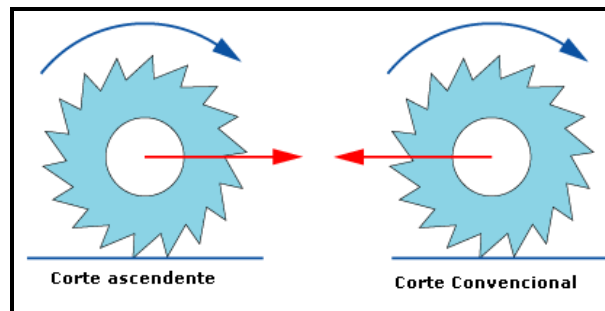


Figura 5.5 Tipo de corte

Solapado: Es un índice que va de 0 a 1, que indica la distancia entre los contornos que va realizando la herramienta:

La imagen muestra la explicación del solapado para una herramienta de diámetro 10 mm:

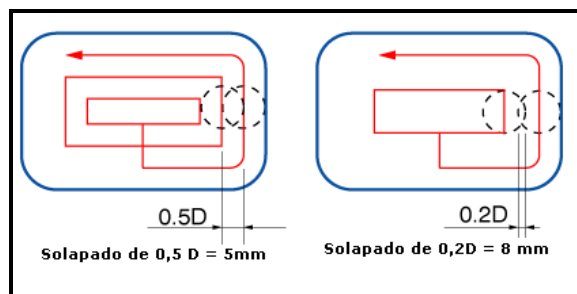


Figura 5.6 Definición de Solapado

Tolerancia de superficie: Es la tolerancia que se deja para las siguientes estrategias de acabado.

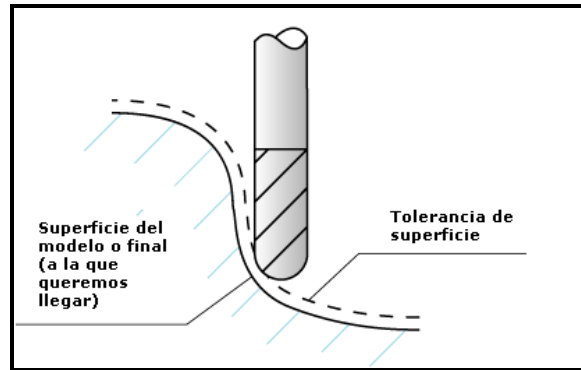


Figura 5.7 Tolerancia de superficie

Paso de bajada: Es la distancia en Z con la cual la herramienta baja luego de haber terminado los contornos realizados en un plano XY

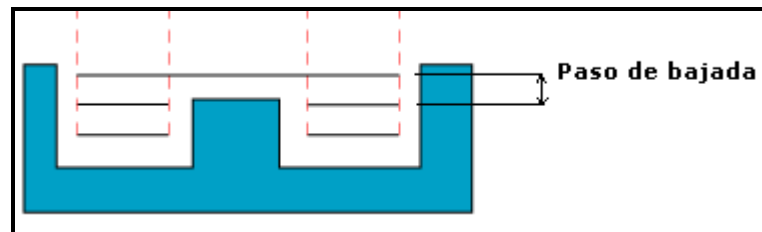


Figura 5.8 Paso de bajada

Ángulo óptimo: En el barrido, solidcam calcula de manera automática el mejor ángulo de corte para una superficie pudiendo ser este cambiado por el usuario.

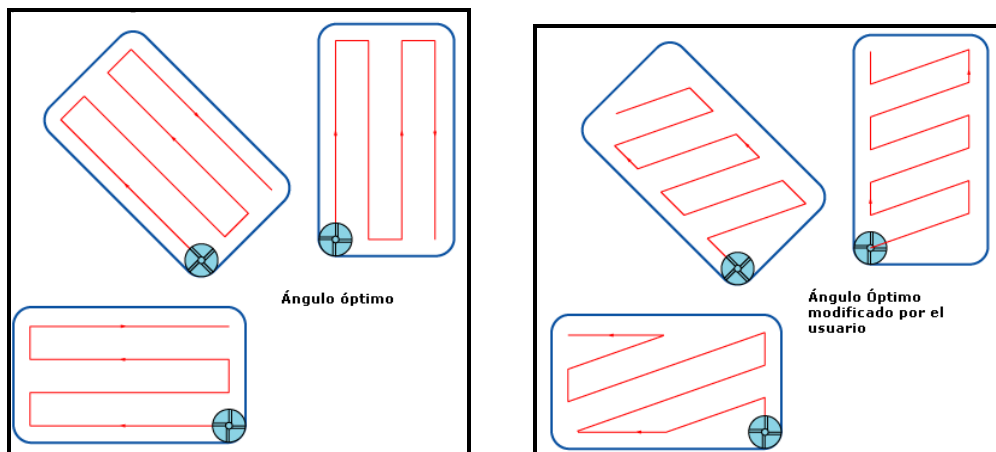


Figura 5.9 Ángulo óptimo

ESTRATEGIA DE SEMIACABADO Y ACABADO

LINEAL

Se genera una malla en el plano XY para luego proyectarla sobre la superficie a maquinar.

Paso lateral: Es la distancia entre las líneas de la malla

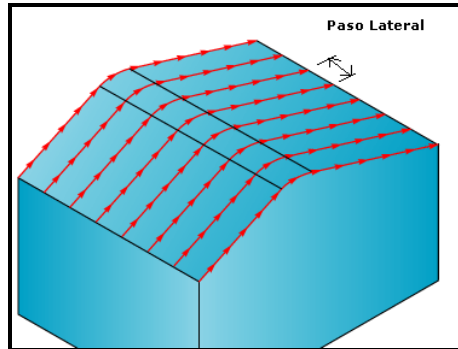


Figura 5.10 Paso lateral

Dirección: Existen las siguientes direcciones:

- Ida y vuelta

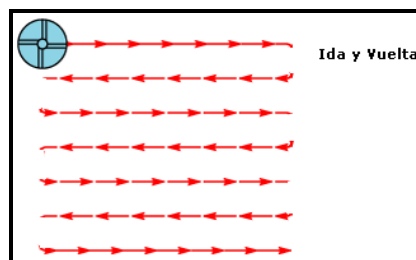


Figura 5.11 Dirección: Ida y vuelta

- Ascendente

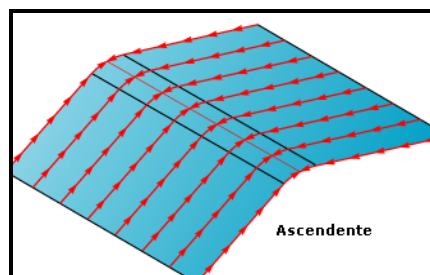


Figura 5.12 Dirección: Ascendente

- Descendente

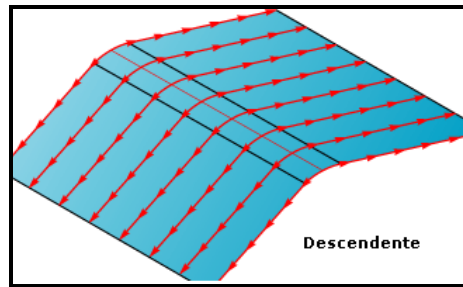


Figura 5.13 Dirección: Descendente

Lineal cruzado: Se realiza una segunda maquinada con un ángulo de 90° grados respecto a la primera trayectoria.

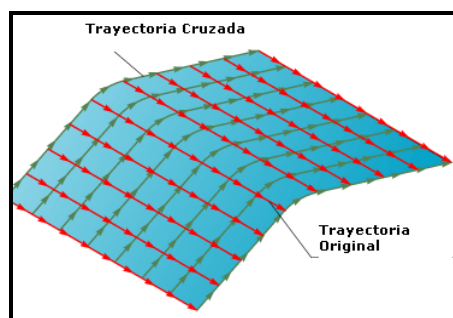


Figura 5.14 Dirección: Lineal cruzado

CAJERA CIRCULAR

SolidCam genera una malla en el plano XY y luego la proyecta sobre la superficie:

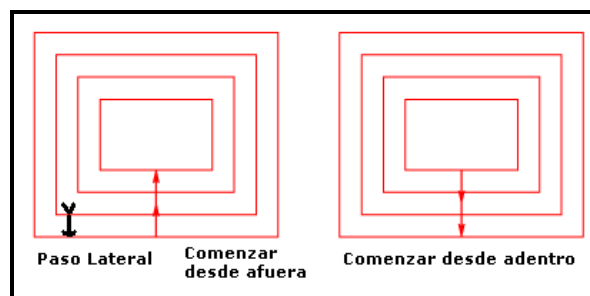


Figura 5.15 Cajera circular

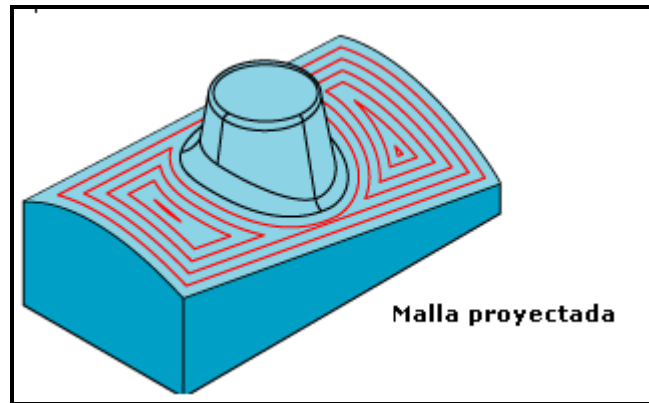


Figura 5.16 Malla proyectada

CORTE COMPENSADO:

Es una forma de fresado de perfil 3D que se usa para fresar áreas específicas de corte partiendo de un perfil adicional.

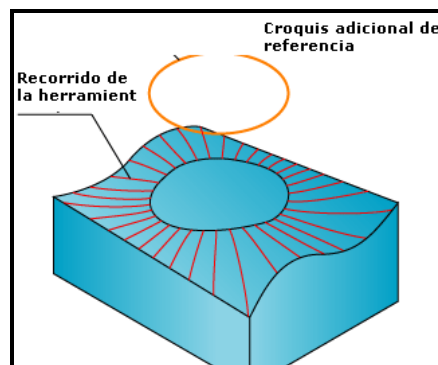


Figura 5.17 Corte compensado

Acabado Cruzado: Similar al acabado cruzado lineal

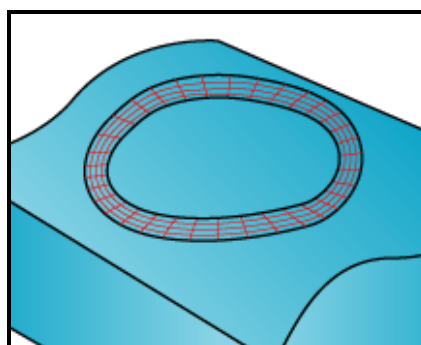


Figura 5.18 Acabado cruzado

ESPIRAL

Solidcam ofrece 3 tipos de espirales los cuales son:

- Lineal

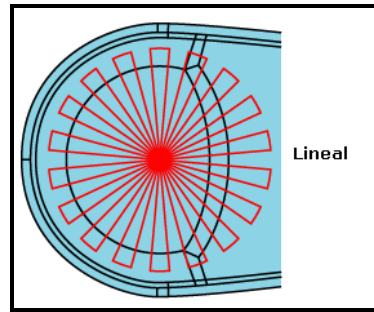


Figura 5.19 Espiral: lineal

- Espiral: A su vez hay 2 posibilidades que son con arcos y líneas

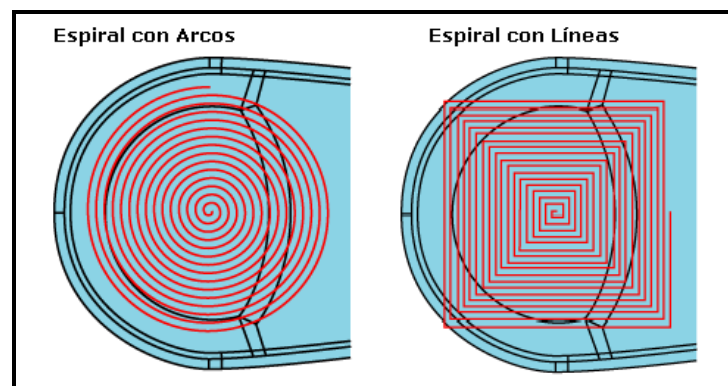


Figura 5.20 Espiral: espiral

- Círculos: También tiene 2 posibilidades con los mismos nombres:

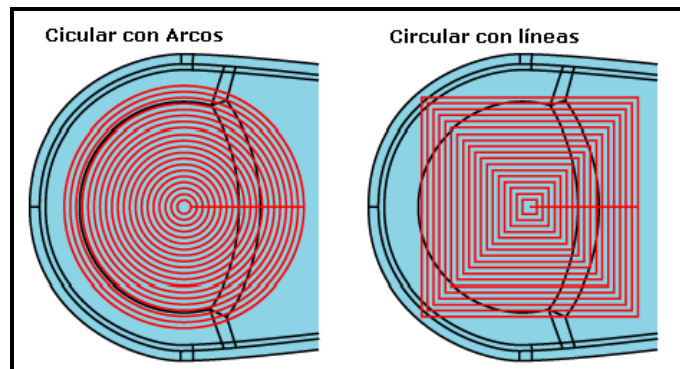


Figura 5.21 Espiral: círculos

Z CONSTANTE

Esta estrategia maquina todo el material que se encuentre en un plano XY para luego realizar un movimiento en el eje Z (hacia arriba o hacia abajo) como indica la figura:

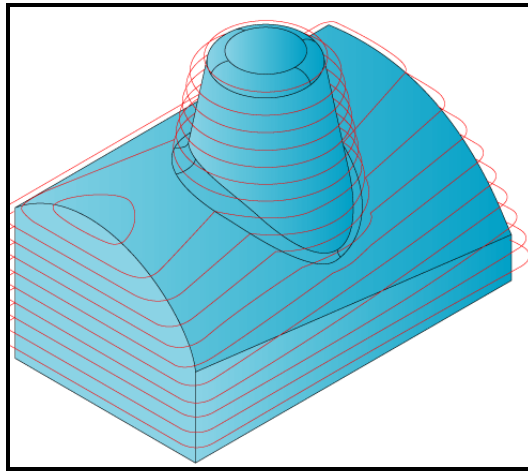


Figura 5.22 Z constante

Ejemplo:

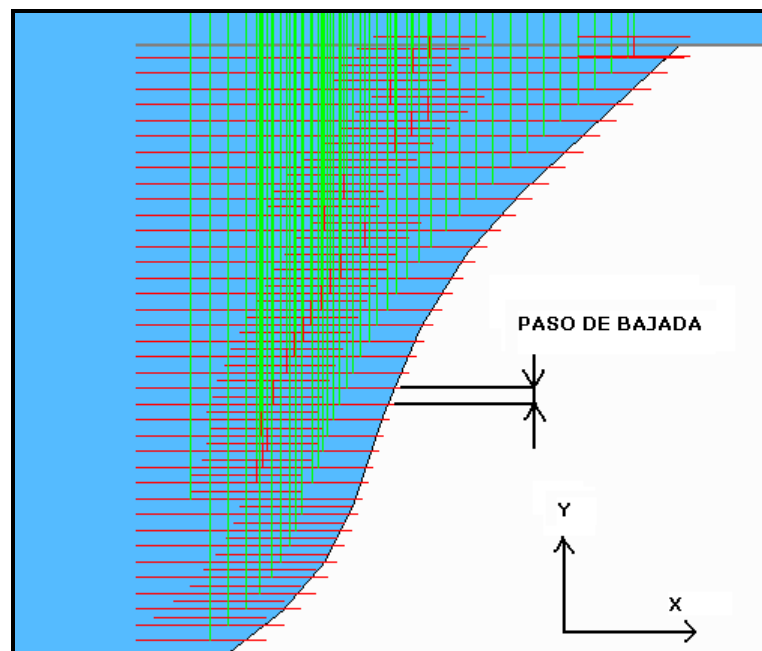


Figura 5.23 Ejemplo: Z constante

SOBREPASO CONSTANTE

La presente estrategia genera una malla 2D en el plano XY al igual que las estrategias lineal y cajera circular para luego proyectarla sobre el modelo. La diferencia de esta estrategia radica en que luego de proyectarla sobre el

modelo realiza una nueva interpolación para dar pasos de bajada en el eje Z de manera constante.

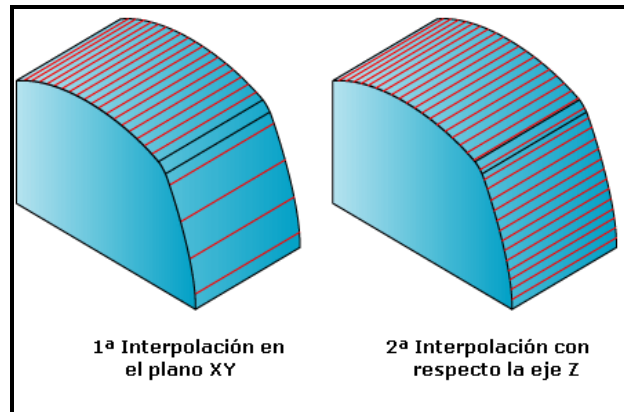


Figura 5.24 Sobrepaso constante

FRESADO LÁPIZ

Este fresado sirve para dar acabados limpiando esquinas mediante un algoritmo especial en el que se ingresa como dato el ángulo bitangencial y calcula la trayectoria de la herramienta.

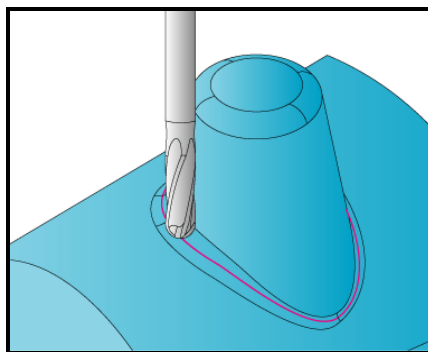


Figura 5.25 Fresado lápiz

Ángulo Bitangencial: Es el ángulo suplementario del ángulo de conicidad, y SolidCam maquinará todas las esquinas que tengan un ángulo menor al ángulo de conicidad.

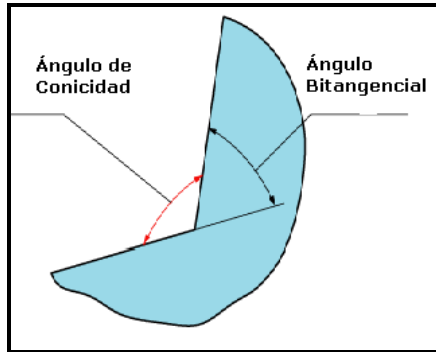


Figura 5.26 Ángulo bitangencial

5.3 SUPERFICIE ESFÉRICA

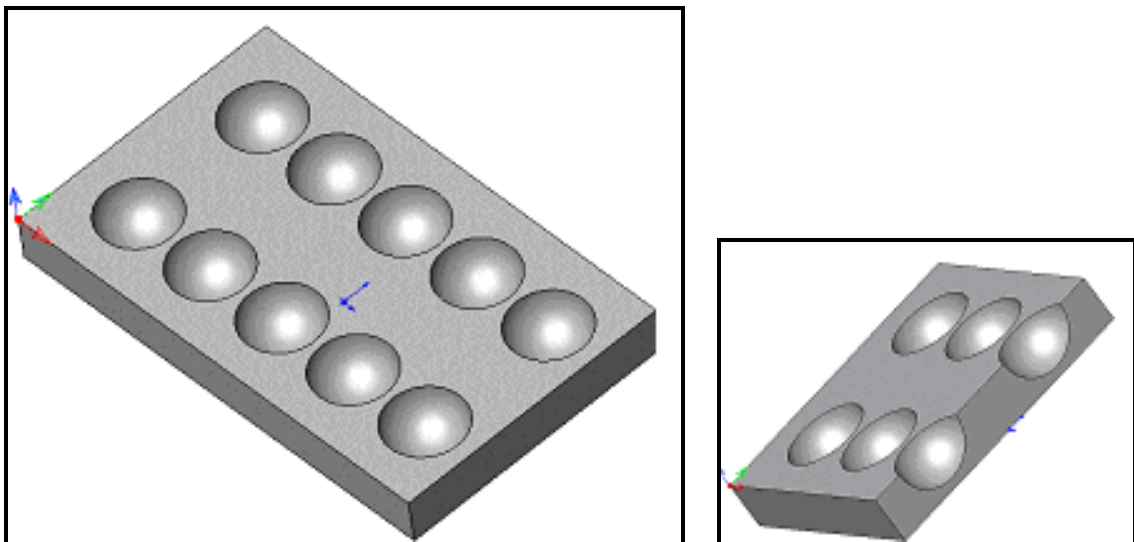
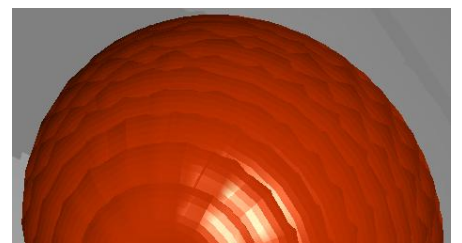
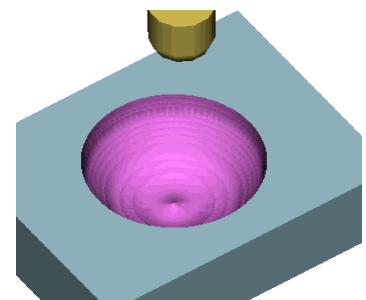
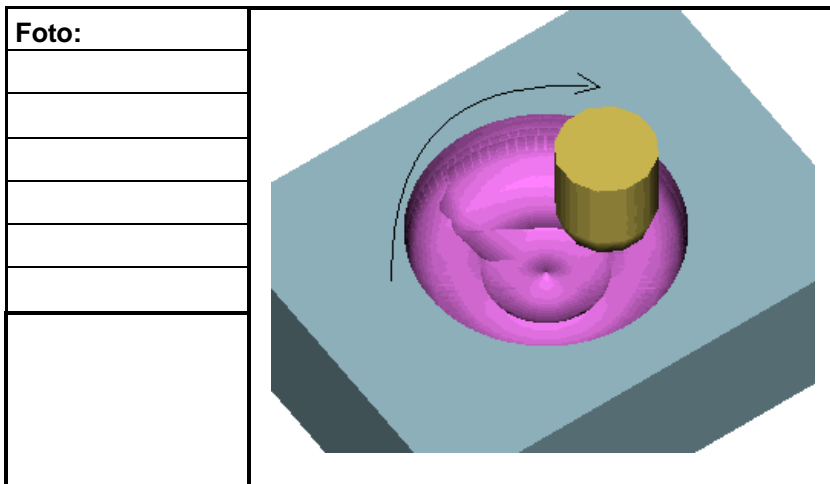


Figura 5.27 Superficie esférica

5.3.1 ESTUDIO DE DESBASTE

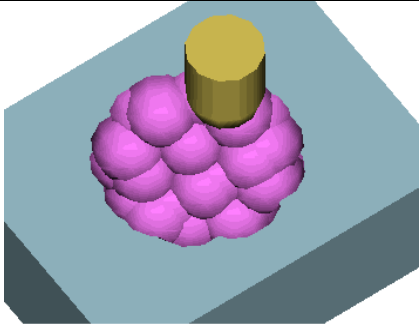
Parámetros:	
Diámetro de Esfera	50 mm
Herramienta:	18 radial
Avance (mm/min)	XY: 150 ; Z: 80
Paso de Bajada:	1.5 mm
Solapado:	0.5
Superf d Desplazamiento:	0.8
Estrategia:	CONTORNO
Tiempo:	15 min 05 s
Observaciones	Acabado bueno, no existen tiempos muertos en el recorrido de la herramienta

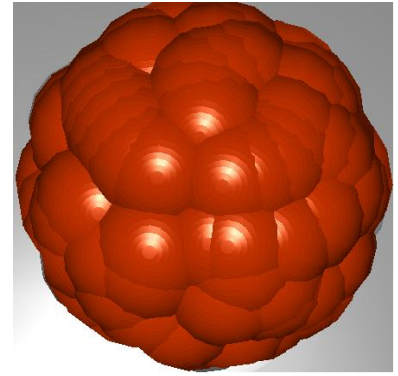




Parámetros:			
	<i>Diámetro de Esfera</i>		50 mm
	<i>Herramienta:</i>		18 radial
	<i>Avance (mm/min)</i>		XY: 150 ; Z: 80
	<i>Paso de Bajada:</i>		1.5 mm
	<i>Solapado:</i>		0.5
	<i>Superf d Desplazamiento:</i>	0.8	
Estrategia:	BARRIDO		
Tiempo:	22 min 52s		
Observaciones	Acabado bueno, similar al contorno. Existen tiempos muertos en el recorrido de la herramienta.		
Fotos			

Parámetros:			
	<i>Diámetro de Esfera</i>		50 mm
	<i>Herramienta:</i>		18 radial
	<i>Avance (mm/min)</i>		XY: 150 ; Z: 80
	<i>Paso de Bajada:</i>		1.5 mm
	<i>Solapado:</i>		0.5
	<i>Superf d Desplazamiento:</i>	0.8	
Estrategia:	ENTRADA POR ZAMBULLIDA		

Tiempo:	24 min 46 s
Observaciones	Acabado tosco, existen tiempos muertos en el recorrido de la herramienta
Fotos	



ANÁLISIS DE RESULTADOS

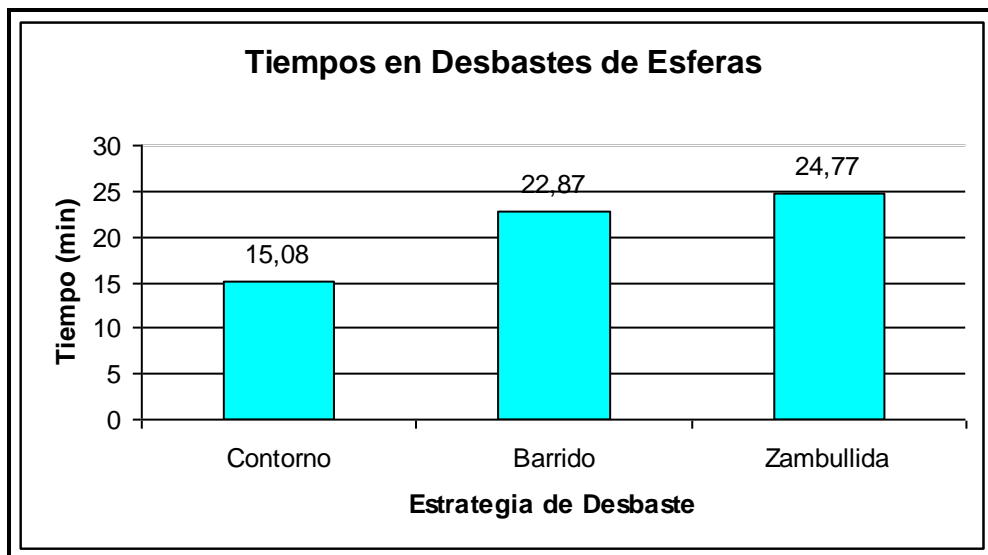


Figura 5.28 Tiempo de desbaste en superficies esféricas

Los valores de las figuras de tipo de acabado son los siguientes:

- 1: acabado basto
- 2: acabado medio
- 3: acabado fino

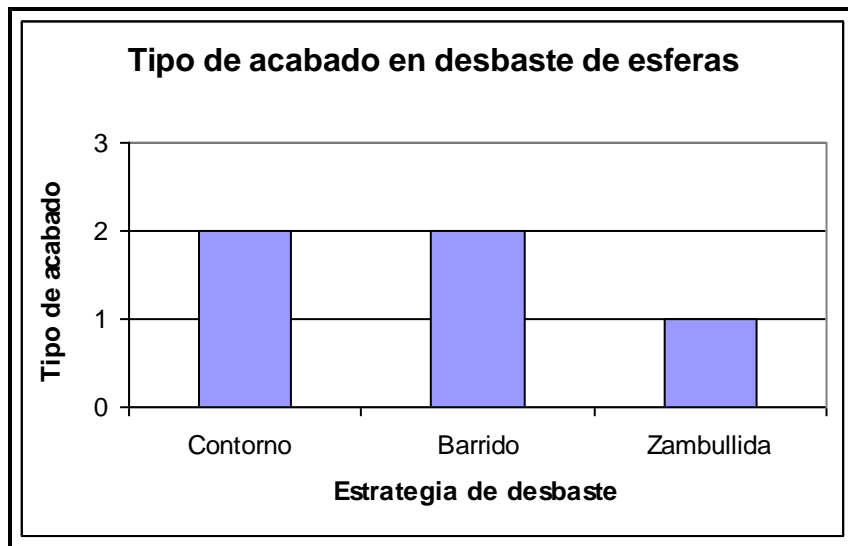
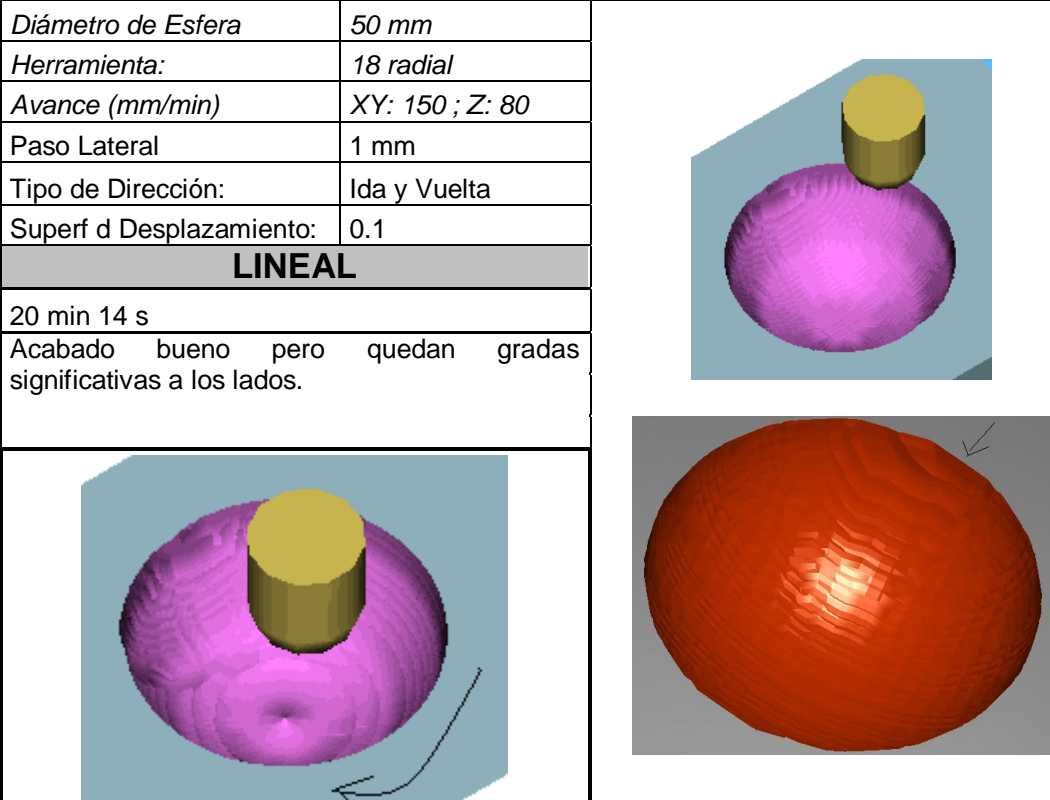


Figura 5.29 Tipo de acabado en desbaste de superficies esféricas

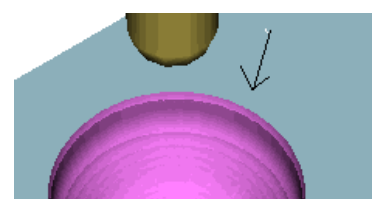
Conclusiones:

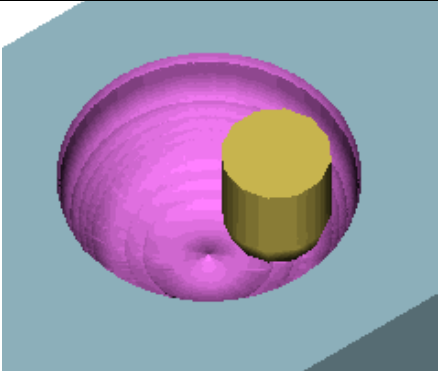
- Contorno toma un menor tiempo que los otros 2.
- Barrido toma un 50% más de tiempo que el contorno.
- Barrido tiene algunos tiempos muertos durante el maquinado.
- Barrido y Contorno dejan un acabado muy similar.
- Zambullida deja en mal estado a la herramienta.
- EL ESTUDIO DE SEMIACABADO PARTIRÁ DE UN DESBASTE TIPO CONTORNO.

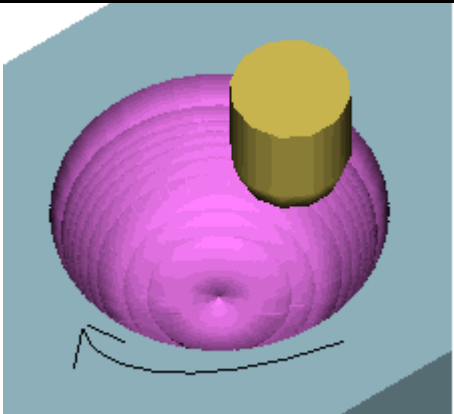
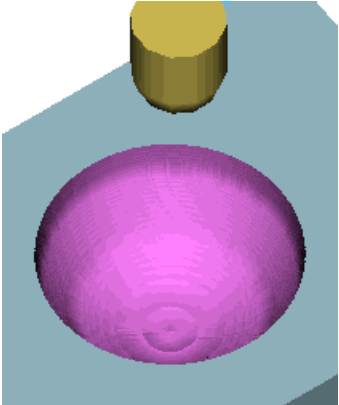
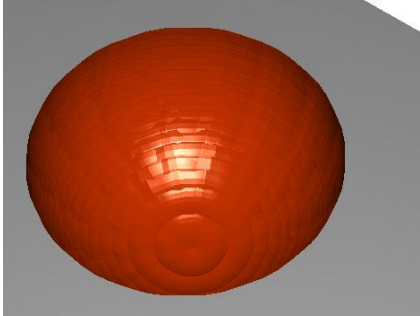
5.3.2 ESTUDIO DE SEMIACABADO

Parámetros:		
	<i>Diámetro de Esfera</i>	50 mm
	<i>Herramienta:</i>	18 radial
	<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 150 ; Z: 80
	<i>Paso Lateral</i>	1 mm
	<i>Tipo de Dirección:</i>	Ida y Vuelta
	<i>Superf d Desplazamiento:</i>	0.1
Estrategia:	LINEAL	
Tiempo:	20 min 14 s	
Observaciones	Acabado bueno pero quedan gradas significativas a los lados.	
Foto:		

Parámetros:		
	<i>Diámetro de Esfera</i>	50 mm

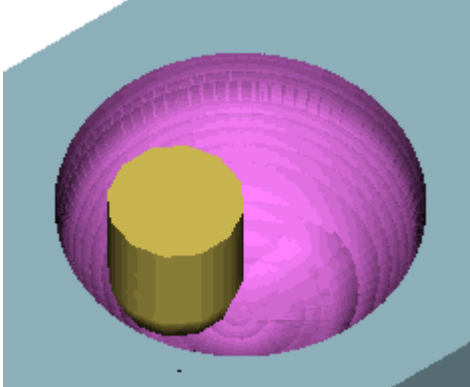

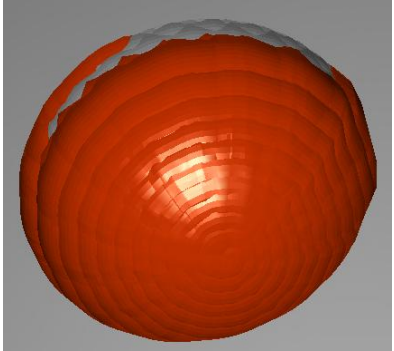


	<i>Herramienta:</i>	18 radial
	<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 150 ; Z: 80
	Paso Lateral	1 mm
	Tipo de Corte:	Suavizado
	Empezar desde:	Afuera
	Superf d Desplazamiento:	0.1
Estrategia:	CAJERA CIRCULAR	
Tiempo:	20 min 14 s	
Observaciones	Acabado bueno pero quedan gradas significativas en la parte superior.	
Foto:		

Parámetros:		
	<i>Diámetro de Esfera</i>	50 mm
	<i>Herramienta:</i>	18 radial
	<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 150 ; Z: 80
	Paso de Bajada	1 mm
	Tipo de Dirección:	Arriba hacia Abajo
	Superf d Desplazamiento:	0.1
Estrategia:	Z CONSTANTE	
Tiempo:	26 min 5 s	
Observaciones	Acabado bueno y sin gradas significativas a los lados, ni en la parte superior.	
Foto:		
		
		

Parámetros:

	<i>Diámetro de Esfera</i>	50 mm	
	<i>Herramienta:</i>	18 radial	
	<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 150 ; Z: 80	
	Paso Lateral	1 mm	
	Tipo de Dirección:	Ida y Vuelta	
	Superf d Desplazamiento:	0.1	
Estrategia:	CORTE COMPENSADO		
Tiempo:			
Observaciones	No es aplicable en este caso ya que sirve para dividir la superficie que deseamos en áreas, lo cual no queremos por ser una única superficie de trabajo.		
Foto:			

Parámetros:			
	<i>Diámetro de Esfera</i>	50 mm	
	<i>Herramienta:</i>	18 radial	
	<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 150 ; Z: 80	
	Paso Lateral	1 mm	
	Tipo de Dirección:	Ida y Vuelta	
	Superf d Desplazamiento:	0.1	
Estrategia:	ESPIRAL		
Tiempo:			
Observaciones	Deja un acabado aceptable en la parte inferior, pero a medida que sube deja unas gradas pronunciadas. No maquina en la parte superior.		
Foto:			 

Parámetros:

	<i>Diámetro de Esfera</i>	50 mm	
	<i>Herramienta:</i>	18 radial	
	<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 150 ; Z: 80	
	Paso Lateral	1 mm	
	Tipo de Dirección:	Ida y Vuelta	
	Superf d Desplazamiento:	0.1	
Estrategia:	SOBREPASO CONSTANTE		
Tiempo:			
Observaciones	No máquina nada. SolidCam recomienda esta estrategia para superficies prismáticas		
Foto:			

Parámetros:			
	<i>Diámetro de Esfera</i>	50 mm	
	<i>Herramienta:</i>	18 radial	
	<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 150 ; Z: 80	
	Paso Lateral	1 mm	
	Tipo de Dirección:	Ida y Vuelta	
	Superf d Desplazamiento:	0.1	
Estrategia:	FRESADO LÁPIZ		
Tiempo:			
Observaciones	No máquina nada. SolidCam recomienda únicamente para acabados finales y curvas de formas complejas.		
Foto:			

ANÁLISIS DE RESULTADOS

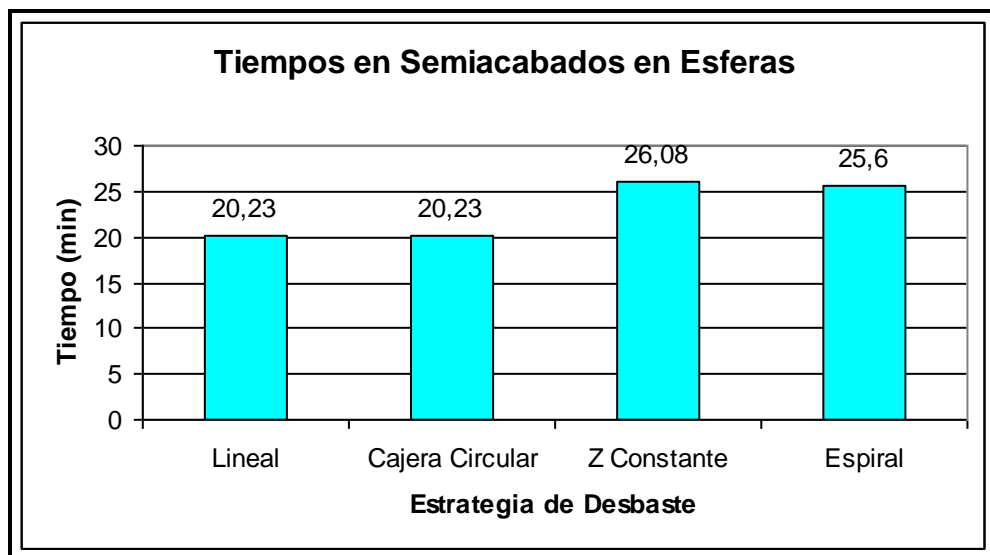


Figura 5.30 Tiempos de semiacabado en superficies esféricas

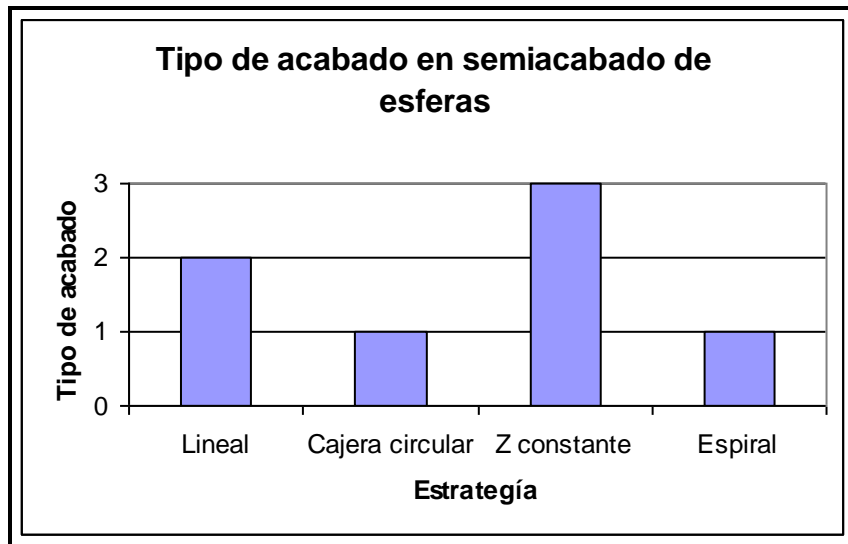


Figura 5.31 Tipo de acabado en semiacabado de superficies esféricas

Conclusiones:

- Cajera Circular toma un menor tiempo que los otros 3.
- Lineal deja un acabado bueno en un 85% de la superficie y el 15% restante son gradas muy pronunciadas.
- Cajera Circular realiza una mala interpolación en la parte superior de la esfera.
- Espiral no completa el maquinado en la parte superior
- Z constante es el que más tiempo toma pero es el que más se acerca a lo que se desea, realiza una buena interpolación.
- Z constante es apenas 27% más lento que el más rápido (cajera circular).
- El estudio de acabado partirá de un semiacabado tipo z constante.

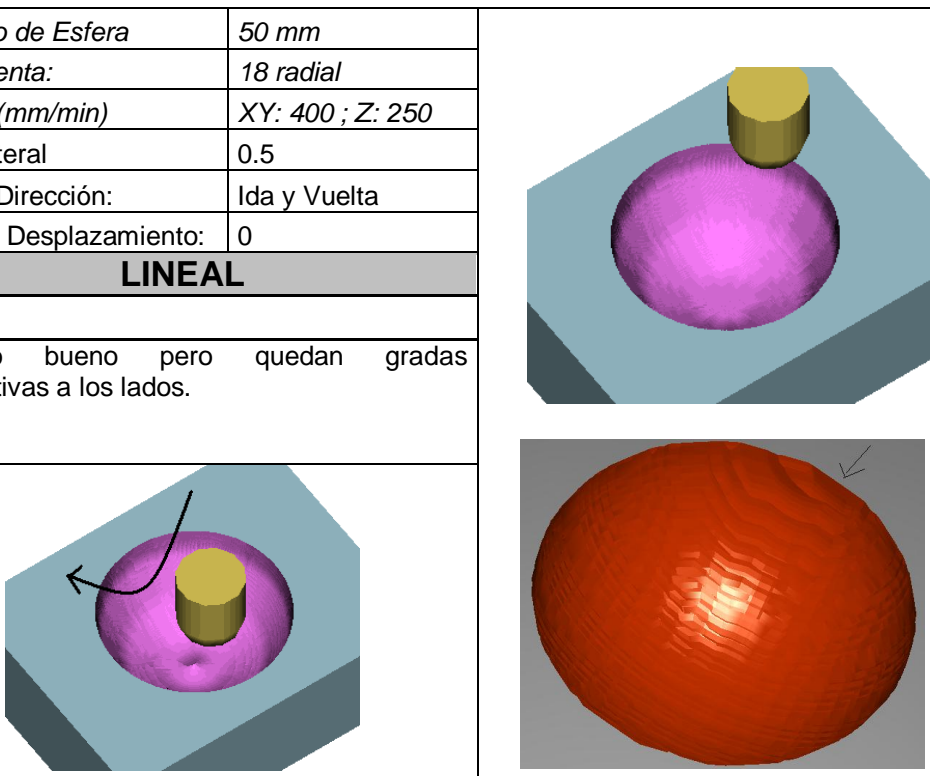
5.3.3 ESTUDIO DE ACABADO

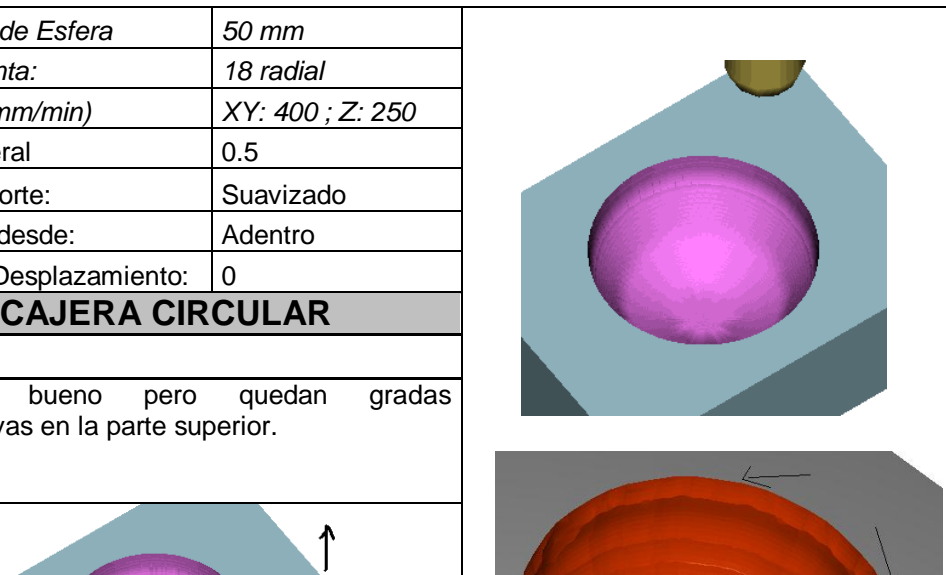
De los 7 tipos de semiacabado que son los mismos que el acabado, se descartarán las siguientes estrategias para el acabado:

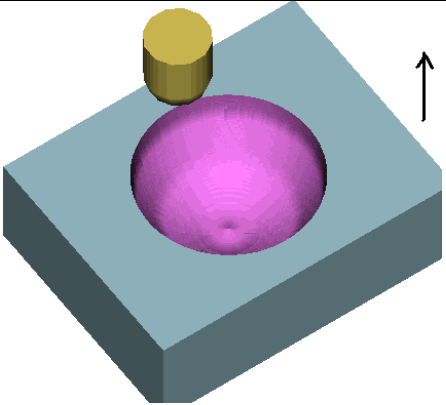
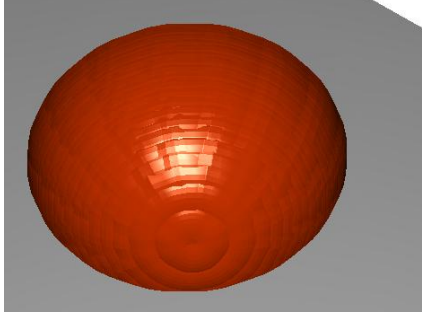
- Fresado Lápiz
- Espiral
- Corte Compensado
- Sobrepasso Constante

Esto se debe a que en el estudio anterior se demostró que estas estrategias no son recomendables para esta superficie. Así que se investigará mas profundamente las estrategias: Lineal, Cajera circular y Z constante para obtener el mejor resultado.

Debido a que solo nos falta 0,1 mm para llegar a lo que deseamos se usarán avances más rápidos para obtener un mejor acabado.

Parámetros:													
	<table border="1"> <tr> <td><i>Diámetro de Esfera</i></td> <td>50 mm</td> </tr> <tr> <td><i>Herramienta:</i></td> <td>18 radial</td> </tr> <tr> <td><i>Avance (mm/min)</i></td> <td>XY: 400 ; Z: 250</td> </tr> <tr> <td>Paso Lateral</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Dirección:</td> <td>Ida y Vuelta</td> </tr> <tr> <td>Superf d Desplazamiento:</td> <td>0</td> </tr> </table>	<i>Diámetro de Esfera</i>	50 mm	<i>Herramienta:</i>	18 radial	<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 400 ; Z: 250	Paso Lateral	0.5	Tipo de Dirección:	Ida y Vuelta	Superf d Desplazamiento:	0
<i>Diámetro de Esfera</i>	50 mm												
<i>Herramienta:</i>	18 radial												
<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 400 ; Z: 250												
Paso Lateral	0.5												
Tipo de Dirección:	Ida y Vuelta												
Superf d Desplazamiento:	0												
Estrategia:	LINEAL												
Tiempo:	44 min												
Observaciones	Acabado bueno pero quedan gradas significativas a los lados.												
Foto:													

Parámetros:															
	<table border="1"> <tr> <td><i>Diámetro de Esfera</i></td> <td>50 mm</td> </tr> <tr> <td><i>Herramienta:</i></td> <td>18 radial</td> </tr> <tr> <td><i>Avance (mm/min)</i></td> <td>XY: 400 ; Z: 250</td> </tr> <tr> <td>Paso Lateral</td> <td>0.5</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Corte:</td> <td>Suavizado</td> </tr> <tr> <td>Empezar desde:</td> <td>Adentro</td> </tr> <tr> <td>Superf d Desplazamiento:</td> <td>0</td> </tr> </table>	<i>Diámetro de Esfera</i>	50 mm	<i>Herramienta:</i>	18 radial	<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 400 ; Z: 250	Paso Lateral	0.5	Tipo de Corte:	Suavizado	Empezar desde:	Adentro	Superf d Desplazamiento:	0
<i>Diámetro de Esfera</i>	50 mm														
<i>Herramienta:</i>	18 radial														
<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 400 ; Z: 250														
Paso Lateral	0.5														
Tipo de Corte:	Suavizado														
Empezar desde:	Adentro														
Superf d Desplazamiento:	0														
Estrategia:	CAJERA CIRCULAR														
Tiempo:	28 min														
Observaciones	Acabado bueno pero quedan gradas significativas en la parte superior.														
Foto:															

Parámetros:			
	<i>Diámetro de Esfera</i>	50 mm	
	<i>Herramienta:</i>	18 radial	
	<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 400 ; Z: 250	
	Paso de Bajada	0.5 mm	
	Tipo de Dirección:	Abajo hacia arriba	
	Superf d Desplazamiento:	0	
Estrategia:	Z CONSTANTE		
Tiempo:	41 min		
Observaciones	Acabado bueno y sin gradas significativas a los lados, ni en la parte superior.		
Foto:			

ANÁLISIS DE RESULTADOS

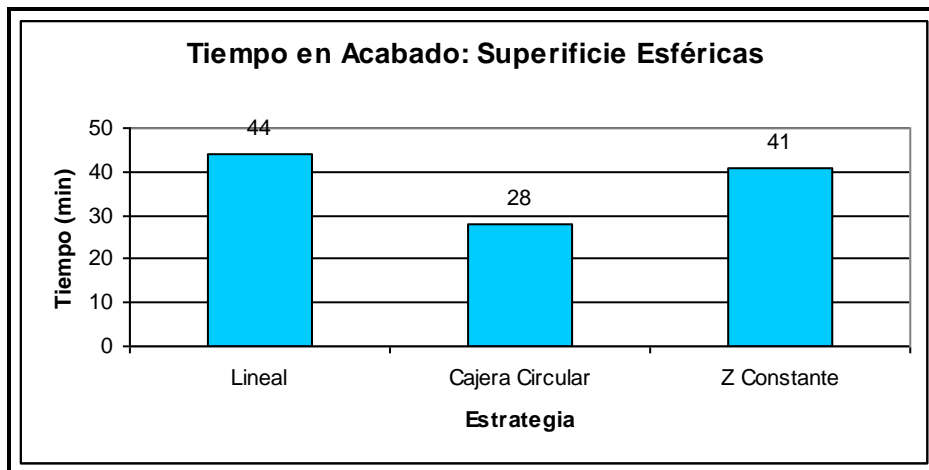


Figura 5.32 Tiempo de acabado en superficies esféricas

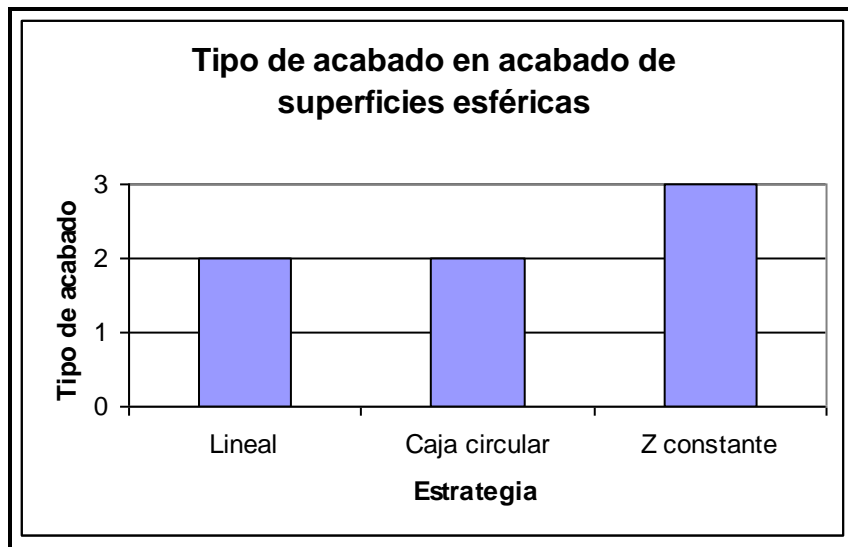


Figura 5.33 Tipo de acabado en acabado de superficies esféricas

Conclusiones:

- Cajera circular es la estrategia más rápida.
- Lineal daña la superficie en los costados dejando gradas similares al semiacabado.
- Lineal es la que mas tiempo toma.
- Cajera Circular realiza una mala interpolación en la parte superior de la esfera.
- Z constante es el que mas se acerca a lo que deseamos, tomando un tiempo menor que la cajera circular
- Z constante es la mejor estrategia de acabado.

5.3.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo al estudio anterior, para una esfera de diámetro 50 mm, se llega al siguiente resultado:

- El desbaste mas conveniente es el Contorno:
 - Tipo de corte: Convencional
 - Paso de Bajada: 1,5 mm
 - Superficie de desplazamiento: 0.8 mm
 - Solapado: 0,5
 - Modo: Cajera
 - Tiempo: 15 min 05 s

- El semiacabado mas conveniente es Z constante:
 - Proceso previo: Contorno

- Tipo de corte: Convencional
 - Paso de Bajada: 0,8 mm
 - Dirección: Arriba hacia abajo
 - Superficie de desplazamiento: 0,1
 - Tiempo: 26 min 05 s
- El acabado mas conveniente es Z constante:
- Proceso previo: Z constante
 - Tipo de corte: Convencional
 - Paso de Bajada: 0,5 mm
 - Dirección: Abajo hacia arriba
 - Superficie de desplazamiento: 0
 - Tiempo: 36 min
- Tiempo total: 1 H 17 min

5.4 SUPERFICIE CÓNCAVA

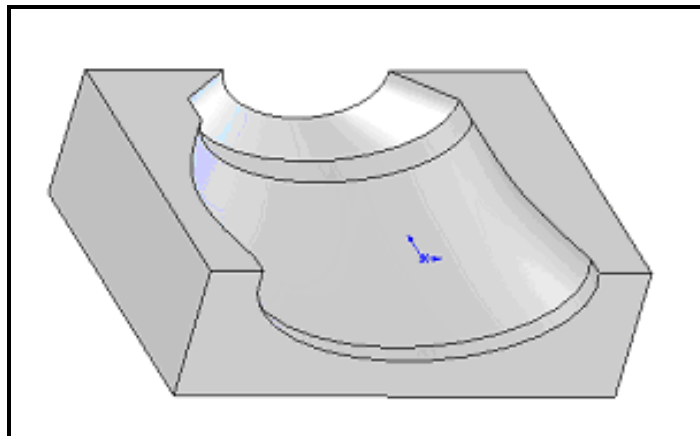
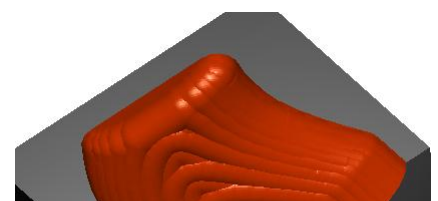
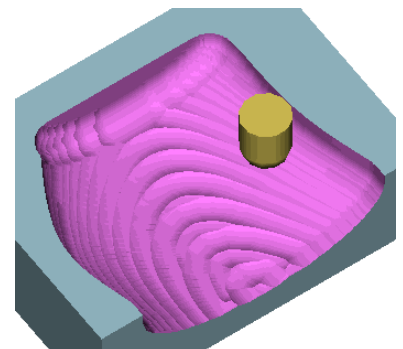
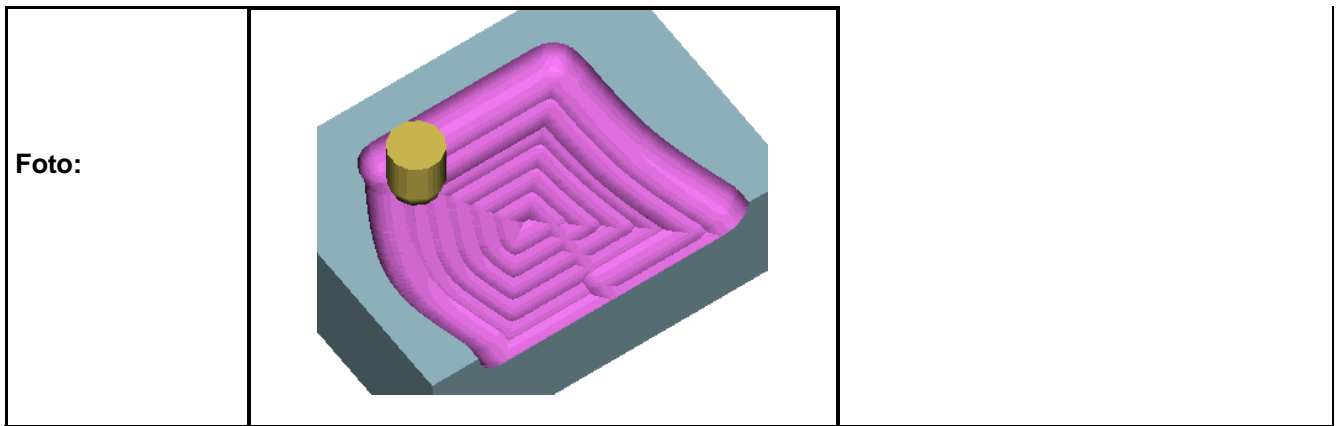


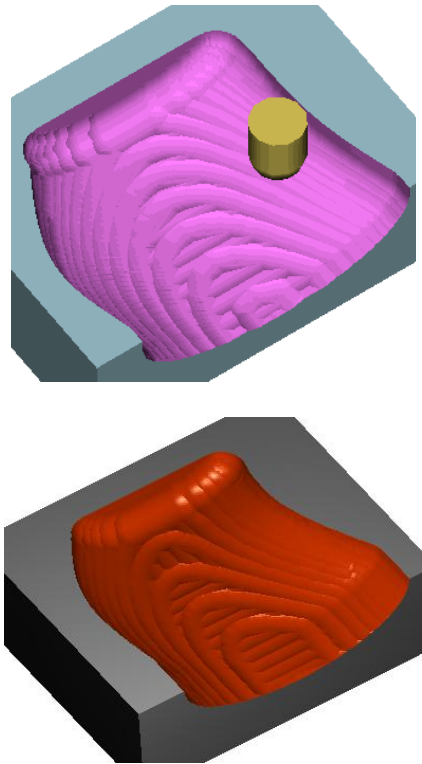
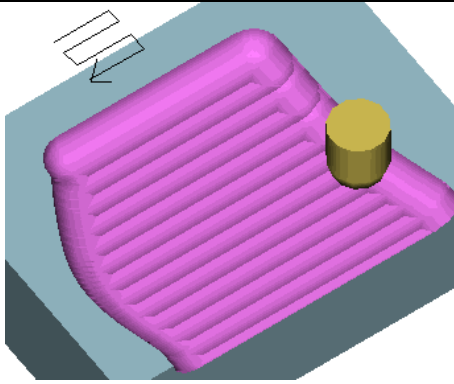
Figura 5.34 Superficie cóncava

5.4.1 ESTUDIO DE DESBASTE

Parámetros:	
Volumen de Corte	103,4 cm ³
Herramienta:	18 radial
Avance (mm/min)	XY: 150 ; Z: 80
Paso de Bajada:	1,5 mm
Solapado:	0.65
Superf d Desplazamiento:	0.8
Estrategia:	CONTORNO
Tiempo:	1 H 47 min
Observaciones	Realiza un buen desbaste alcanzando la mayoría de la superficie.





Parámetros:			
	Volumen de Corte	103,4 cm ³	
	Herramienta:	18 radial	
	Avance (mm/min)	XY: 150 ; Z: 80	
	Ángulo de Corte	Óptimo	
	Solapado:	0.65	
	Superf d Desplazamiento:	0.8	
Estrategia:	BARRIDO		
Tiempo:	2 H 15 min		
Observaciones	Realiza un buen desbaste muy similar contorno, su recorrido hace que demore mas que el otro desbaste.		
Foto:			

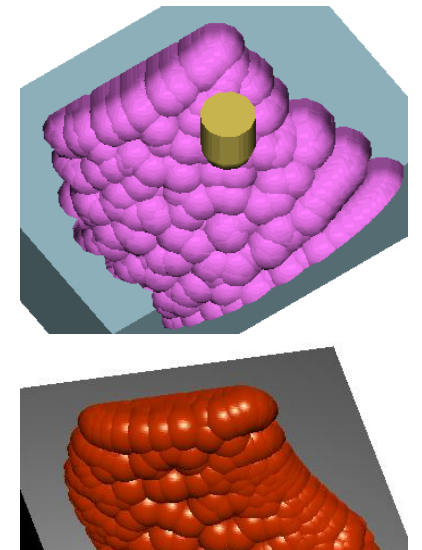
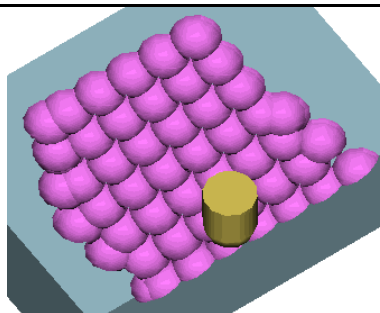
Parámetros:			
	Volumen de Corte	103,4 cm ³	
	Herramienta:	18 radial	
	Avance (mm/min)	XY: 150 ; Z: 80	
	Paso de bajada:	1.5 mm	
	Superf d Desplazamiento:	0.8	
Estrategia:	ENTRADA POR ZAMBULLIDA		
Tiempo:	2 H 25 min		
Observaciones	Demasiadas clavadas de herramienta con un acabado pésimo.		

Foto:



ANÁLISIS DE RESULTADOS

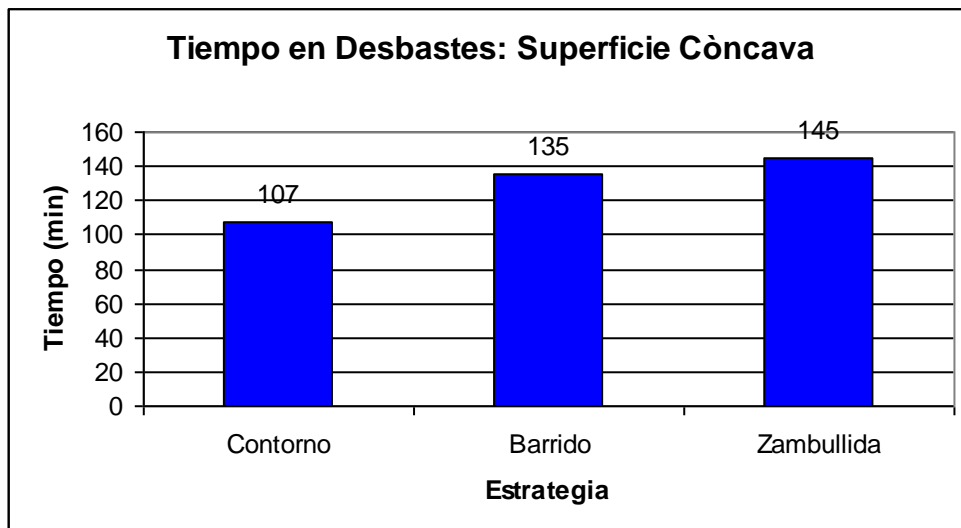


Figura 5.35 Tiempo en desbaste en superficies còncavas

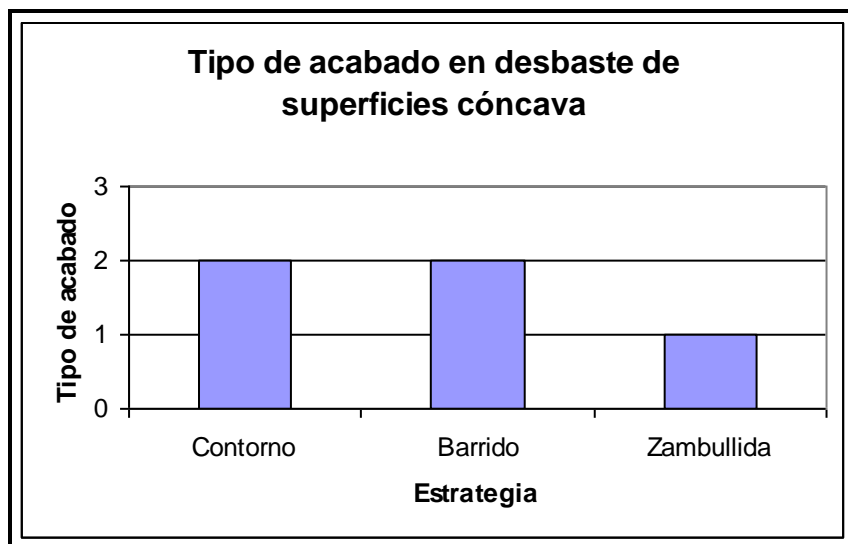
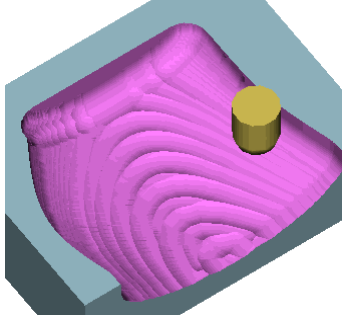


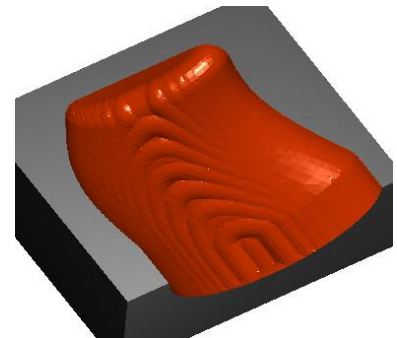
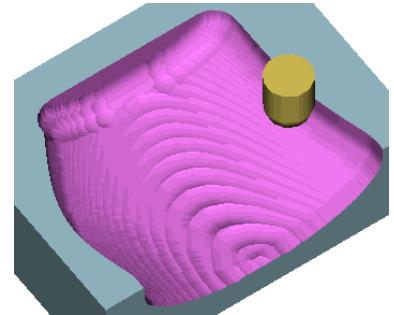
Figura 5.36 Tipo de acabado en desbaste de superficies còncavas

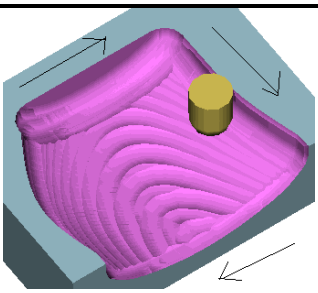
Conclusiones:

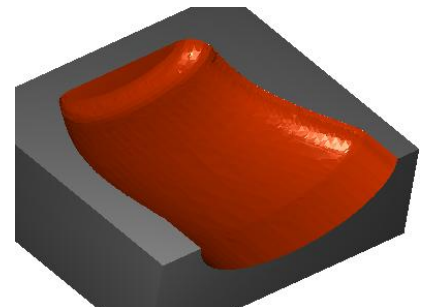
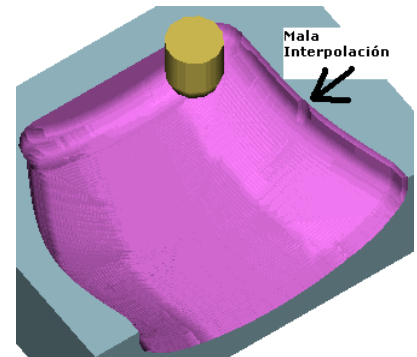
- Contorno toma un menor tiempo que los otros 2.
- Barrido tiene algunos tiempos muertos durante el maquinado.
- Barrido y Contorno dejan un acabado muy similar.
- Zambullida deja en mal estado a la herramienta.
- El estudio de semiacabado partirá de un desbaste tipo contorno.

5.4.2 ESTUDIO DE SEMIACABADO

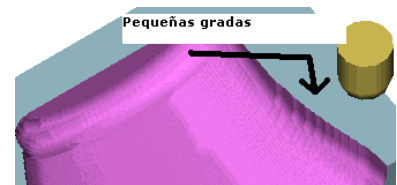
Parámetros:		
	Volumen de Corte	103,4 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 150 ; Z: 80
	Paso de bajada:	1 mm
	Superf d Desplazamiento:	0.1
	Dirección:	Arriba hacia Abajo
Estrategia:	Z CONSTANTE	
Tiempo:	27 min	
Observaciones	Abarca la superficie en un tiempo rápido pero no desbaste mucho.	
Foto:		

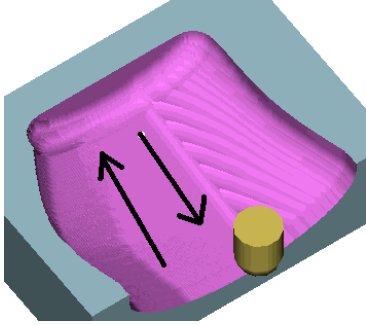


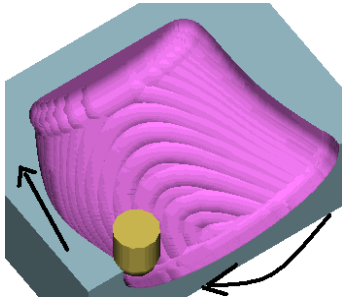
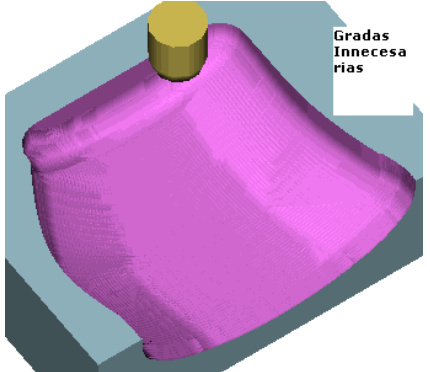
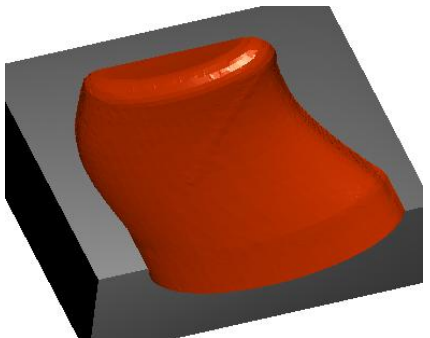
Parámetros:		
	Volumen de Corte	103,4 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 150 ; Z: 80
	Paso Lateral:	1 mm
	Superf d Desplazamiento:	0.1
	Comenzar desde:	Afuera
Estrategia:	CAJERA CIRCULAR	
Tiempo:	1 H 9 min	
Observaciones	Realiza una mala interpolación en la parte superior con clavadas inesperadas que podrían dañar la herramienta.	
Foto:		



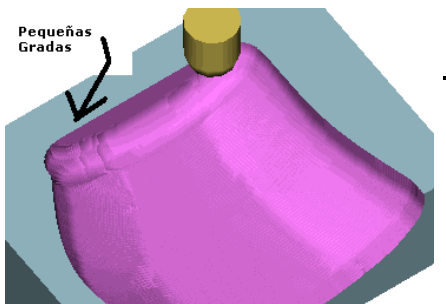
Parámetros:		
	Volumen de Corte	103,4 cm ³
	Herramienta:	18 radial

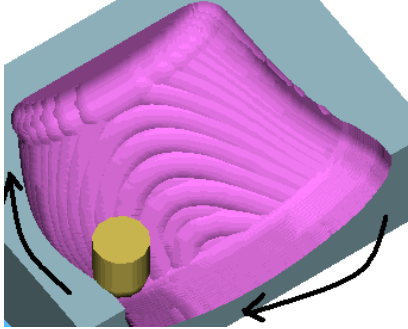


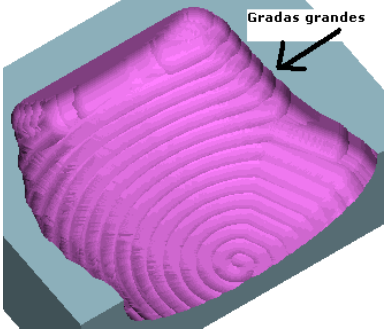
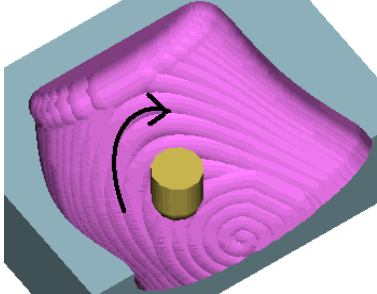
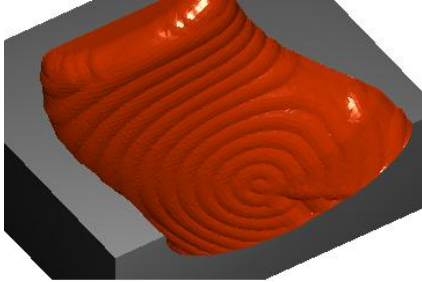
	Avance (mm/min)	XY: 150 ; Z: 80
	Paso Lateral:	1 mm
	Superf d Desplazamiento:	0.1
	Tipo de Dirección:	Ida y Vuelta
Estrategia:	LINEAL	
Tiempo:	1 H 17 min	
Observaciones	Realiza un maquinado constante, dejando pequeñas gradas en los costados.	
Foto:		

Parámetros:		
	Volumen de Corte	103,4 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 150 ; Z: 80
	Paso Lateral:	1 mm
	Superf d Desplazamiento:	0.1
	Dirección:	Para Adelante y suavizado
Estrategia:	CORTE COMPENSADO	
Tiempo:	1 H 12	
Observaciones	Muy similar a la cajera circular dejando el mismo acabado con clavadas innecesarias.	
Foto:		
		
		

Parámetros:		
	Volumen de Corte	103,4 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 150 ; Z: 80



	Paso Lateral:	1 mm
	Superf d Desplazamiento:	0.1
	Dirección:	Hacia delante y Liso
	Tipo:	Cajera
Estrategia:	SOBREPASO CONSTANTE	
Tiempo:	1 H 38 min	
Observaciones	Realiza una mala interpolación en esquinas cerradas pero no existen clavadas innecesarias de herramienta.	
Foto:		

Parámetros:			
	Volumen de Corte	103,4 cm ³	
	Herramienta:	18 radial	
	Avance (mm/min)	XY: 150 ; Z: 80	
	Tipo:	Arcos con el reloj	
	Superf d Desplazamiento:	0.1	
	Dirección:	Para Adelante, Radio de 2 a 80mm	
	Ángulo:	0 a 45°	
Estrategia:	ESPIRAL		
Tiempo:	22 min		
Observaciones	Deja un mal acabado ya que realiza un recorrido muy rápido y no maquina toda la superficie.		
Foto:			

ANÁLISIS DE RESULTADOS

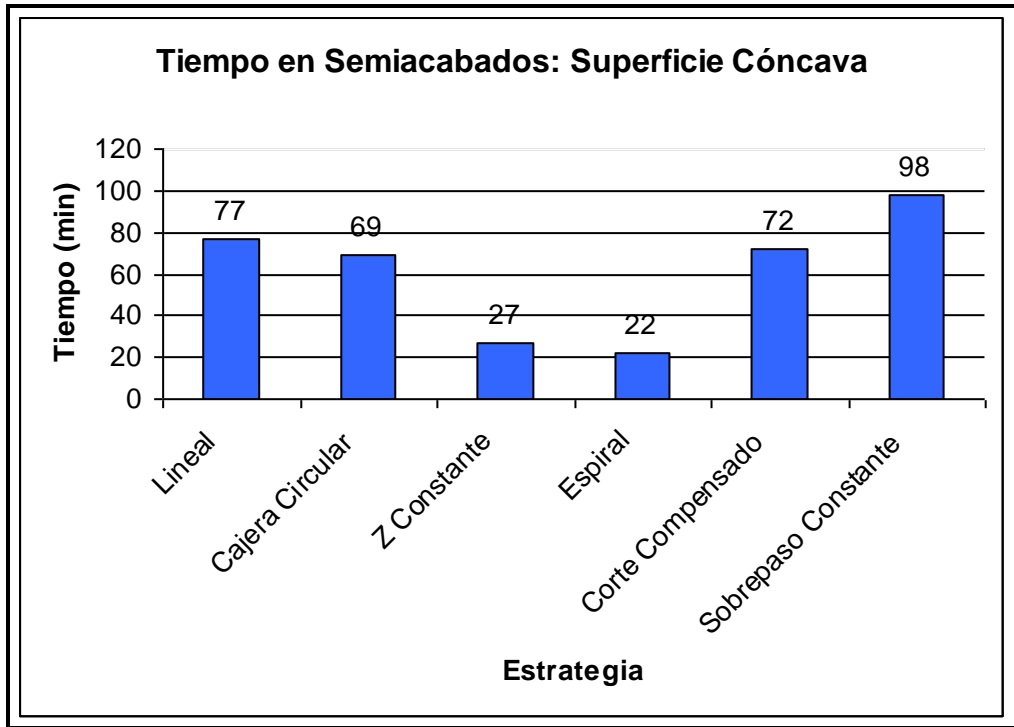


Figura 5.37 Tiempo de semiacabados en superficies cóncavas

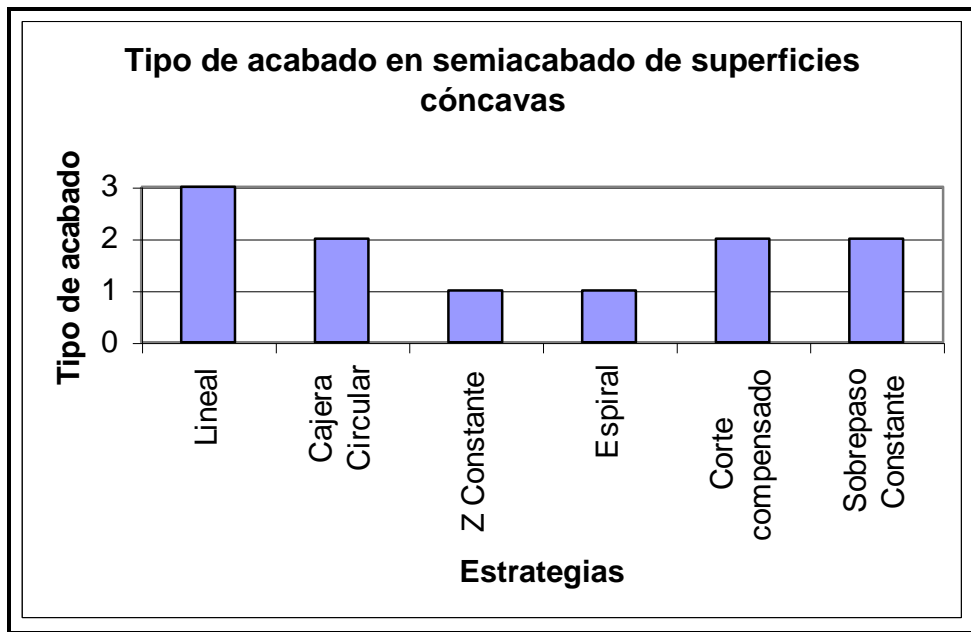


Figura 5.38 Tipo de acabado en semiacabado de superficies cóncavas

Conclusiones:

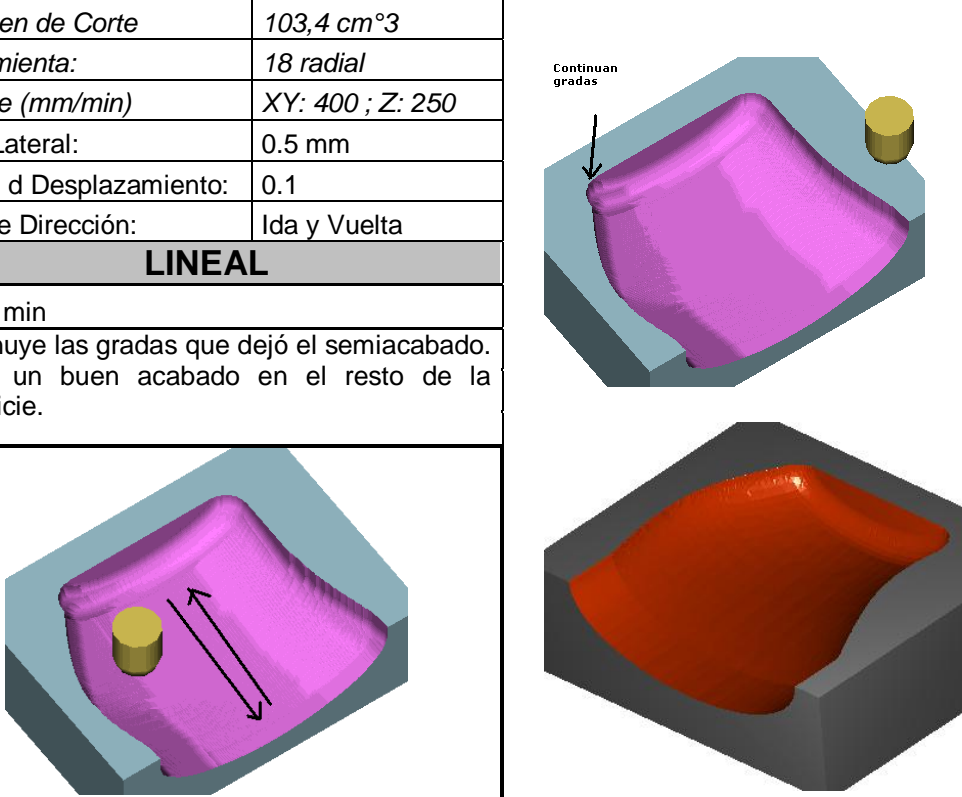
- Espiral y Z constante son las estrategias que menos tiempo toman pero son las que menos maquinan, por ende se alejan de lo que queremos.
- Cajera circular deja un buen acabado en la parte inferior, pero realiza una mala interpolación en la parte superior. Esto ocasiona clavadas repentinas de la herramienta que podrían romperla.
- Lineal realiza un buen corte con gradas pequeñas que pueden ser borradas con el acabado.
- Corte compensado y sobrepaso constante realizan un maquinado similar pero con gradas algo significativas de menor tamaño que la cajera circular.
- La mejor estrategia de semiacabado es Lineal.

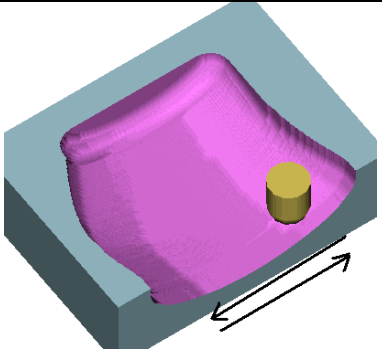
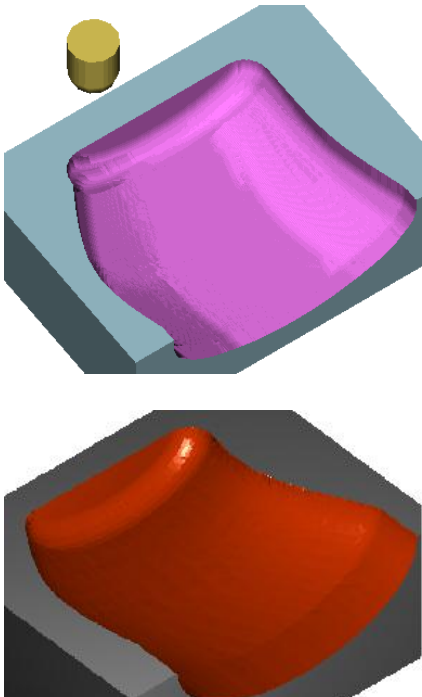
5.4.3 ESTUDIO DE ACABADO

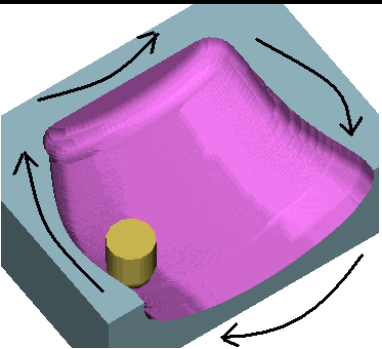
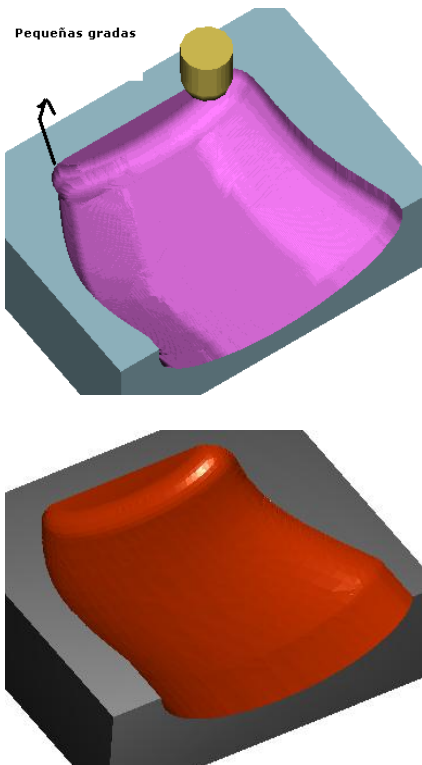
De los 7 tipos de semiacabado que son los mismos que el acabado, se descartarán las siguientes estrategias para el acabado:

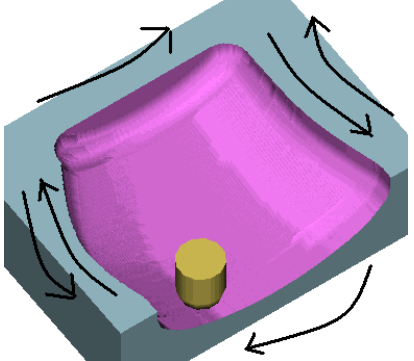
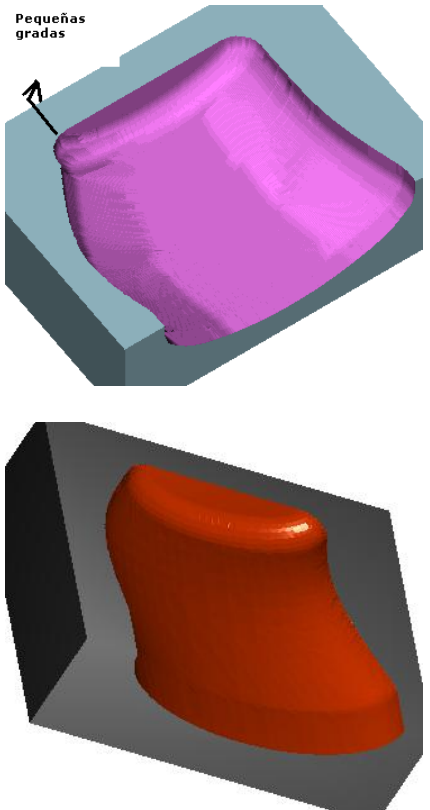
- Fresado Lápiz
- Espiral
- Z constante
- Cajera circular

Esto se debe a que en el estudio anterior se demostró que estas estrategias no son recomendables para esta superficie. Así que se investigará mas profundamente las estrategias: lineal, corte compensado y sobrepaso constante para obtener el mejor resultado.

Parámetros:													
	<table border="1"> <tr> <td>Volumen de Corte</td> <td>103,4 cm³</td> </tr> <tr> <td>Herramienta:</td> <td>18 radial</td> </tr> <tr> <td>Avance (mm/min)</td> <td>XY: 400 ; Z: 250</td> </tr> <tr> <td>Paso Lateral:</td> <td>0.5 mm</td> </tr> <tr> <td>Superf d Desplazamiento:</td> <td>0.1</td> </tr> <tr> <td>Tipo de Dirección:</td> <td>Ida y Vuelta</td> </tr> </table>	Volumen de Corte	103,4 cm ³	Herramienta:	18 radial	Avance (mm/min)	XY: 400 ; Z: 250	Paso Lateral:	0.5 mm	Superf d Desplazamiento:	0.1	Tipo de Dirección:	Ida y Vuelta
Volumen de Corte	103,4 cm ³												
Herramienta:	18 radial												
Avance (mm/min)	XY: 400 ; Z: 250												
Paso Lateral:	0.5 mm												
Superf d Desplazamiento:	0.1												
Tipo de Dirección:	Ida y Vuelta												
Estrategia:	LINEAL												
Tiempo:	2 h 28 min												
Observaciones	Disminuye las gradas que dejó el semiacabado. Deja un buen acabado en el resto de la superficie.												
Foto:													

Parámetros:		
	Volumen de Corte	103,4 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 400 ; Z: 250
	Paso Lateral:	0.5 mm
	Superf d Desplazamiento:	0.1
	Tipo de Dirección:	Ida y Vuelta
Estrategia:	LINEAL CRUZADO	
Tiempo:	2 H 53 min	
Observaciones	Borra por completo las gradas dejadas por el semiacabado, con una pequeña mala interpolación en la esquina cerrada.	
Foto:		
		

Parámetros:		
	Volumen de Corte	103,4 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 400 ; Z: 250
	Paso Lateral:	1 mm
	Superf d Desplazamiento:	0.1
	Dirección:	Hacia delante y Liso
	Tipo:	Cajera
Estrategia:	SOBREPASO CONSTANTE	
Tiempo:	3 H 07 min	
Observaciones	Borra las gradas dejadas por el semiacabado con una pequeña mala interpolación en la esquina cerrada.	
Foto:		
		

Parámetros:		
	Volumen de Corte	103,4 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 400 ; Z: 250
	Paso Lateral:	0.5 mm
	Superf d Desplazamiento:	0 mm
	Dirección:	Para Ida y vuelta y suavizado
Estrategia:	CORTE COMPENSADO	
Tiempo:	2 h 24 min	
Observaciones	Interpolación similar al sobrepaso constante y lineal cruzado pero realiza movimiento bidireccional que no deja un acabado uniforme en el resto de la superficie.	
Foto:		

ANÁLISIS DE RESULTADOS

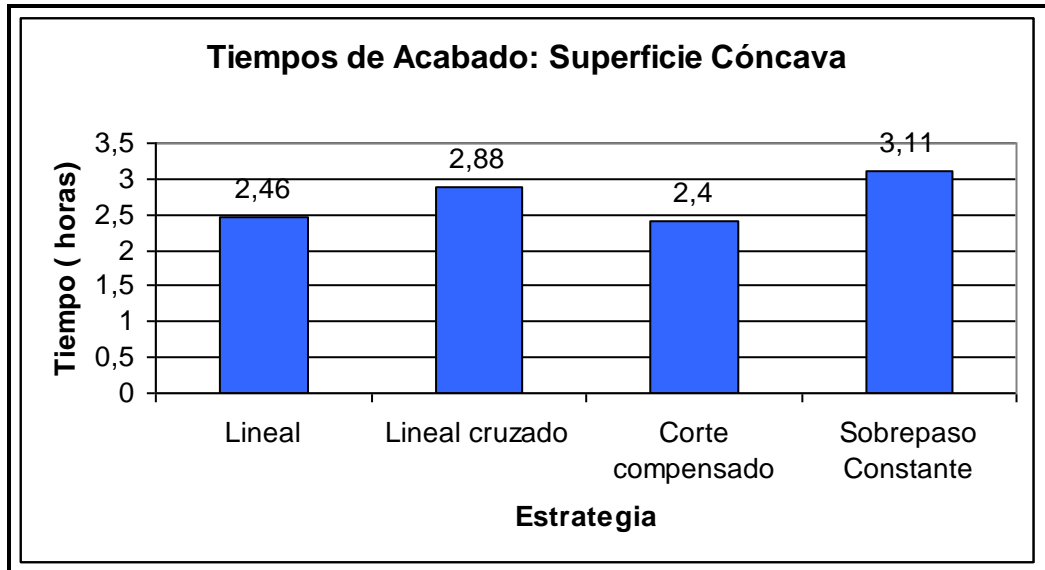


Figura 5.39 Tiempo de acabado en superficies cóncavas

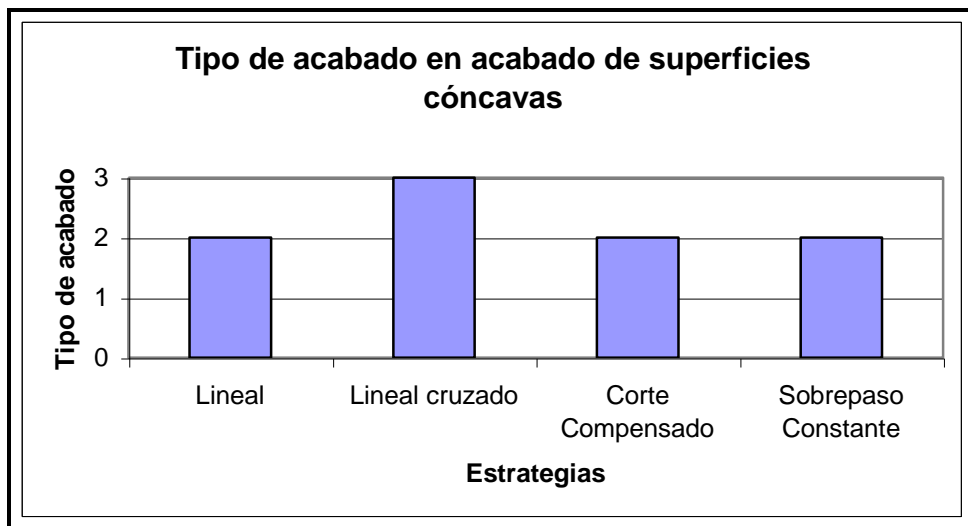


Figura 5.40 Tipo de acabado en acabado de superficies cóncavas

Conclusiones:

- Existe una diferencia del 22% entre la más lenta y rápida de las estrategias.
- Corte compensado y sobrepaso constante dejan las mismas gradas que en el semiacabado y para ser acabado son considerables.
- Lineal deja pequeñas gradas que no son tan significativas como corte compensado y sobrepaso constante.
- Lineal cruzado es el mejor interpola la superficie dejando menor cantidad de gradas, tomando apenas 24 minutos más que el lineal normal.

5.4.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo al estudio anterior, para una superficie cóncava cuyo volumen de corte es de 103 cm³ aproximadamente, se llega al siguiente resultado:

- El desbaste mas conveniente es el Contorno:
 - Tipo de corte: Convencional
 - Paso de Bajada: 1,5 mm.
 - Superficie de desplazamiento: 0.8 mm.
 - Solapado: 0,65
 - Modo: Cajera
 - Tiempo: 1 H 47 min.

- El semiacabado mas conveniente es Lineal:
 - Proceso previo: Contorno
 - Tipo de corte: Convencional
 - Paso lateral: 1 mm.
 - Dirección: Ida y Vuelta
 - Superficie de desplazamiento: 0,1
 - Tiempo: 1 H 17 min.

- El acabado mas conveniente es Lineal cruzado:
 - Proceso previo: Lineal
 - Tipo de corte: Convencional
 - Paso Lateral: 0,5 mm.
 - Dirección: Ida y Vuelta
 - Superficie de desplazamiento: 0
 - Tiempo: 2 H 53 min.

- Tiempo total: 5 H 57 min

5.5. SUPERFICIES CONVEXAS

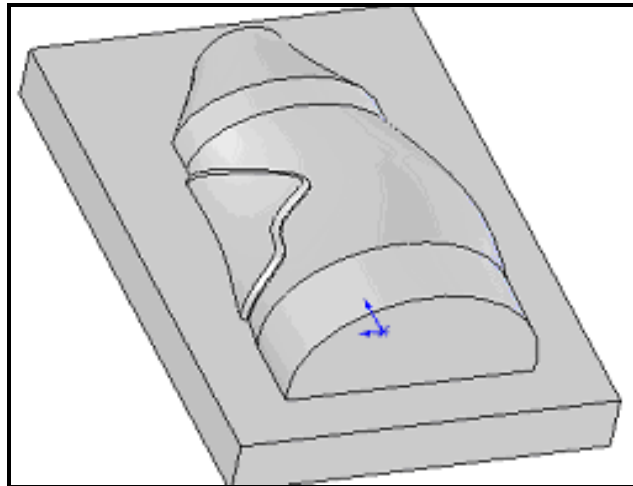
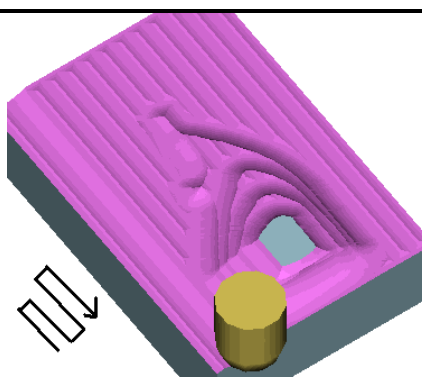


Figura 5.41 Superficie convexa

5.5.1 ESTUDIO DE DESBASTE

Parámetros:			
	Volumen de Corte	91.32 cm ³	
	Herramienta:	18 radial	
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100	
	Paso de Bajada:	2 mm	
	Solapado:	0.7	
	Superf d Desplazamiento:	0.8	
Estrategia:	CONTORNO		
Tiempo:	52 min 26s		
Observaciones	Buen desbaste alcanzando toda la superficie.		
Fotos			

Parámetros:		
	Volumen de Corte	91.32 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso de Bajada:	2 mm
	Solapado:	0.7
	Ángulo:	Óptimo
	Superf d Desplazamiento:	0.8
Estrategia:	BARRIDO	
Tiempo:	1 h 18 min	
Observaciones	Buen desbaste, maquinando toda superficie deseada.	
Fotos		

Parámetros:		
	Volumen de Corte	91,32 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso de Bajada:	2 mm
	Solapado:	0.7
	Superf d Desplazamiento:	0.8
Estrategia:	ENTRADA POR ZAMBULLIDA	
Tiempo:	58 min 43 s	
Observaciones	Demasiadas clavadas de herramienta dejando un pésimo acabado.	
Fotos		

ANÁLISIS DE RESULTADOS

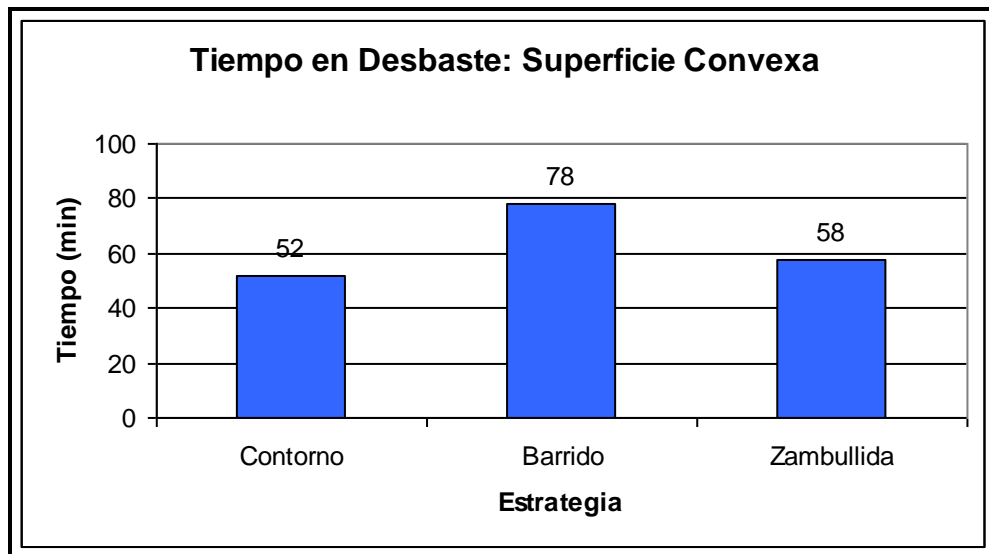


Figura 5.42 Tiempo de desbaste en superficies convexas

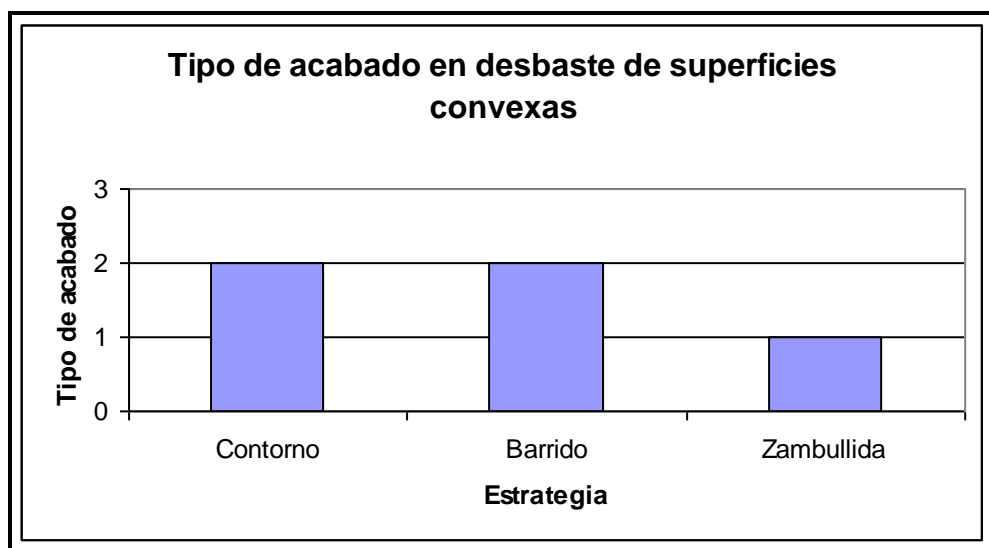
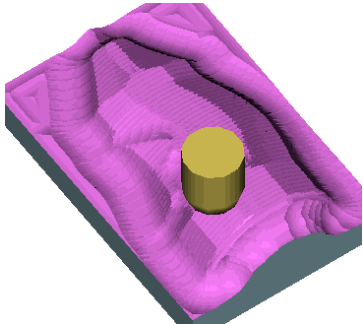
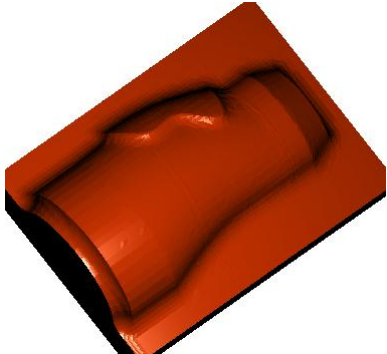
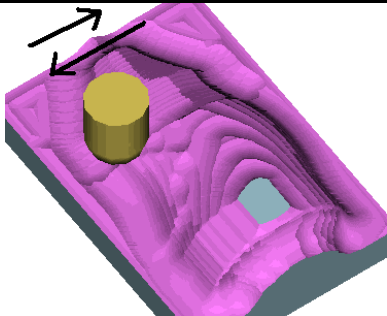


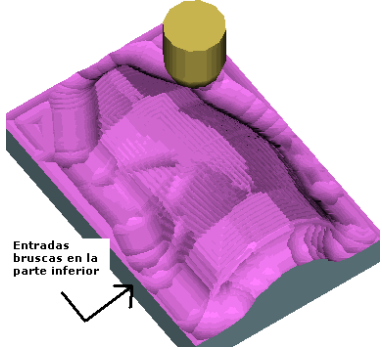
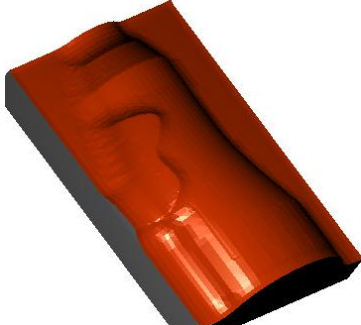
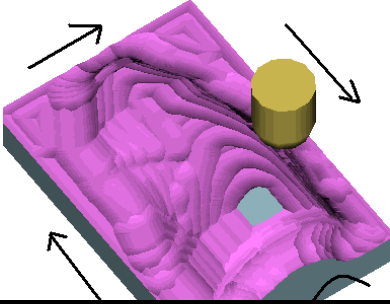
Figura 5.43 Tipo de acabado en desbaste de superficies convexas

Conclusiones:

- Contorno toma un menor tiempo que los otros 2.
- Barrido toma un 50% de tiempo que el Contorno.
- Barrido y Contorno dejan un acabado muy similar.
- Zambullida deja en mal estado a la herramienta.
- El estudio de semiacabado partirá de un desbaste tipo contorno.

5.5.2 ESTUDIO DE SEMIACABADO

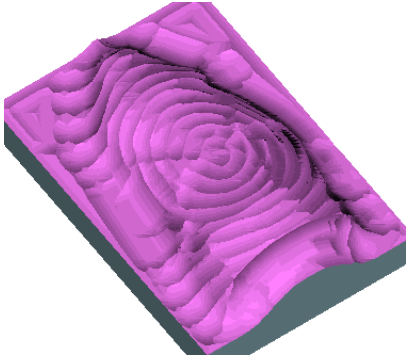
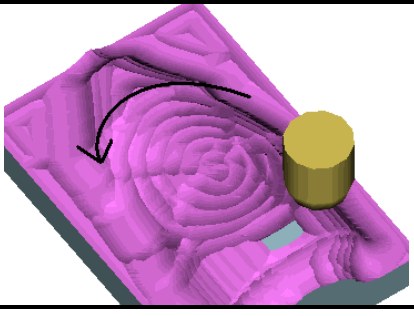
Parámetros:			
	Volumen de Corte	91,32 cm ³	
	Herramienta:	18 radial	
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100	
	Paso Lateral	1.5 mm	
	Dirección:	Ida y Vuelta y suavizado	
	Superf d Desplazamiento:	0.1	
Estrategia:	LINEAL		
Tiempo:	1 H 3 min		
Observaciones	Maquinado constante realizando una buena interpolación.		
Fotos			

Parámetros:			
	Volumen de Corte	91,32 cm ³	
	Herramienta:	18 radial	
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100	
	Paso de Lateral:	1.5 mm	
	Comenzar desde:	Afuera Convencional	
	Superf d Desplazamiento:	0.1	
Estrategia:	CAJERA CIRCULAR		
Tiempo:	50 min		
Observaciones	Buen acabado en la parte superior pero realiza clavadas bruscas en la parte inferior.		
Fotos			

Parámetros:		
	Volumen de Corte	91,32 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso de Bajada:	1,5 mm
	Tipo convencional	Arriba hacia abajo
	Superf d Desplazamiento:	0.1
Estrategia:	Z CONSTANTE	
Tiempo:	26 min	
Observaciones	Maquina la superficie de una forma demasiada rápida por lo que deja un mal acabado.	
Fotos		

Parámetros:		
	Volumen de Corte	91,32 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso Lateral:	2 mm
	Dirección:	Ida y Vuelta y suavizado
	Superf d Desplazamiento:	0.1
Estrategia:	CORTE COMPENSADO	
Tiempo:	52 min	
Observaciones	Realiza un acabado muy similar a la cajera circular pero cortes bidireccionales que dejan un acabado irregular en la superficie.	
Fotos		

Parámetros:			
	Volumen de Corte	91,32 cm ³	
	Herramienta:	18 radial	
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100	
	Paso Lateral	1.5 mm	
	Dirección y Tipo:	Cajera e Ida y Vuelta	
	Superf d Desplazamiento:	0.1	
Estrategia:	SOBREPASO CONSTANTE		
Tiempo:	1H 1min		
Observaciones	Realiza una buena interpolación maquinando de buena forma la parte superior e inferior. No realiza clavadas bruscas.		
Fotos			

Parámetros:			
	Volumen de Corte	91,32 cm ³	
	Herramienta:	18 radial	
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100	
	Tipo:	Arcos	
	Ángulo	0 a 45	
	Superf d Desplazamiento:	0.1	
Estrategia:	ESPIRAL		
Tiempo:	21 min		
Observaciones	Deja un mal acabado por realizar el movimiento en un tiempo muy corto.		
Fotos			

ANÁLISIS DE RESULTADOS

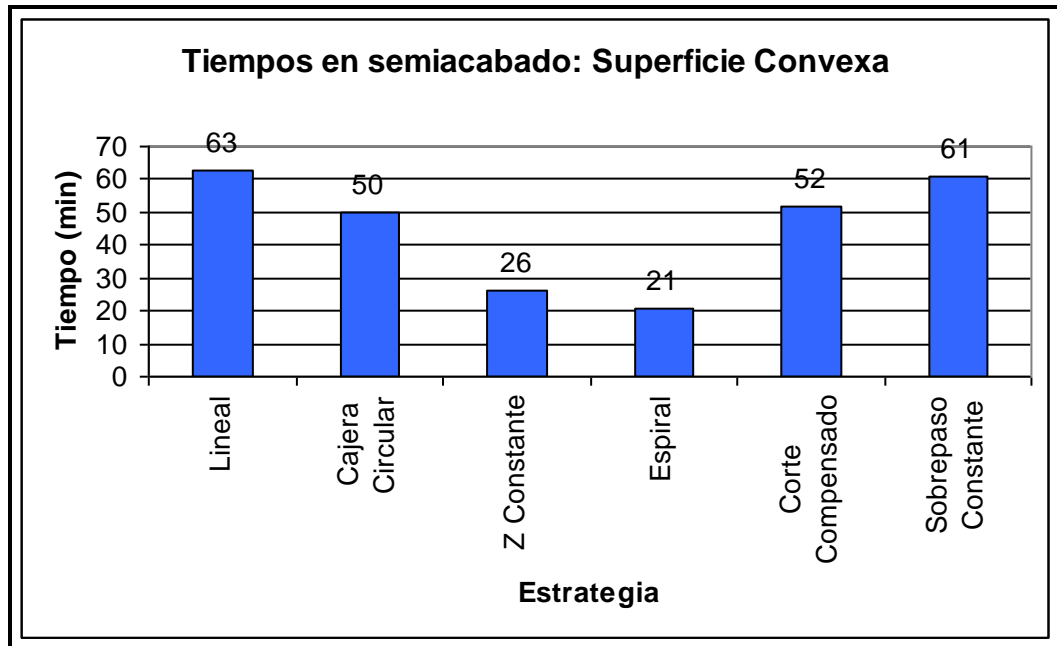


Figura 5.44 Tiempos de semiacabado en superficies convexas

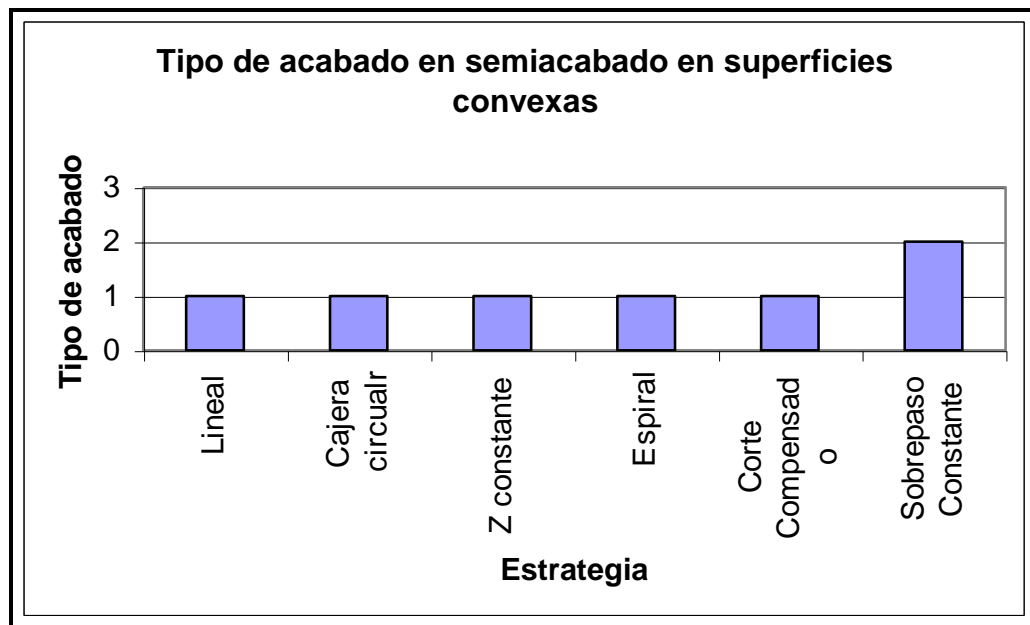


Figura 5.45 Tipo de acabado en semiacabado de superficies convexas

Conclusiones:

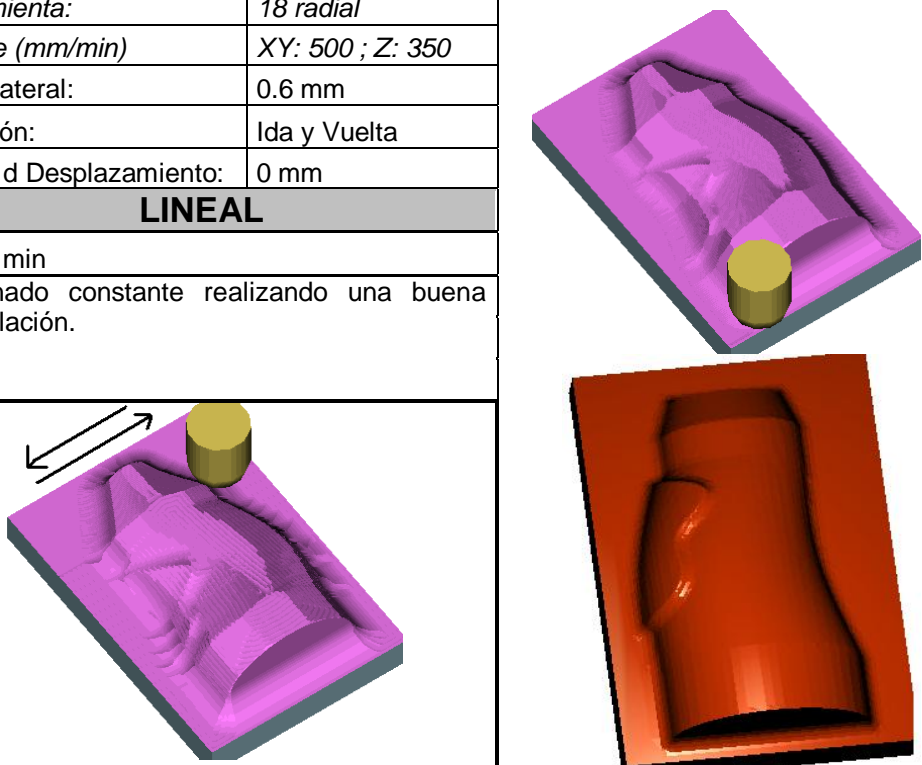
- Espiral y Z constante son las estrategias que menos tiempo toman pero son las que menos maquinan, por ende se alejan de lo que se desea.
- Cajera circular y corte compensado deja un buen acabado en la parte inferior, pero realiza una mala interpolación en la parte superior. Esto ocasiona clavadas repentinas de la herramienta que podrían romperla.
- Linear realiza un buen corte con gradas pequeñas que pueden ser borradas con el acabado.
- Sobrepaso constante realizan un buen acabado similar al lineal.
- Por tanto se tomará al sobrepaso constante como estrategia previa al acabado.

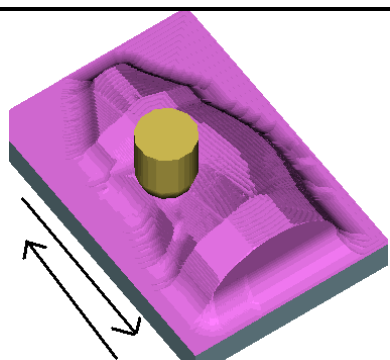
5.5.3 ESTUDIO DE ACABADO

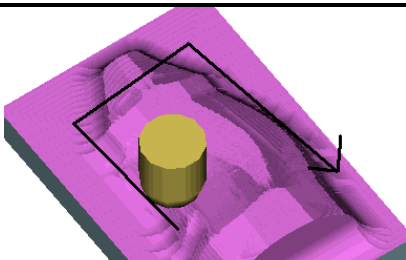
De los 7 tipos de semiacabado que son los mismos que el acabado, se descartarán las siguientes estrategias para el acabado:

- Fresado Lápiz
- Espiral
- Z constante
- Cajera circular
- Corte compensado

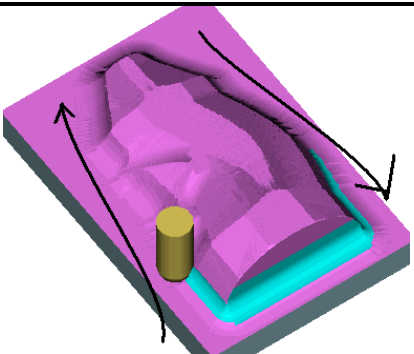
Esto se debe a que en el estudio anterior se demostró que estas estrategias no son recomendables para esta superficie. Así que se investigará mas profundamente las estrategias: lineal y sobrepaso constante para obtener el mejor resultado.

Parámetros:													
	<table border="1"> <tr> <td><i>Volumen de Corte</i></td> <td>91,32 cm³</td> </tr> <tr> <td><i>Herramienta:</i></td> <td>18 radial</td> </tr> <tr> <td><i>Avance (mm/min)</i></td> <td>XY: 500 ; Z: 350</td> </tr> <tr> <td>Paso Lateral:</td> <td>0.6 mm</td> </tr> <tr> <td>Dirección:</td> <td>Ida y Vuelta</td> </tr> <tr> <td>Superf d Desplazamiento:</td> <td>0 mm</td> </tr> </table>	<i>Volumen de Corte</i>	91,32 cm ³	<i>Herramienta:</i>	18 radial	<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 500 ; Z: 350	Paso Lateral:	0.6 mm	Dirección:	Ida y Vuelta	Superf d Desplazamiento:	0 mm
<i>Volumen de Corte</i>	91,32 cm ³												
<i>Herramienta:</i>	18 radial												
<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 500 ; Z: 350												
Paso Lateral:	0.6 mm												
Dirección:	Ida y Vuelta												
Superf d Desplazamiento:	0 mm												
Estrategia:	LINEAL												
Tiempo:	1 H 55 min												
Observaciones	Maquinado constante realizando una buena interpolación.												
Fotos													

Parámetros:		
	Volumen de Corte	91,32 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 500 ; Z: 350
	Paso Lateral:	0.6 mm
	Dirección:	Ida y Vuelta a 90°
	Superf d Desplazamiento:	0 mm
Estrategia:	LINEAL CRUZADO	
Tiempo:	1 h 36 min	
Observaciones	Maquinado constante realizando una buena interpolación.	
Fotos		

Parámetros:		
	Volumen de Corte	91,32 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 500 ; Z: 350
	Paso Lateral:	0.6 mm
	Dirección:	Ida y Vuelta a 90°
	Superf d Desplazamiento:	0 mm
Estrategia:	SOBREPASO CONSTANTE	
Tiempo:	1 H 27	
Observaciones	Maquinado constante realizando una buena interpolación.	
Fotos		

--	--	--

Parámetros:		
	<i>Volumen de Corte</i>	91,32 cm ³
	<i>Herramienta:</i>	18 radial + 12 radial
	<i>Avance (mm/min)</i>	XY: 500 ; Z: 350
	<i>Paso Lateral:</i>	0.6 mm
	<i>Dirección:</i>	Ida y Vuelta
	<i>Superf d Desplazamiento:</i>	0 mm
Estrategia:	SOBREPASO CONSTANTE + RANURA	
Tiempo:	1 H 29	
Observaciones	Maquinado constante realizando una buena interpolación.	
Fotos		

ANÁLISIS DE RESULTADOS

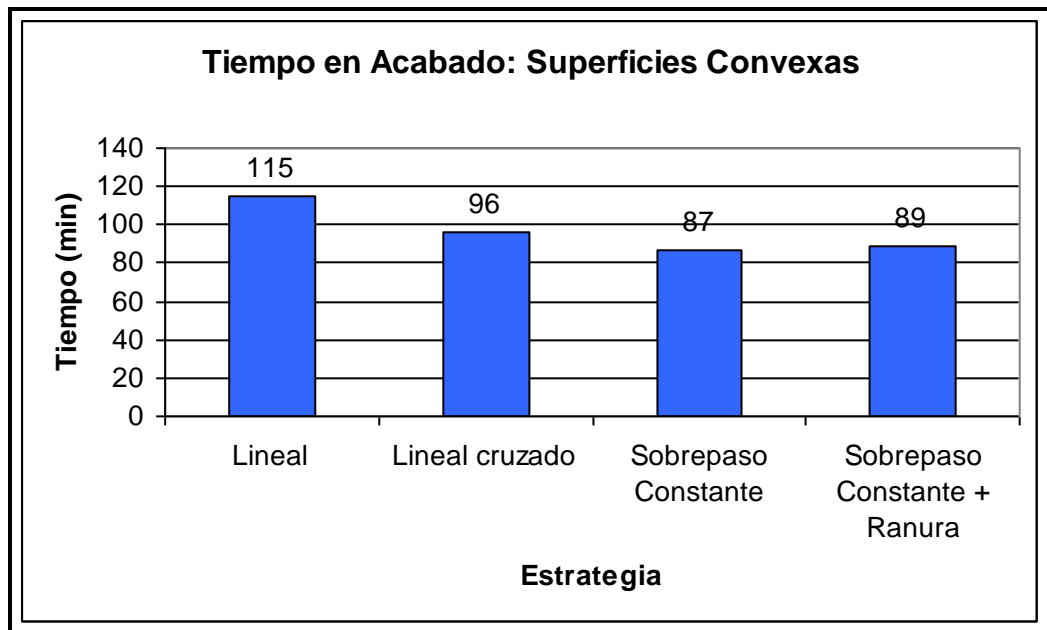


Figura 5.46 Tiempo de acabado en superficies convexas

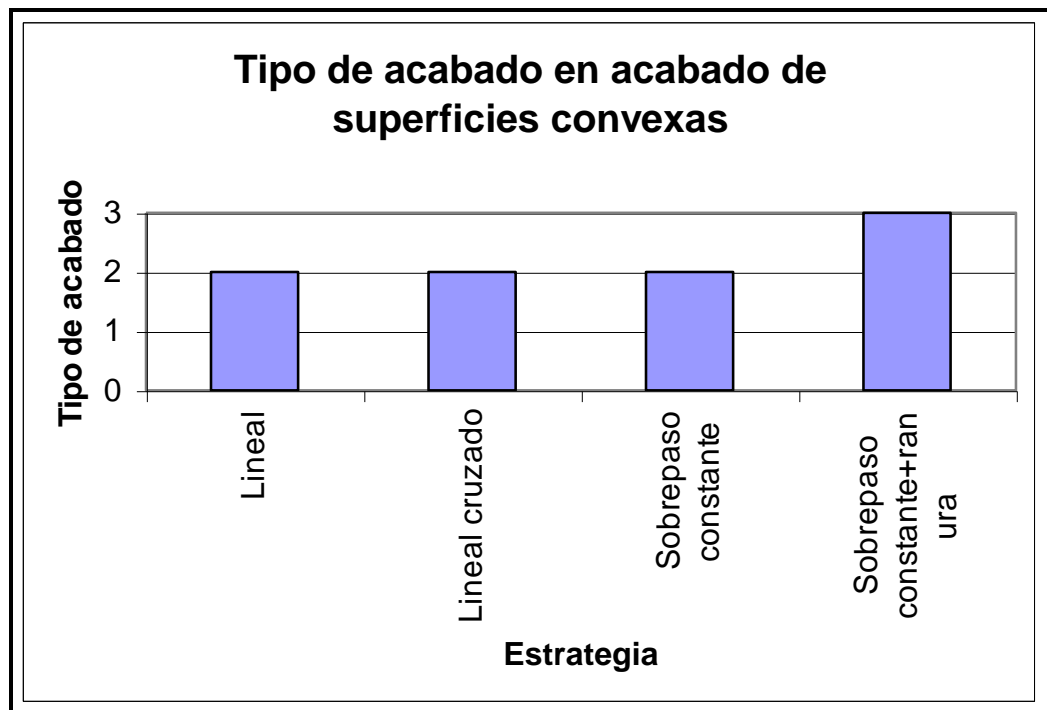


Figura 5.47 Tipo de acabado en acabado de superficies convexas

Conclusiones:

- Lineal, lineal cruzado y sobrepaso constante dejan un acabado muy bueno y muy cercano a lo que se desea.
- Lineal es la estrategia más lenta con una diferencia del 22,6 % en comparación a la más rápida.
- La operación sobrepaso constante + ranura es la operación que mas se acerca a lo que se desea ya que maquina a los costados también.
- El mejor acabado para superficie convexa es la estrategia combinada sobrepaso constante + ranura.

5.5.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo al estudio anterior, para una superficie convexa con un volumen a cortar aproximado de 92 cm³, se llega al siguiente resultado:

- El desbaste mas conveniente es el Contorno:
 - Tipo de corte: Convencional
 - Paso de Bajada: 2 mm
 - Superficie de desplazamiento: 0.8 mm
 - Solapado: 0,7
 - Modo: Cajera
 - Tiempo: 53 min

- El semiacabado mas conveniente es Sobrepasso constante:
 - Proceso previo: Contorno
 - Tipo de corte: Convencional
 - Modo: Cajera
 - Paso Lateral: 1,5 mm
 - Dirección: Ida y Vuelta
 - Superficie de desplazamiento: 0,1
 - Tiempo: 1 H 1min.

- El acabado mas conveniente es Sobrepasso constante + ranura:
 - Proceso previo: Sobrepasso constante
 - Tipo de corte: Convencional
 - Modo: Cajera
 - Paso Lateral: 0,6 mm
 - Dirección: Ida y vuelta
 - Superficie de desplazamiento: 0
 - Tiempo: 1 H 29 min

- Tiempo total: 3 H 23 min

5.6 SUPERFICIES PRISMÁTICAS

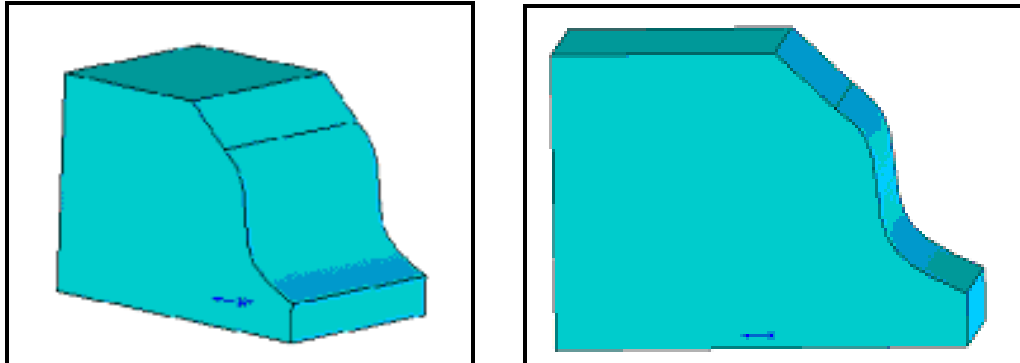
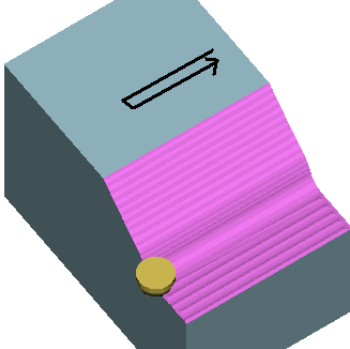
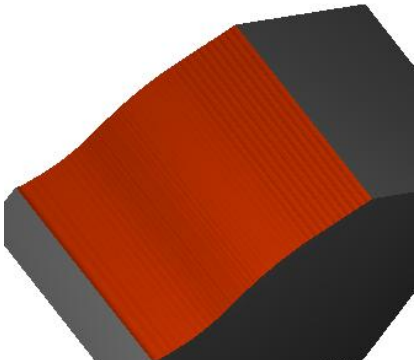
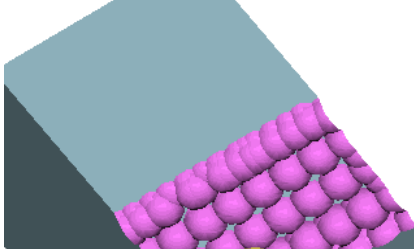
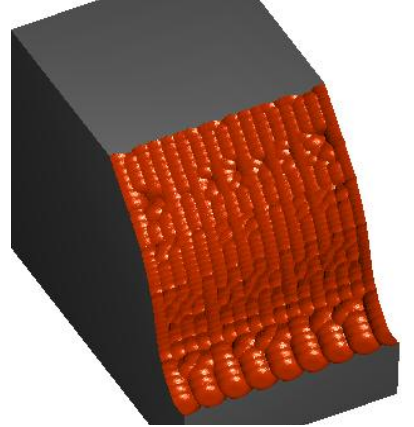


Figura 5.48 Superficie prismática

5.6.1 ESTUDIO DE DESBASTE

Parámetros:													
	<table border="1"> <tr> <td>Volumen de Corte</td> <td>980 cm³</td> </tr> <tr> <td>Herramienta:</td> <td>18 radial</td> </tr> <tr> <td>Avance (mm/min)</td> <td>XY: 200 ; Z: 100</td> </tr> <tr> <td>Paso de Bajada:</td> <td>2 mm</td> </tr> <tr> <td>Solapado:</td> <td>0.7</td> </tr> <tr> <td>Superf d Desplazamiento:</td> <td>0.8</td> </tr> </table>	Volumen de Corte	980 cm ³	Herramienta:	18 radial	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100	Paso de Bajada:	2 mm	Solapado:	0.7	Superf d Desplazamiento:	0.8
Volumen de Corte	980 cm ³												
Herramienta:	18 radial												
Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100												
Paso de Bajada:	2 mm												
Solapado:	0.7												
Superf d Desplazamiento:	0.8												
Estrategia:	CONTORNO												
Tiempo:	3 H 20 min												
Observaciones	Realiza un buen desbaste en la zona de mayor pendiente y en la zona superior no.												
Foto:													

Parámetros:		
	Volumen de Corte	980 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso de Bajada:	2 mm
	Solapado:	0.5
	Superf d Desplazamiento:	0.8 y Ángulo Óptim
Estrategia:	BARRIDO	
Tiempo:	4 H 34	
Observaciones	Calidad de desbaste similar al contorno, demasiados tiempos muertos de herramienta	
Foto:	 	

Parámetros:		
	Volumen de Corte	980 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso de Bajada:	2 mm
	Solapado:	0.5
	Superf d Desplazamiento:	0.8
Estrategia:	ZAMBULLIDA	
Tiempo:	11 H 57 min	
Observaciones	Demasiado lento con un acabado pésimo.	
Foto:	 	

ANÁLISIS DE RESULTADOS

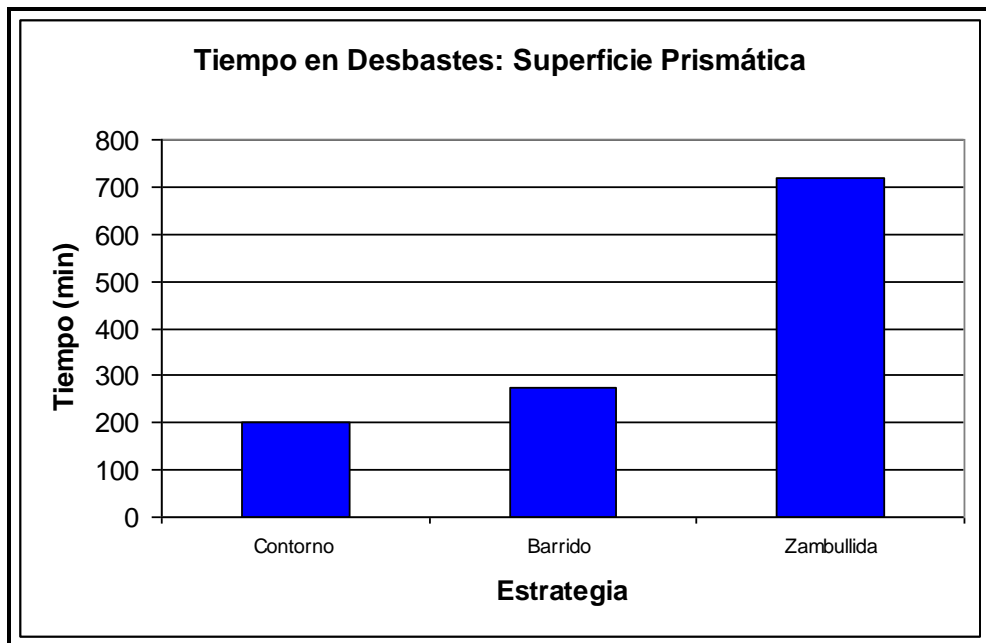


Figura 5.49 Tiempo de desbaste en superficies prismáticas

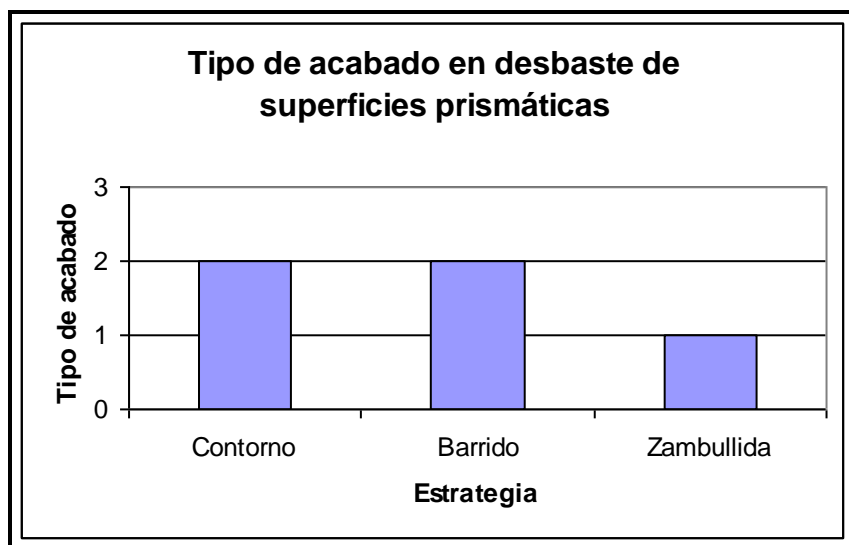
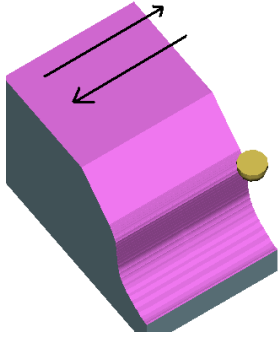


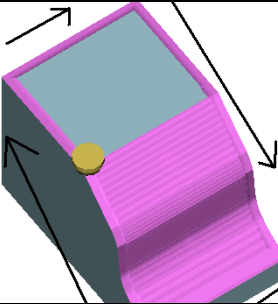
Figura 5.50 Tipo de acabado en desbaste de superficies prismáticas

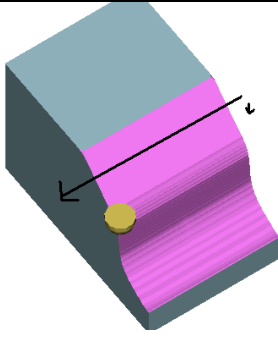
Conclusiones:

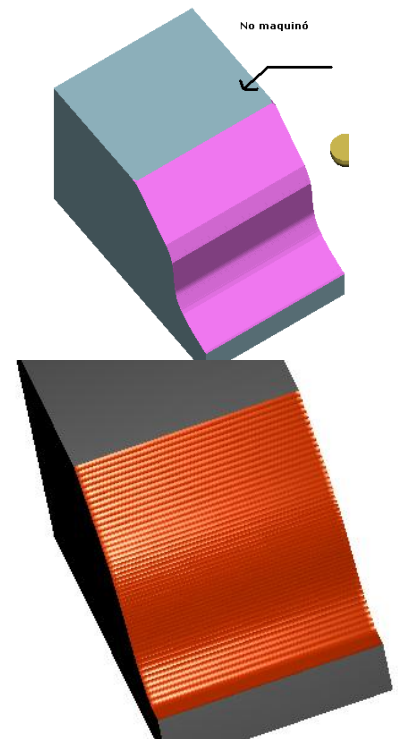
- Barrido demora un 50% más que el contorno.
- Barrido y contorno dejan un acabado muy similar.
- Zambullida es el proceso más lento y perjudicial para la herramienta.
- Se partirá de un contorno para el estudio de semiacabado.

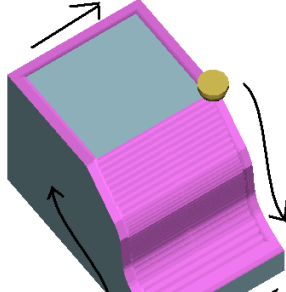
5.6.2 ESTUDIO DE SEMIACABADO

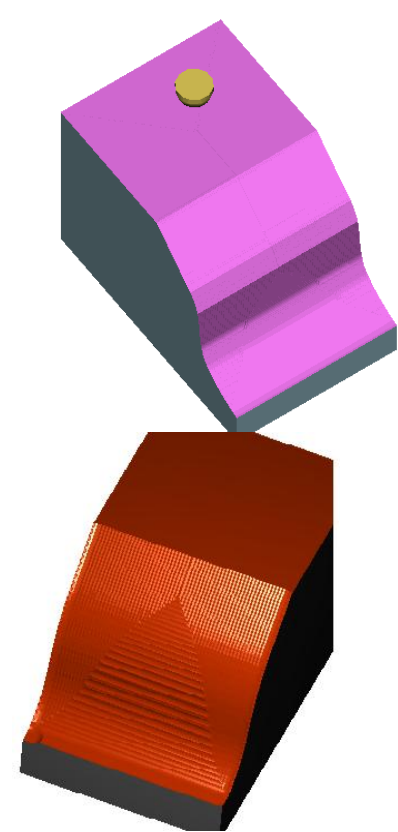
Parámetros:		
	Volumen de Corte	980 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso lateral:	1.5 mm
	Tipo de Dirección	Ida y Vuelta
	Superf d Desplazamiento:	0.1
Estrategia:	LINEAL	
Tiempo:	2 H 56 min	
Observaciones	Buen acabado en las partes planas pero con gradas significativas en la parte de mayor pendiente.	
Foto:		

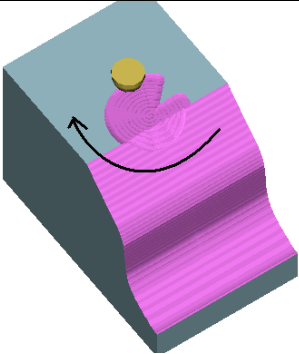
Parámetros:		
	Volumen de Corte	980 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso Lateral:	1.5 mm
	Comenzar desde:	Afuera y Convencional
	Superf d Desplazamiento:	0.1
Estrategia:	CAJERA CIRCULAR	
Tiempo:	4 h 44	
Observaciones	Toma mucho tiempo debido a que da vueltas alrededor de la pieza. Deja un mal acabado en la zona de mayor pendiente parte central.	
Foto:		

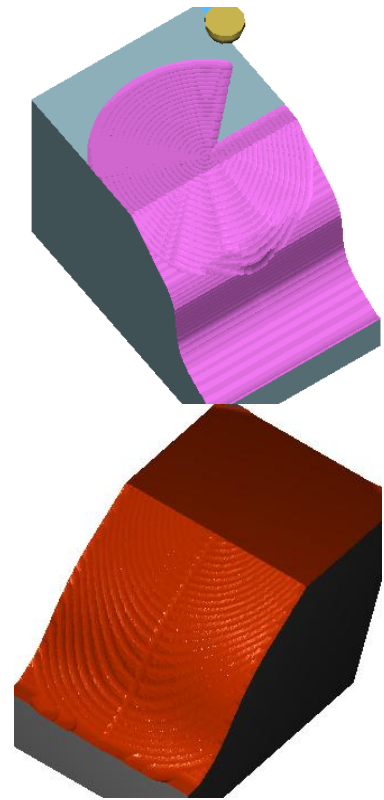
Parámetros:		
	Volumen de Corte	980 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso de Bajada:	1.5 mm
	Tipo:	Convencional, arriba hacia abajo
	Superf d Desplazamiento:	0.1 mm
Estrategia:	Z CONSTANTE	
Tiempo:	3 h 37 min	
Observaciones	Se comporta de buena forma en la zona de mayor pendiente pero no toca la parte plana.	
Foto:		

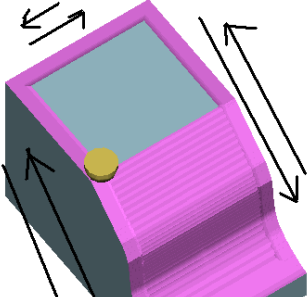


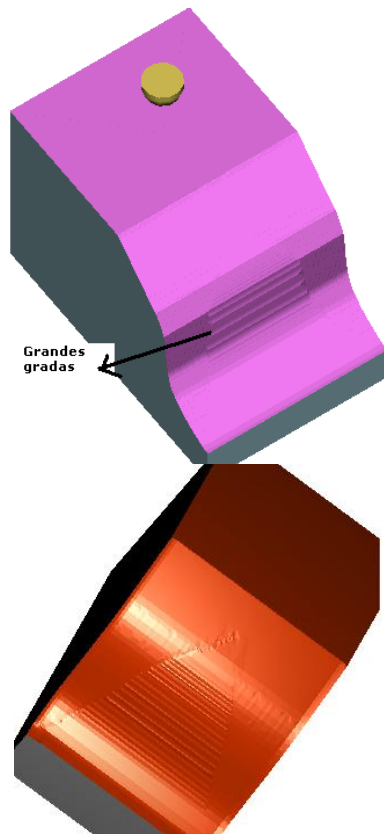
Parámetros:		
	Volumen de Corte	980 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Dirección	Ida y vuelta
	Paso Lateral:	2 mm
	Tipo:	Cajera, arriba hacia abajo.
	Superf d Desplazamiento:	0.1 mm
Estrategia:	SOBREPASO CONSTANTE	
Tiempo:	4 h 00	
Observaciones	Interpola de buena forma la parte inclinada y la plana dejando un buen acabado en ambas zonas.	
Foto:		



Parámetros:		
	Volumen de Corte	980 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Dirección	0 a 45° y radio 0 100
	Tipo:	Espiral, arriba hacia abajo.
	Superf d Desplazamiento:	0.1 mm
Estrategia:	ESPIRAL	
Tiempo:	50 min	
Observaciones	No maquina toda la superficie y si lo hiciese demoraría demasiado.	
Foto:		



Parámetros:		
	Volumen de Corte	980 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Dirección	Ida y Vuelta
	Tipo:	Espiral, arriba hacia abajo.
	Superf d Desplazamiento:	0.1 mm
Estrategia:	CORTE COMPENSADO	
Tiempo:	3 H 38	
Observaciones	Deja un acabado similar a la caja circular realizando movimientos bidireccionales que podrían dañar la herramienta.	
Foto:		



ANÁLISIS DE RESULTADOS

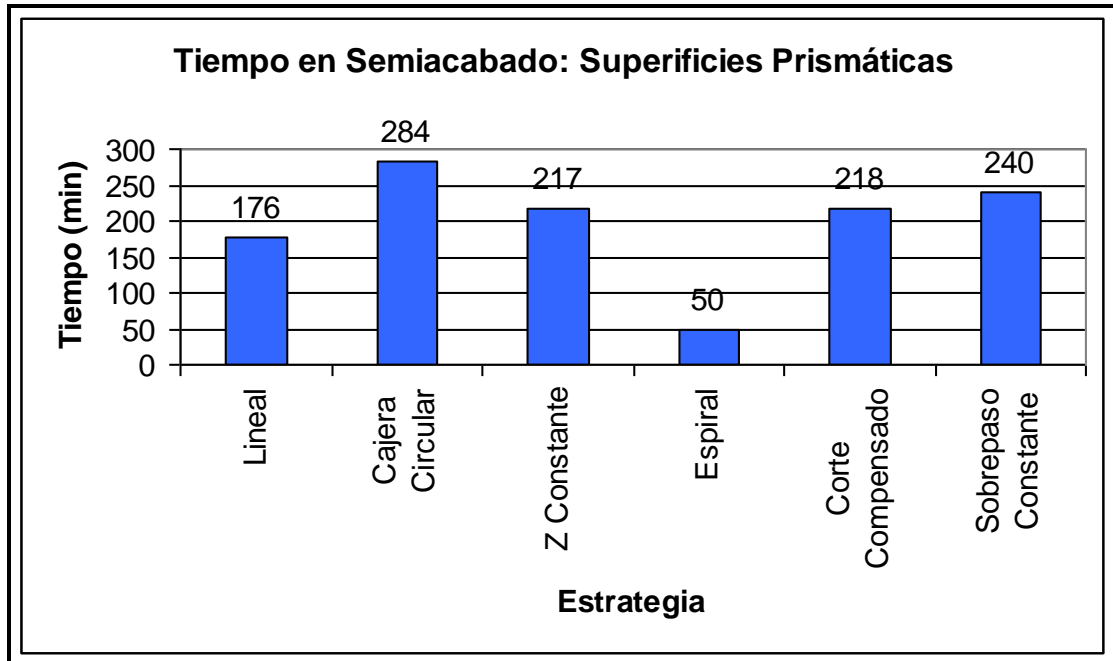


Figura 5.51 Tiempo de semiacabado en superficies prismáticas

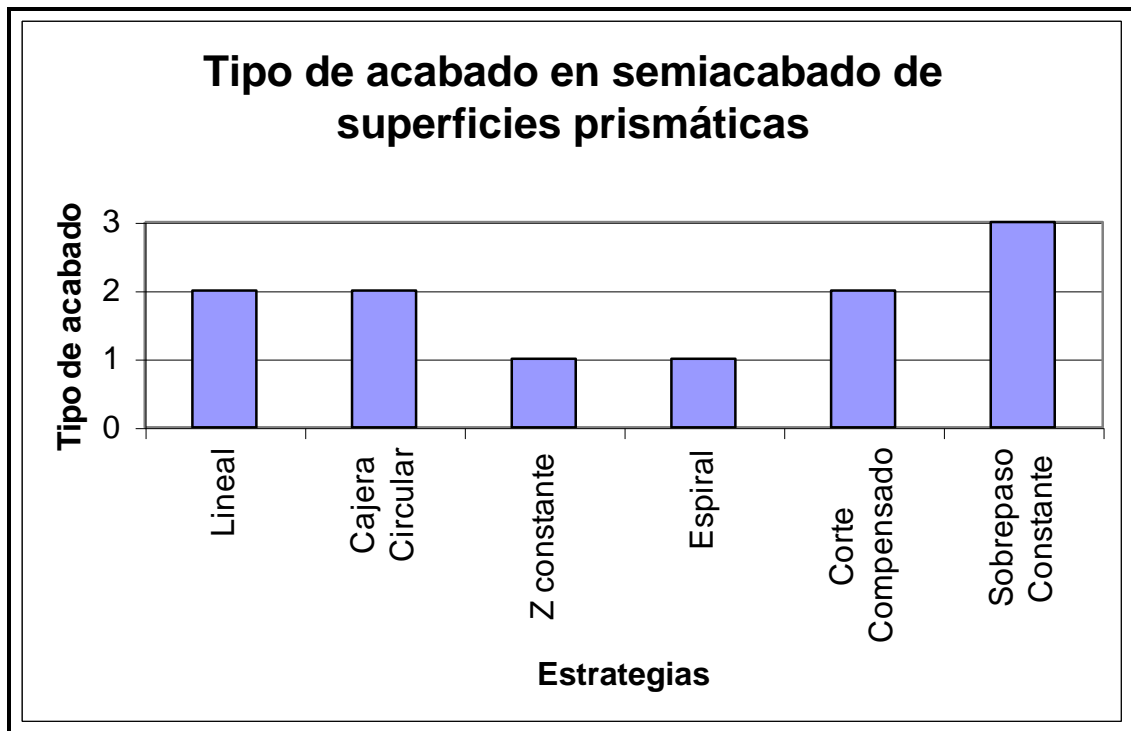


Figura 5.52 Tipo de acabado en semiacabado de superficies prismáticas

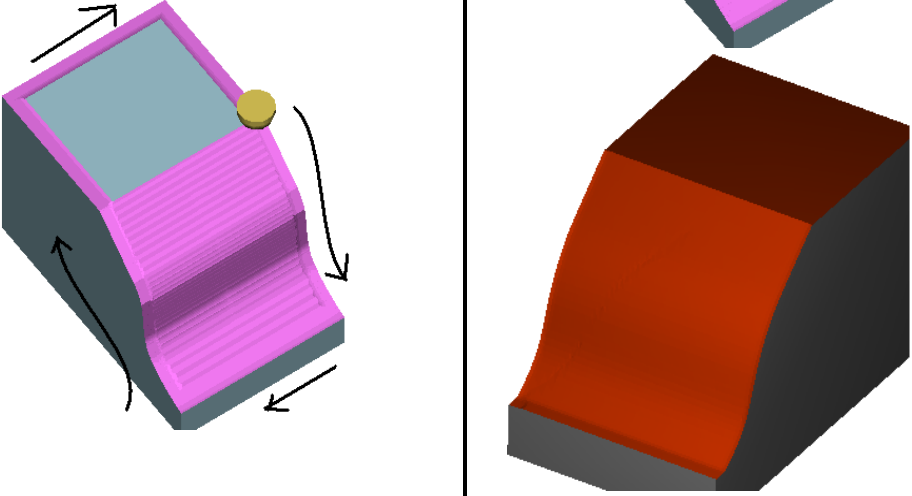
Conclusiones:

- Lineal, cajera circular y corte compensado interpolan de manera similar en este caso; dejan gradas en la parte de mayor pendiente.
- Espiral toma el menor tiempo pero es el que más se aleja del objetivo.
- Z constante interpola de buena manera la parte prismática pero la parte plana no la reconoce.
- Sobrepasso constante interpola de mejor forma la parte prismática y de igual forma la parte plana.
- Por tanto el estudio de acabado no es necesario debido a que se ha llegado a maquinar lo que se desea obtener.

5.6.3 ESTUDIO DE ACABADO

De acuerdo a lo expuesto en el literal anterior no es necesario realizar un estudio de acabado debido a que la estrategia de sobrepaso constante interpoló de manera correcta a la superficie.

La única diferencia es que el semiacabado tenía una superficie de desplazamiento de 0,1 mm por tanto se debe cambiar a una tolerancia de 0 mm. para llegar de manera exacta a lo que deseamos.

Parámetros:													
	<table border="1"> <tr> <td>Volumen de Corte</td> <td>980 cm³</td> </tr> <tr> <td>Herramienta:</td> <td>18 radial</td> </tr> <tr> <td>Avance (mm/min)</td> <td>XY: 200 ; Z: 100</td> </tr> <tr> <td>Dirección</td> <td>Ida y vuelta</td> </tr> <tr> <td>Tipo:</td> <td>Cajera, arriba hacia abajo.</td> </tr> <tr> <td>Superf d Desplazamiento:</td> <td>0 mm</td> </tr> </table>	Volumen de Corte	980 cm ³	Herramienta:	18 radial	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100	Dirección	Ida y vuelta	Tipo:	Cajera, arriba hacia abajo.	Superf d Desplazamiento:	0 mm
Volumen de Corte	980 cm ³												
Herramienta:	18 radial												
Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100												
Dirección	Ida y vuelta												
Tipo:	Cajera, arriba hacia abajo.												
Superf d Desplazamiento:	0 mm												
Estrategia:	SOBREPASO CONSTANTE												
Tiempo:	4 H 10												
Observaciones	Interpola de buena forma la parte inclinada y la plana dejando un buen acabado en ambas zonas.												
Foto:													

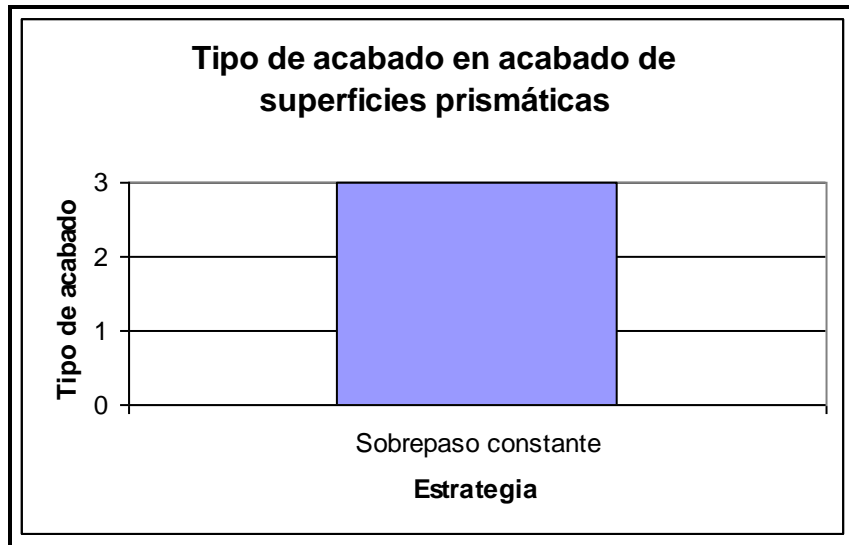


Figura 5.53 Tipo de acabado en acabado de superficies prismáticas

5.6.4 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo al estudio anterior, para una superficie prismática con un volumen de corte 980 cm³ aproximadamente, se llega al siguiente resultado:

- El desbaste mas conveniente es el Contorno:
 - Tipo de corte: Convencional
 - Paso de Bajada: 2 mm.
 - Superficie de desplazamiento: 0.8 mm.
 - Solapado: 0,7
 - Modo: Cajera
 - Tiempo: 3 H 20 min.

- El semiacabado mas conveniente es Sobrepasso constante:
 - Proceso previo: Contorno
 - Tipo de corte: Convencional
 - Tipo: Cajera
 - Paso lateral: 2 mm.
 - Dirección: Ida y Vuelta
 - Superficie de desplazamiento: 0 mm.
 - Tiempo: 4 H 10 min.

- Tiempo total: 7 H 30 min

5.7 SUPERFICIES PLANAS

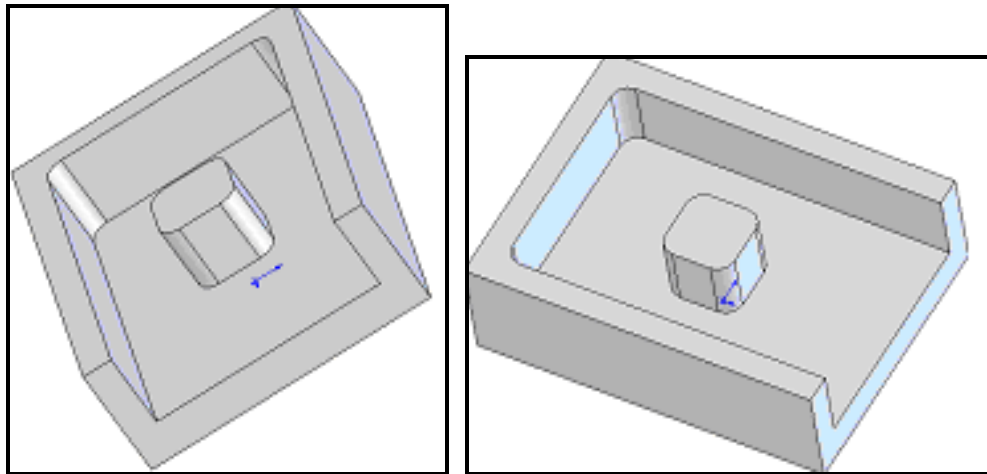
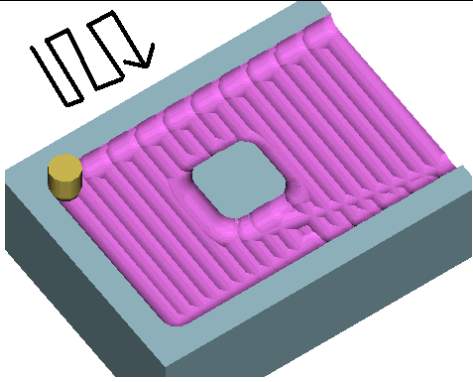
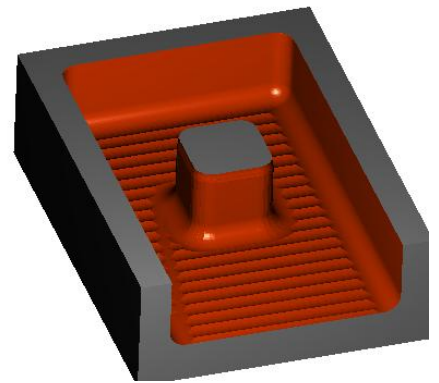
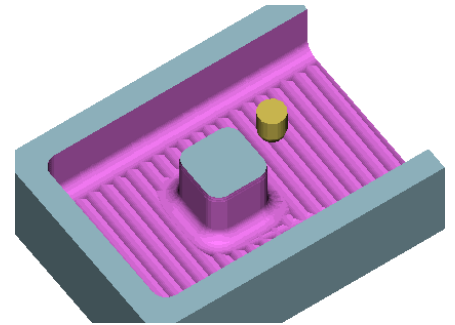


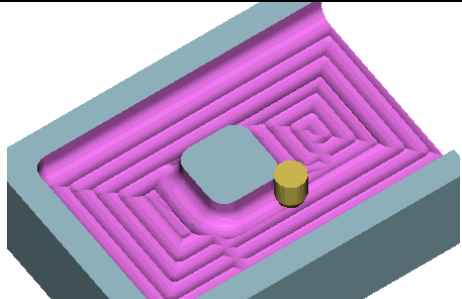
Figura 5.54 Superficie plana

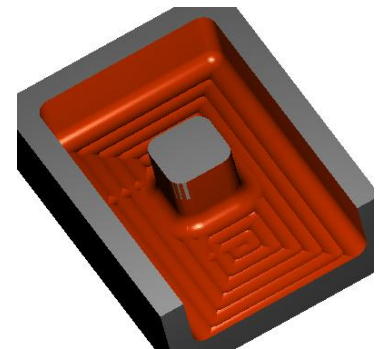
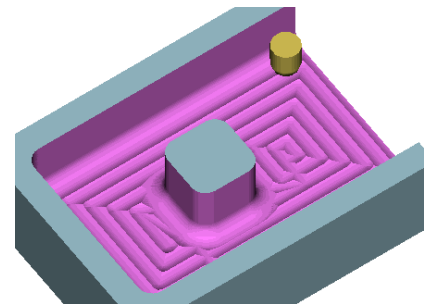
5.7.1 ESTUDIO DE DESBASTE

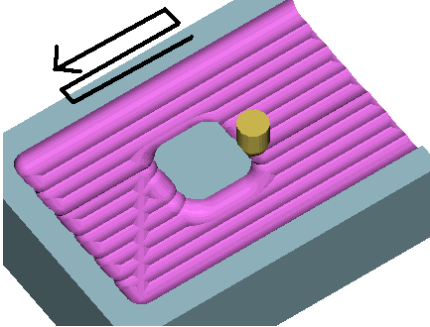
Parámetros:		
	Volumen de Corte	834 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso de Bajada:	2 mm
	Solapado:	0.5
	Superf d Desplazamiento:	0.8
Estrategia:	MODELO 3D: CONTORNO	
Tiempo:	4 H 9 min	
Observaciones	Buen desbaste sin ningún choque de la herramienta.	
Foto:		

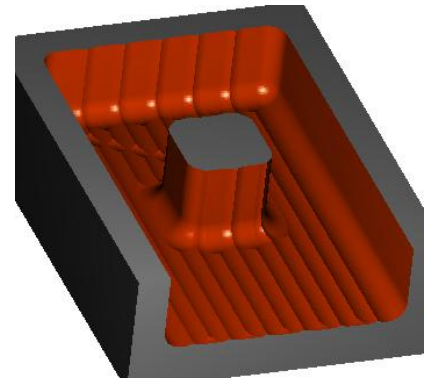
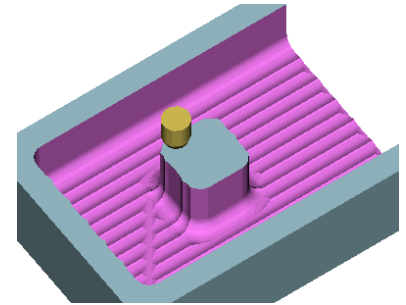
Parámetros:		
	Volumen de Corte	834 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso de Bajada:	2 mm
	Solapado:	0.5
	Superf d Desplazamiento:	0.8 y Ángulo Óptim
Estrategia:	MODELO 3D: BARRIDO	
Tiempo:	4 H 48 min	
Observaciones		
Foto:		

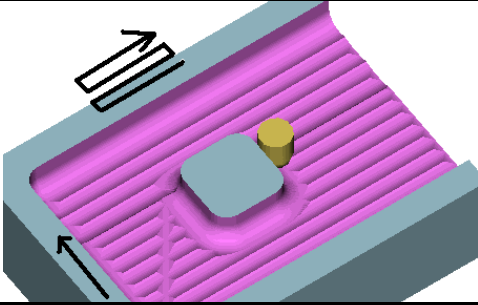


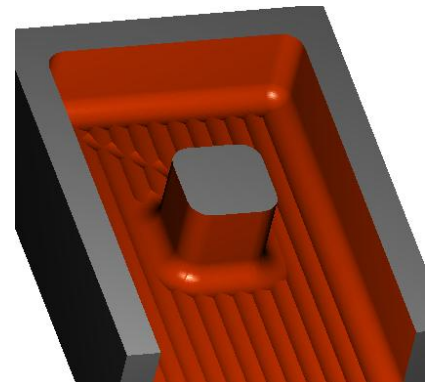
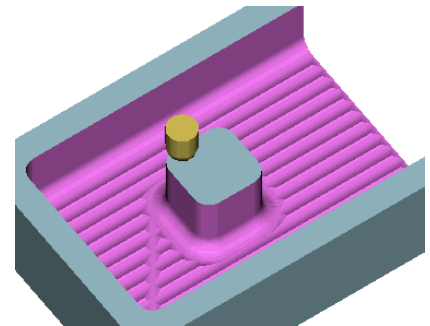
Parámetros:		
	Volumen de Corte	834 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso de Bajada:	2 mm
	Solapado:	0.5
	Superf d Desplazamiento:	0.8
Estrategia:	CAJERA TIPO CONTORNO	
Tiempo:	4 H 5 min	
Observaciones		
Foto:		

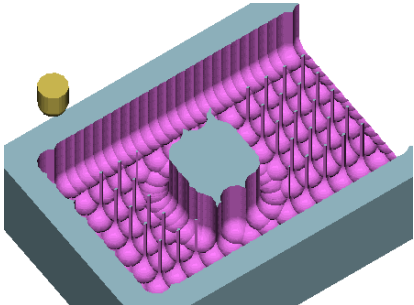
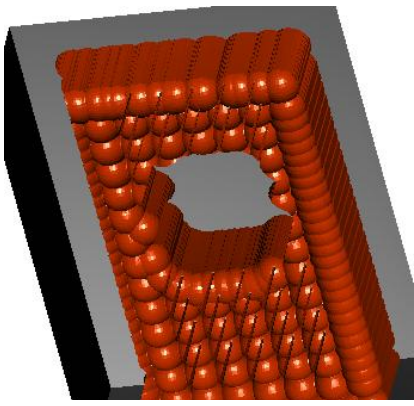
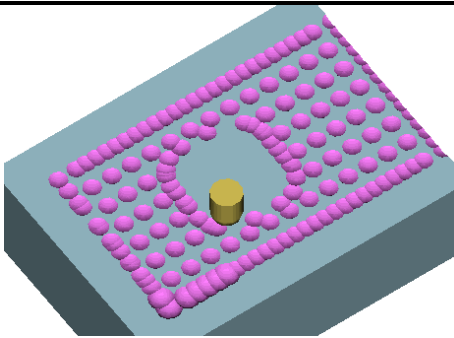


Parámetros:		
	Volumen de Corte	834 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso de Bajada:	2 mm
	Solapado:	0.5
	Superf d Desplazamiento:	0.8 y Ángulo Óptim
Estrategia:	CAJERA TIPO BARRIDO	
Tiempo:	3 H 51	
Observaciones		
Foto:		



Parámetros:		
	Volumen de Corte	834 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso de Bajada:	2 mm
	Solapado:	0.5
	Superf d Desplazamiento:	0.8 y Ángulo Óptim
Estrategia:	CAJERA TIPO BARRIDO+ACABADO	
Tiempo:	5 H 07 min	
Observaciones		
Foto:		



Parámetros:			
	Volumen de Corte	834 cm ³	
	Herramienta:	18 radial	
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100	
	Paso de Bajada:	2 mm	
	Solapado:	0.5	
	Superf d Desplazamiento:	0.8 y Ángulo Óptim	
Estrategia:	CAJERA TIPO ZAMBULLIDA		
Tiempo:	16 H 40 min		
Observaciones			
Foto:			

ANÁLISIS DE RESULTADOS

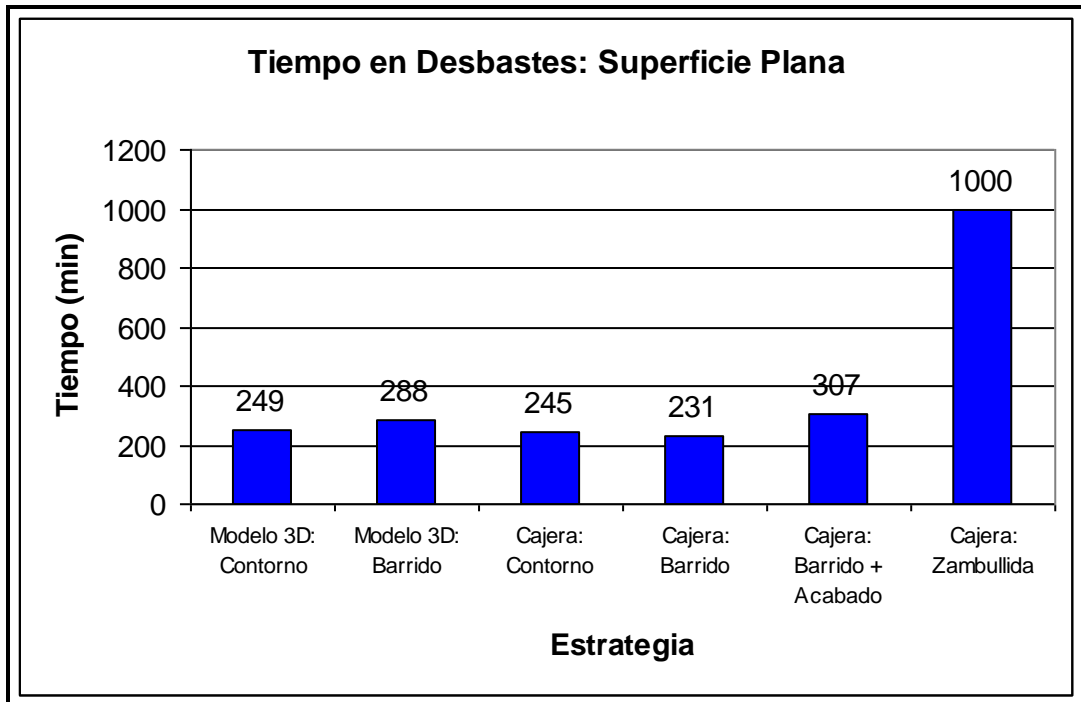


Figura 5.55 Tiempo de desbaste en superficies planas

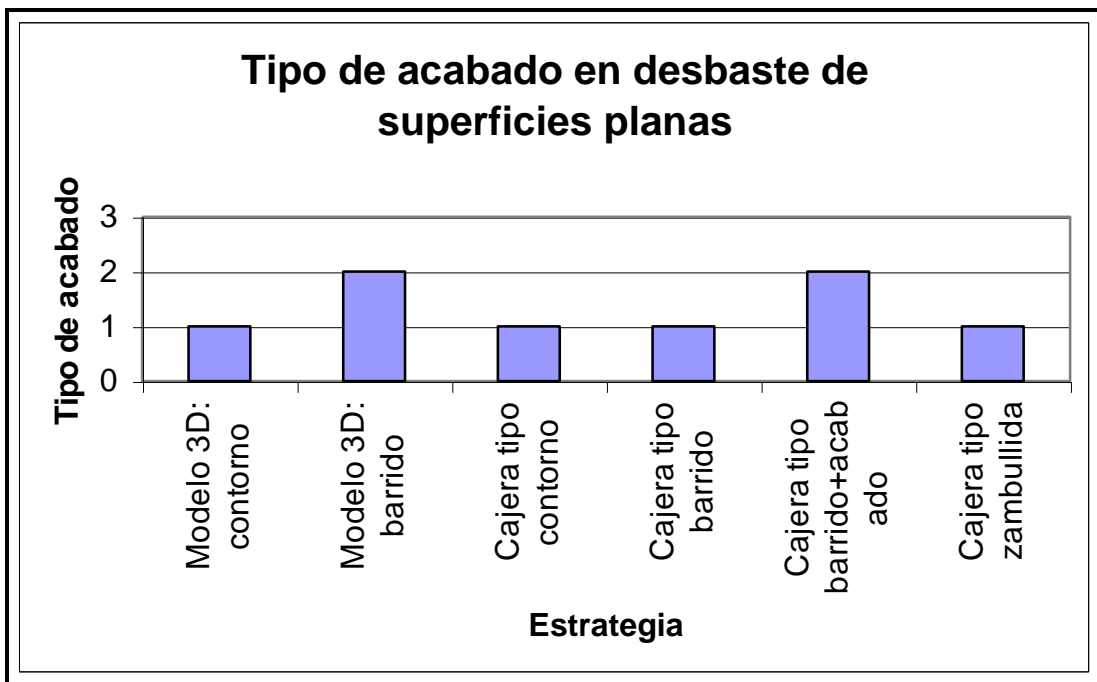
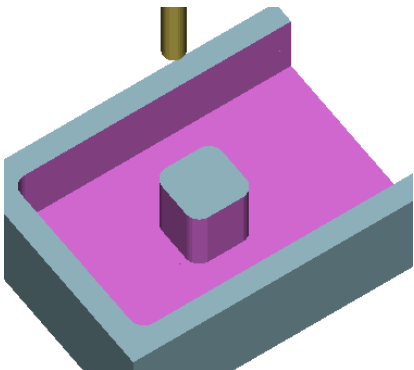
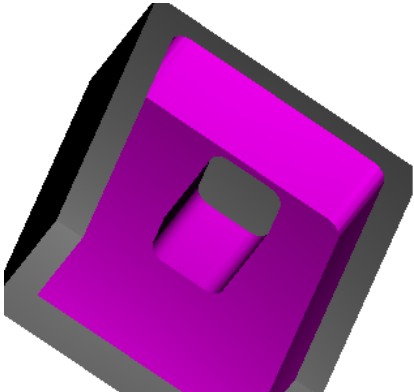
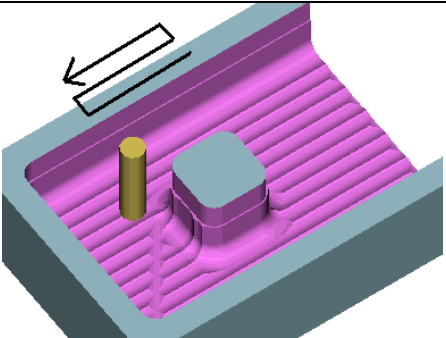


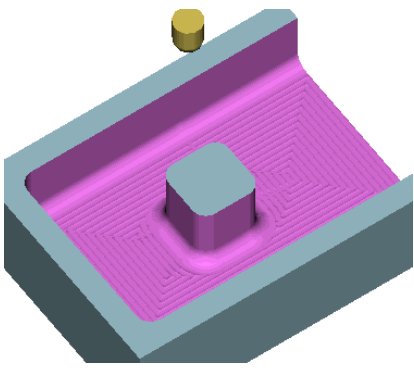
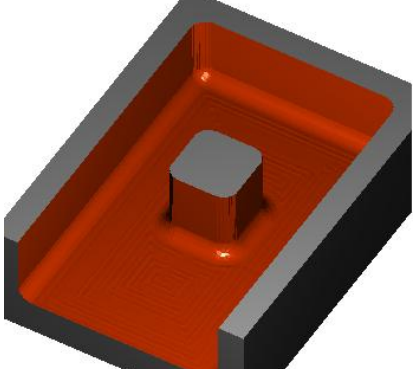
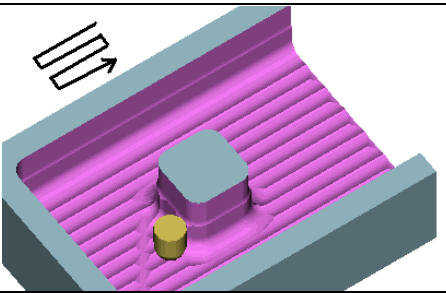
Figura 5.56 Tipo de acabado en desbaste de superficies planas

Conclusiones:

- Solidcam no interpola a la superficie plana de la misma manera si partimos de un modelo 3D que partir de una cajera.
- Contorno demora un 10% más que el barrido.
- Barrido deja una superficie más uniforme con gradas en un mismo sentido, lo cual es más beneficioso para el siguiente proceso.
- Zambullida es el proceso más lento y perjudicial para la herramienta.
- Cajera tipo Barrido + Acabado maquina las paredes pero no maquina el piso por lo que es necesario otro proceso adicional.

5.7.2 ESTUDIO DE SEMIACABADO

Parámetros:			
	Volumen de Corte	834 cm ³	
	Herramienta:	16 radial	
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100	
	Paso de Bajada:	5 mm	
	Solapado:	0.85	
	Superf d Desplazamiento:	0 y Ángulo Óptim	
Estrategia:	CAJERA TIPO BARRIDO fresa plana		
Tiempo:	5 H 01 min		
Observaciones			
Foto:			

Parámetros:			
	Volumen de Corte	834 cm ³	
	Herramienta:	18 radial	
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100	
	Paso de Bajada:	2 mm	
	Solapado:	0.85	
	Superf d Desplazamiento:	0 y Ángulo Óptim	
Estrategia:	CAJERA TIPO BARRIDO fresa redonda		
Tiempo:	4 h 20		
Observaciones			
Foto:			

Parámetros:		
	Volumen de Corte	834 cm ³
	Herramienta:	18 radial
	Avance (mm/min)	XY: 200 ; Z: 100
	Paso de Bajada:	5 mm
	Solapado:	0.8
	Superf d Desplazamiento:	0 y Ángulo Óptimo
Estrategia:	PERFIL para Pared + CAJERA TIPO BARRIDO para PISO	
Tiempo:	55 min + 15min = 1 H 10 min	
Observaciones	Realiza lo deseado sin necesidad de un proceso adicional	
Foto:		

ANÁLISIS DE RESULTADOS

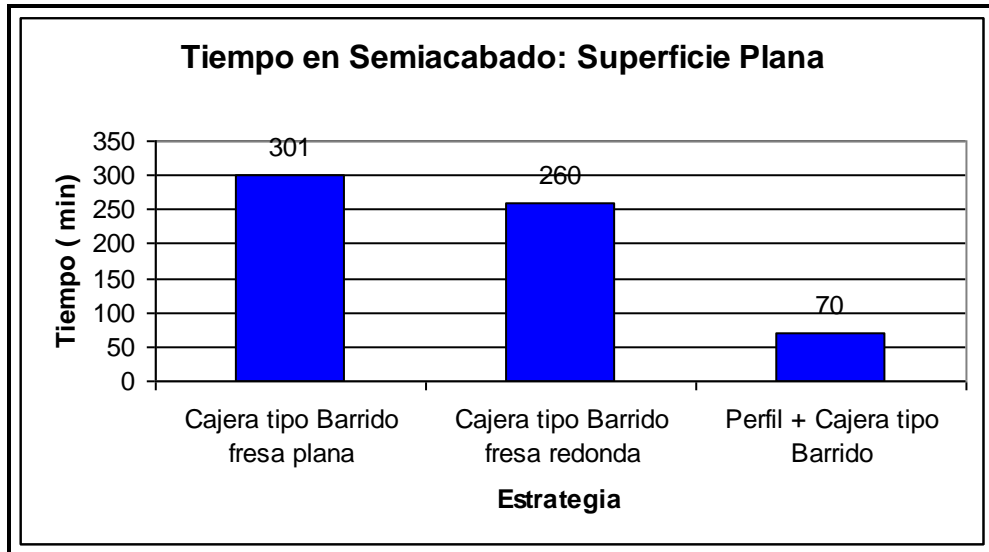


Figura 5.57 Tiempo de semiacabado en superficies planas

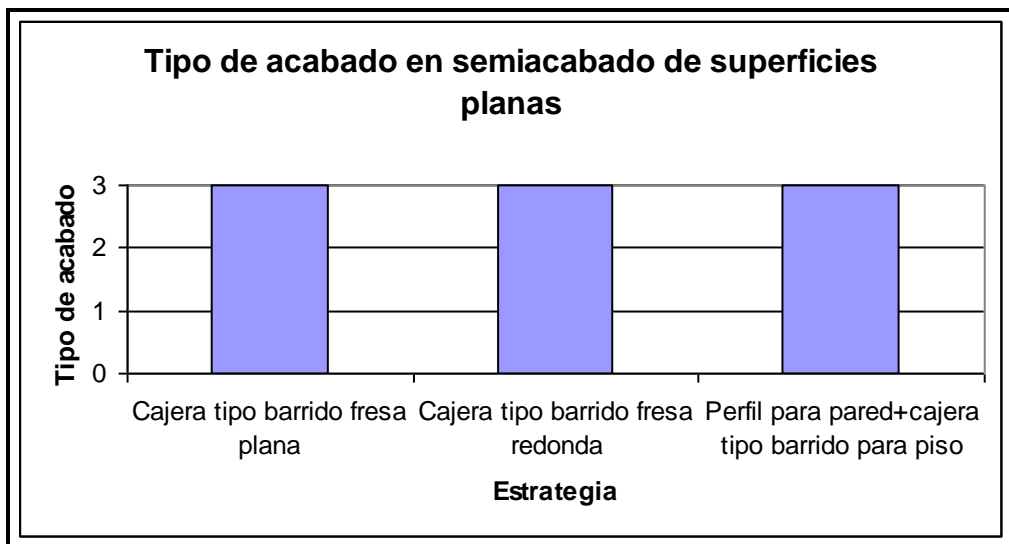


Figura 5.58 Tipo de acabado en semiacabado de superficies planas

Conclusiones:

- Cajera tipo barrido varia en función del diámetro de la herramienta que se use, a pesar de que en ambos casos se usen los mismos avances.
- Cajera tipo barrido fresa redonda no alcanza a maquinar las aristas que unen las paredes con el piso.
- Cajera tipo barrido fresa plana maquina y cumple con lo que se desea pero el tiempo es demasiado alto.
- Dividir el proceso en 2 estrategias es lo ideal ya que se maquina lo que se desea y el tiempo es aproximadamente 75 % menor que una estrategia única.
- No es necesario realizar un estudio de acabado porque se llegó a lo que se desea maquinar.

5.7.3 ANÁLISIS DE RESULTADOS

De acuerdo al estudio anterior, para una superficie plana con un volumen de corte 834 cm³ aproximadamente, se llega al siguiente resultado:

- El desbaste mas conveniente es la operación Cajera tipo Barrido:
 - Tipo de corte: Convencional
 - Paso de Bajada: 2 mm.
 - Superficie de desplazamiento: 0.8 mm.
 - Solapado: 0,5
 - Tiempo: 2 H 51 min.

- El semiacabado mas conveniente Perfil + Cajera tipo barrido:
 - Pared:
 - Proceso previo: Cajera tipo barrido
 - Tipo de corte: Convencional
 - Paso de bajada: 5 mm.
 - Superficie de desplazamiento: 0 mm.
 - Tiempo: 55 min.
 - Piso:
 - Proceso previo: Perfil
 - Tipo de corte: Convencional
 - Paso de bajada: 1 mm.
 - Solapado: 0.85
 - Superficie de desplazamiento: 0 mm.
 - Tiempo: 15 min.

- Tiempo total: 4 H 01 min

CAPÍTULO 6

MANUAL DE PROCEDIMIENTOS

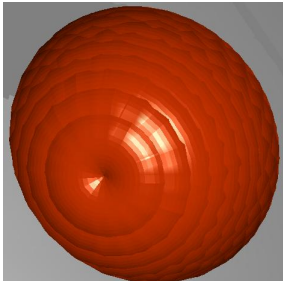
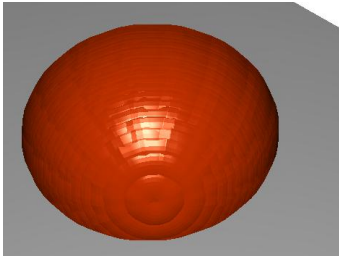
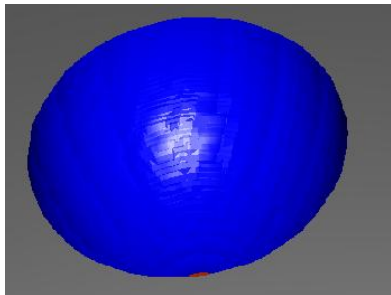
En este capítulo se presenta el Manual de Procedimientos con el cuál puede cualquier operador trabajar con el desarrollo de elementos o piezas mecánicas en el centro de mecanizado. Se ha colocado los requisitos importantes para el proceso de mecanizado como por ejemplo el tipo de superficie para que el operador conozca de antemano que tipo de estrategia debe utilizar al momento de realizar una esfera o una superficie cóncava, etc. Al igual se tiene el tipo de material a maquinar, la herramienta, las velocidades con las cuales se puede trabajar detalladas en las tablas de este capítulo. Adicionalmente se incluye una gráfica del proceso de Desbaste, Semiacabado, Acabado de guía para el operador. A continuación el orden de los cuadros presentes en el desarrollo de este capítulo.

- Esférica (CUADRO 6.1)
- Prismática (CUADRO 6.2)
- Prismática (CUADRO 6.3)
- Convexa (CUADRO 6.4)
- Cóncava (CUADRO 6.5)
- Avances en el desbaste, semiacabado y acabado (CUADRO 6.6)
- Velocidades de corte, número de revoluciones, avance para una herramienta de diámetro 19 mm y 4 filos (CUADRO 6.7)

Se incluye hojas de trabajo de los principales procedimientos de suma importancia que se realiza en el centro de mecanizado como son los siguientes:

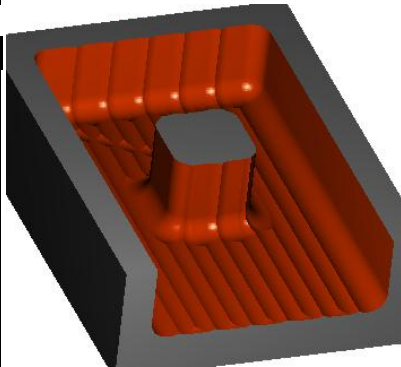
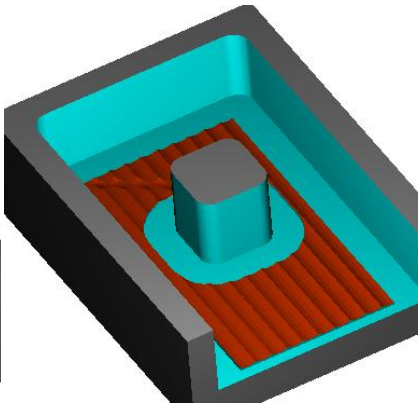
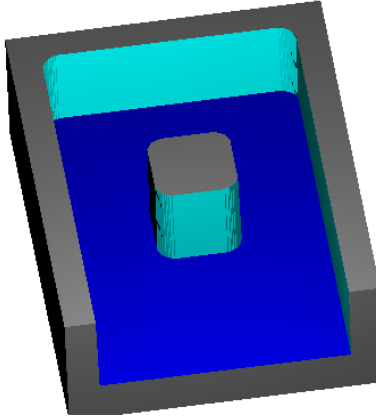
- Definición del origen de mecanizado (CUADRO 6.8)

- Definición del origen de mecanizado en el centro de la pieza (CUADRO 6.9)
- Compensación de alturas (CUADRO 6.10)
- Corrida del programa (CUADRO 6.11)

CUADRO 6.1			
MANUAL DE PROCEDIMIENTO			
TIPO DE SUPERFICIE	Esférica		
MATERIA PRIMA:			
Tipo:	Bloque		
Material:	Acero M238		
Dureza:	200 BH		
	Desbaste	Semiacabado	Acabado
HERRAMIENTA:			
Tipo:	Fresa Redonda	Fresa Redonda	Fresa Redonda
Diámetro (mm)	19	19	19
Material:	Carburo	Carburo	Carburo
# de Filos:	4	4	4
Velocidad Husillo (rpm)	970	1370	1290
Avance XY (mm/min)	200	560	650
Avance Z (mm/min)	100	280	325
ESTRATEGIA DE MECANIZADO	Contorno	Z Constante	Z Constante
Corte:	Convencional	Convencional	Convencional
Paso de Bajada:	5 mm	0,8 mm	0,5
Solapado:	0,5 mm	---	---
Modo:	Cajera		
Tolerancias de Superficie:	0,8 mm	0,1 mm	0
Dirección:	----	Arriba hacia abajo	Abajo hacia arriba
Desbaste:	Semiacabado:	Acabado:	
			
RESULTADOS			
Diámetro referencial de Esfera:	50 mm		

<i>Tiempo de maquinado (h):</i>			
Desbaste	13		
SemiAcabado	20		
Acabado	22		
<i>Total</i>	55		

CUADRO 6.2

MANUAL DE PROCEDIMIENTO			
TIPO DE SUPERFICIE	Prismática		
MATERIA PRIMA:			
Tipo:	Bloque		
Material:	Acero M238		
Dureza:	200 BH		
	Desbaste	Semiacabado	Acabado
HERRAMIENTA:			
Tipo:	Fresa Redonda	Fresa Plana	Fresa Plana
Diámetro (mm)	19	19	19
Material:	Carburo	Carburo	Carburo
# de Filos:	4	4	4
Velocidad Husillo (rpm)	970	1370	1370
Avance XY (mm/min)	200	560	560
Avance Z (mm/min)	100	280	280
ESTRATEGIA DE MECANIZADO	Cajera tipo Barrido	Pared: Perfil	Piso: Cajera tipo Barrido
Corte:	Convencional	Convencional	Convencional
Paso de Bajada:	5 mm	5 mm	1mm
Solapado:	0,65 mm	---	0,85
Modo:	Cajera		----
Paso Lateral	---	---	----
Tolerancias de Superficie:	0,8	0	0
Dirección:	----		
Desbaste:	Semiacabado:	Acabado:	
			
RESULTADOS			

Volumen referencial de corte			
<i>Tiempo de maquinado (h):</i>			
Desbaste	1 H 56 min		
SemiAcabado	11 min		
Acabado	14 min		
<i>Total</i>	2 H 21 min		

CUADRO 6.3

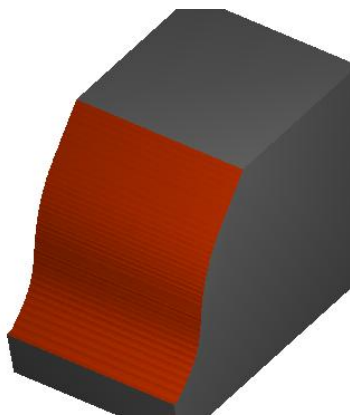
MANUAL DE PROCEDIMIENTO

TIPO DE SUPERFICIE	Prismática
---------------------------	------------

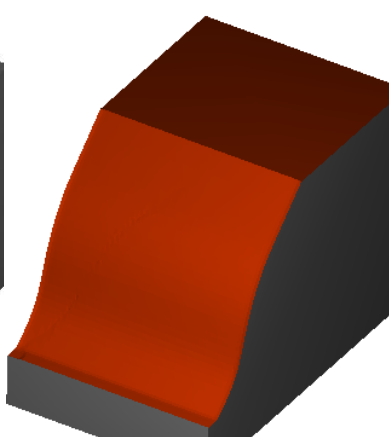
MATERIA PRIMA:	
Tipo:	Bloque
Material:	Acero M238
Dureza:	200 BH

	Desbaste	Semiacabado	Acabado
HERRAMIENTA:			
Tipo:	Fresa Redonda	Fresa Redonda	Fresa Redonda
Diámetro (mm)	19	19	19
Material:	Carburo	Carburo	Carburo
# de Filos:	4	4	4
Velocidad Husillo (rpm)	970	1370	1290
Avance XY (mm/min)	200	560	650
Avance Z (mm/min)	100	280	325
ESTRATEGIA DE MECANIZADO	Contorno	Sobrepaso Constante	Sobrepaso Constante
Corte:	Convencional	----	-----
Paso de Bajada:	5 mm	----	-----
Solapado:	0,65 mm	---	---
Modo:	Cajera		a 90°
Paso Lateral	---	1 mm	0,5 mm
Tolerancias de Superficie:	0,8	0,1	0
Dirección:	----	Ida y Vuelta	Ida y Vuelta

Desbaste:



Semiacabado:



Acabado:

RESULTADOS

Volumen referencial de corte	92 cm ³		
<i>Tiempo de maquinado (h):</i>			
Desbaste	40 min		
SemiAcabado	49 min		
Acabado	56 min		
<i>Total</i>	2 H 25 min		

CAUDRO 6.4

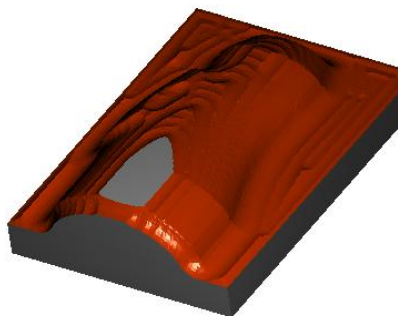
MANUAL DE PROCEDIMIENTO

TIPO DE SUPERFICIE	Convexa
---------------------------	---------

MATERIA PRIMA:	
Tipo:	Bloque
Material:	Acero M238
Dureza:	200 BH

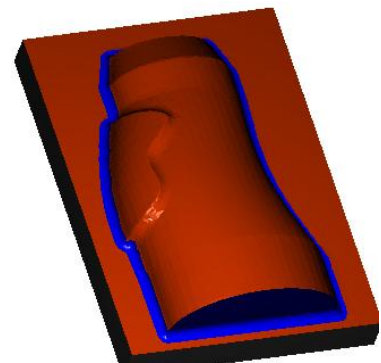
	Desbaste	Semiacabado	Acabado	
HERRAMIENTA:				
Tipo:	Fresa Redonda	Fresa Redonda	Fresa Redonda	Fresa Redonda
Diámetro (mm)	19	19	19	12
Material:	Carburo	Carburo	Carburo	Carburo
# de Filos:	4	4	4	4
Velocidad Husillo (rpm)	970	1370	1370	1370
Avance XY (mm/min)	200	560	560	560
Avance Z (mm/min)	100	280	280	280
ESTRATEGIA DE MECANIZADO	Contorno	Sobrepaso Constante	Sobrepaso Constante	Ranura
Corte:	Convencional	----	-----	Convencional
Paso de Bajada:	5 mm	----	-----	1 mm
Solapado:	0,65 mm	---	---	----
Modo:	Cajera		a 90°	
Paso Lateral	---	1 mm	0,5 mm	----
Tolerancias de Superficie:	0,8	0,1	0	0
Dirección:	----	Ida y Vuelta	Ida y Vuelta	-----

Desbaste:



Semiacabado:

Acabado:



RESULTADOS

Volumen referencial de corte	92 cm ³
<i>Tiempo de maquinado (h):</i>	
Desbaste	44 min
SemiAcabado	55 min
Acabado	1 H 05 min
Total	2 H 44 min

CUADRO 6.5

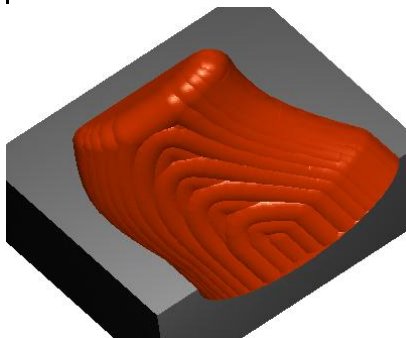
MANUAL DE PROCEDIMIENTO

TIPO DE SUPERFICIE	Cóncava
---------------------------	---------

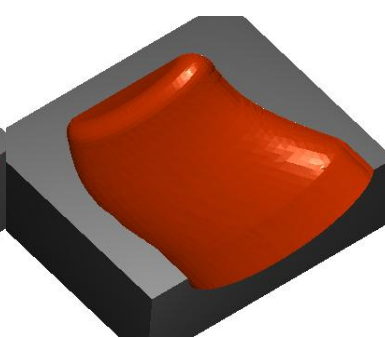
MATERIA PRIMA:	
Tipo:	Bloque
Material:	Acero M238
Dureza:	200 BH

	Desbaste	Semiacabado	Acabado
HERRAMIENTA:			
Tipo:	Fresa Redonda	Fresa Redonda	Fresa Redonda
Diámetro (mm)	19	19	19
Material:	Carburo	Carburo	Carburo
# de Filos:	4	4	4
Velocidad Husillo (rpm)	970	1370	1290
Avance XY (mm/min)	200	560	650
Avance Z (mm/min)	100	280	325
ESTRATEGIA DE MECANIZADO	Contorno	Lineal	Lineal Cruzado
Corte:	Convencional	----	-----
Paso de Bajada:	5 mm	----	-----
Solapado:	0,65 mm	---	---
Modo:	Cajera		a 90°
Paso Lateral	---	1 mm	0,5 mm
Tolerancias de Superficie:	0,8	0,1	0
Dirección:	----	Ida y Vuelta	Ida y Vuelta

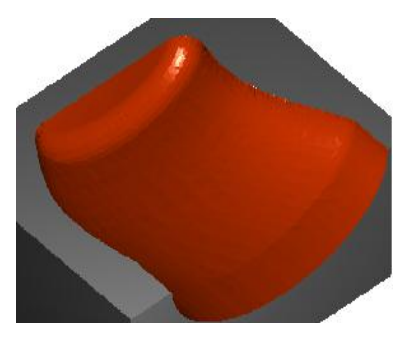
Desbaste:



Semiacabado:



Acabado:



RESULTADOS

Volumen referencial de corte	103 cm ³		
<i>Tiempo de maquinado (h):</i>			

Desbaste	1 H 12		
SemiAcabado	1 H 05		
Acabado	2 H 10		
<i>Total</i>	4 H 27 min		

CUADRO 6,6

Material	Dureza, HB	Profundidad		
		hasta 5 desbaste	hasta 1 semiacabado	hasta 0,2 acabado
AISI 1018	150-200	0,002	0,006	0,008
AISI 1045	180-220	0,002	0,006	0,008
< 3% carbono: AISI 8620	175-225	0,002	0,006	0,008
> 3% carbono: AISI 4140, 4340	225-275	0,002	0,005	0,006
	275-325	0,002	0,004	0,005
	325-375	0,002	0,004	0,005
Acero de herramientas: H13, H10, L6, D3, D6, D2, S1,O1, P20, 420	150-200	0,002	0,005	0,006
	200-250	0,002	0,004	0,005
Aluminio: PRODAX	-	0,002	0,008	0,012

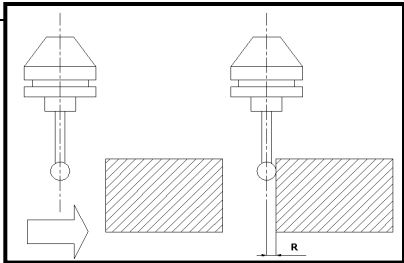
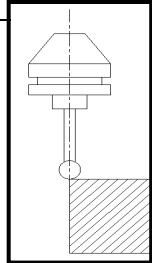
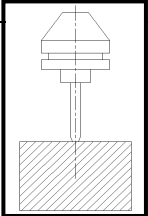
CUADRO 6.7

Vc, pies/min N, rev/min fm, mm/min	Desbaste: hasta 5 mm						Semiacabado: hasta 1 mm					
	HSS			Carburo			HSS			Carburo		
	Vc	N	fm(x, y)	Vc	N	fm(x, y)	Vc	N	fm(x, y)	Vc	N	fm(x, y)
AISI 1018	80,14	408,13	82,93	-	-	-	80,64	410,70	207,88	-	-	-
AISI 1045	68,83	350,56	71,23	-	-	-	73,26	373,09	227,44	-	-	-
< 3% carbono: AISI 8620	69,89	355,94	72,33	222,60	1133,69	230,37	92,75	472,37	287,96	522,62	2661,70	1622,57
> 3% carbono: AISI 4140, 4340	44,54	226,86	46,10	235,15	1197,62	243,36	98,87	503,53	255,79	500,27	2547,85	1294,31
	44,54	226,86	46,10	-	-	-	138,31	704,42	286,27	-	-	-
	47,62	242,51	49,28	-	-	-	110,65	563,53	229,02	-	-	-
AISI S1, O1	63,24	322,08	65,45	190,51	970,27	197,16	89,61	456,39	231,84	319,12	1625,25	825,63
AISI D2, D3, D6	63,24	322,08	65,45	190,51	970,27	197,16	112,90	574,97	233,67	269,90	1374,61	558,64
AISI L6, P20	63,24	322,08	65,45	190,51	970,27	197,16	89,61	456,39	231,84	269,90	1374,61	558,64
AISI 420	43,10	219,53	44,61	-	-	-	82,86	422,02	171,51	-	-	-
Aluminio: PRODAX	246,38	1254,82	254,98	-	-	-	445,74	2270,12	1845,15	-	-	-

Acabado: hasta 0,2 mm					
HSS			Carburo		
Vc	N	fm(x, y)	Vc	N	fm(x, y)
73,44	374,03	304,01	-	-	-
62,42	317,92	258,41	-	-	-
72,58	369,63	300,43	517,07	2633,38	2140,42
79,34	404,09	246,34	506,05	2577,27	1571,11
97,94	498,82	253,40	-	-	-
78,36	399,06	202,72	-	-	-
76,20	388,11	236,59	484,44	2467,25	1504,04
93,40	475,67	241,64	307,58	1566,51	795,79
76,20	388,11	236,59	252,60	1286,50	653,54
64,48	328,42	166,84	-	-	-
355,69	1811,51	2208,59	-	-	-

Diámetro: 19 mm, 4 filos
 Vida de la herramienta de 180 minutos
 NOTA: el avance en Z es el 50-60 % del avance en XY.

CUADRO 6.8

DEFINICIÓN DEL ORIGEN DE MECANIZADO		
Proceso de suma importancia para el inicio de operaciones en la máquina.		
Plan de trabajo		
Nº	Operación	Herramientas Accesorios
1	Colocar materia prima a maquinar sobre mesa completamente limpia	Guaipe
2	Asegurar materia prima con apriete medio con bridas	Llave de boca, bridas
3	Colocar comparador de reloj en husillo y verificar paralelismo de la materia prima con la mesa	Comparador de reloj
4	Apretar bridas fuerte y volver a comparar	Llave de boca, comparador reloj
5	En modo MPG acercar palpador a materia prima, recomendable acercarlo primero desde X y Y, luego Z	Palpador
<div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;"> <div style="text-align: center;">  <p>Figura 2.1 Acercamiento del palpador eje X, Y</p> </div> <div style="text-align: center;">  <p>Figura 2.2 Palpador eje Z</p> </div> </div>		
6	En la pantalla POS, coordenas relativas: a. Presione X o Y (dependiendo del eje que esté centrando) b. Bajo la pantalla presione [ORIGEN] c. Realice esta operación en los ejes X y Y	
7	Alejar el palpador de la pieza y ubicar según la figura 2.2 (en pantalla existe un desplazamiento R)	Palpador
8	Repetir proceso N° 6	
9	Para el eje Z, cambiar la herramienta a utilizar en el proceso a. Acercar en el modo manual la herramienta a la cara superior de la materia prima hasta rozarla b. En la pantalla POS presione Z c. Bajo la pantalla presione [ORIGEN]	Fresa
<div style="display: flex; justify-content: center; align-items: center;">  <div style="margin-left: 20px;"> <p>Figura 2.3 Herramienta eje Z</p> </div> </div>		
10	Nos ubicamos en las coordenadas relativas 0,0,0 para realizar esta operación.	
11	En la pantalla OFF/SET, [TRABAJO] nos acercamos a G54 para grabar las coordenadas que obtuvimos.	
12	En G54 digitamos: a. X0 luego [media] b. Y0 luego [media] c. Z0 luego [media]	
13	Mandar a "HOME".	

CUADRO 6.9

DEFINICIÓN DEL ORIGEN DE MECANIZADO EN EL CENTRO DE LA PIEZA

Proceso de suma importancia para el inicio de operaciones en la máquina.

Plan de trabajo

Nº	Operación	Herramientas Accesorios
1	Colocar materia prima a maquinar sobre mesa completamente limpia	Guaípe
2	Asegurar materia prima con apriete medio con bridas	Llave de boca, bridas
3	Colocar comparador de reloj en husillo y verificar paralelismo de la materia prima con la mesa	Comparador de reloj
4	Apretar bridas fuerte y volver a comparar	Llave de boca, comparador reloj
5	En modo MPG acercar palpador a materia prima, recomendable acercarlo primero desde X y luego en Y.	Palpador
6	En el eje X: a. Acercar palpador a la cara a, luego como indica la figura 2,1 acercar el palpador a la cara paralela (b) b. Tomar la medida dada por la pantalla y dividirla para dos	Palpador

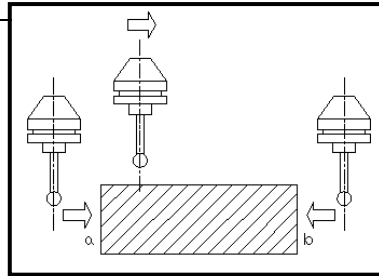


Figura 2.1 Acercamiento del palpador en ambas caras de los ejes X, Y

7	En la pantalla POS, coordenadas relativas: a. Presione X o Y (dependiendo del eje que esté centrando) b. Bajo la pantalla presione [ORIGEN] y anote el valor de la división	
8	Repita el paso 6 y 7 para el eje Y.	Palpador
9	Para el eje Z, cambiar la herramienta a utilizar en el proceso a. Acercar en el modo manual la herramienta a la cara superior de la materia prima hasta rozarla b. En la pantalla POS presione Z c. Bajo la pantalla presione [ORIGEN]	Fresa

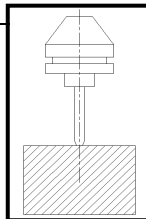


Figura 2.2 Herramienta eje Z

10	Nos ubicamos en las coordenadas relativas 0,0,0 para realizar esta operación.	
11	En la pantalla OFF/SET, [TRABAJO] nos acercamos a G54 para grabar las coordenadas que obtuvimos.	
12	En G54 digitamos: a. X0 luego [media] b. Y0 luego [media] c. Z0 luego [media]	
13	Mandar a "HOME".	

CUADRO 6.10

COMPENSACIÓN DE ALTURAS		
Proceso de suma importancia para el inicio de operaciones en la máquina.		
Plan de trabajo		
Nº	Operación	Herramientas Accesorios
1	La compensación se realiza con la herramienta que se ubica en el HONNER 1. (Recomendable hacerlo con una herramienta larga.)	Fresa larga
2	Con HONNER 1 se toma Z=0, en la pantalla tenemos: * Pos, Z, Origen * OFF/SET, G54, Zo media	
3	Cambiar la herramienta con la que se desea realizar la compensación	Fresa
4	En la pantalla ubicamos: * OFF/SET, [COMPENSACIÓN]	
5	En la tabla de compensación presionar Z, [ENTR C] y se ingresará la diferencia de alturas con respecto a la herramienta 1.	
7	Para activar esta compensación se usa el siguiente código: G43 H2 donde: * G43: compensación de altura * H: indica que compensa la altura * # de herramienta en el carrusel	

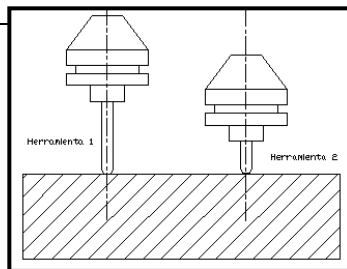


Figura 2.1 Compensación de alturas.

CUADRO 6.11

CORRIDA DEL PROGRAMA	
Proceso de suma importancia para el inicio de operaciones en la máquina.	
Plan de trabajo	
Nº	Operación
1	Los programas pueden correrse únicamente en modo DNC o AUTO, dependiendo de donde este grabado el programa.
2	La mesa debe estar posicionada en HOME antes de iniciar el programa.
3	Es recomendable iniciar el programa activando los siguientes botones: a.- DRY RUN: Bloque las velocidades de posicionamiento rápido pudiendo el operario ir modificando la velocidad de avance. b.- SINGLE BLOCK: Lee el programa línea por línea dando la oportunidad de ir verificando el posicionamiento inicial, comparándolo con el del software.
4	Una vez que estemos seguros de que el programa hará lo pedido liberamos estas 2 funciones.
5	Podemos regular el avance programado en el software en un rango de 10 a 150%.
6	Además se puede regular la velocidad de husillo programado en el software en un rango de -50 a +20%.
7	Si se desea realizar alguna verificación durante la corrida del programa se presiona el botón color rojo FEED HOLD, que pausa la corrida y para reiniciarlo pulsamos CYCLE START.

CAPÍTULO 7

APLICACIÓN PRÁCTICA

7.1 INTRODUCCIÓN

El objetivo de este capítulo es demostrar en la práctica lo estudiado en los capítulos anteriores. Se demostrará por tanto la mejor estrategia en función de la superficie, la veracidad de la simulación en términos de tiempos y acabado superficial. De todas las superficies estudiadas se tomará la superficie esférica por ser más factible de construir en lo referente a tamaño y costos. Además en este conjunto de pequeñas superficies se podrá analizar y comprender la mayoría de las estrategias de fresado que posee SolidCam.

Las características del bloque a maquinar son las siguientes:

- Material: AISI 1018
- Dimensiones: 250 x 130 x 37 mm
- # de semiesferas: 8
- Diámetro de semiesfera: 50 mm

Entre las 8 semiesferas que se construirán se mostrará las etapas de desbaste, semiacabado y acabado cuya explicación se detalla mas adelante.

7.2 PLANIFICACIÓN DE ESTRATEGIAS

Cada una de las semiesferas contendrá las etapas de maquinado de la siguiente manera:

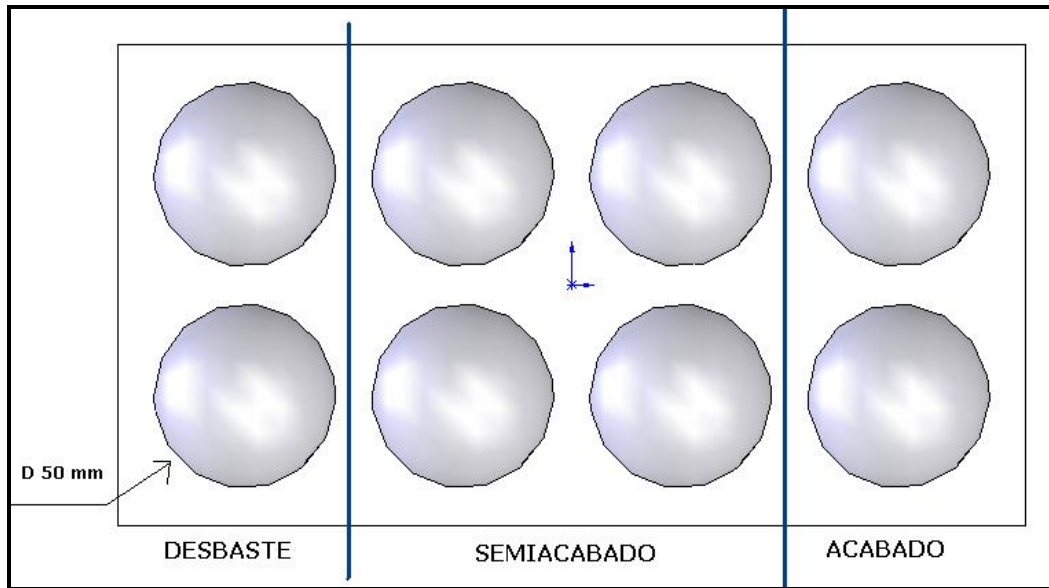


Figura 7.1 Esquema general del bloque

Por motivos de tiempo y costos de uso de un centro de mecanizado el bloque fue previamente desbastado en una fresadora convencional con una broca de diámetro 44 mm dejando una pared de 3 mm de espesor aproximadamente que serán manufacturados en el centro de mecanizado. La broca no posee una punta redonda por lo que el esquema a maquinar quedará de la siguiente manera:

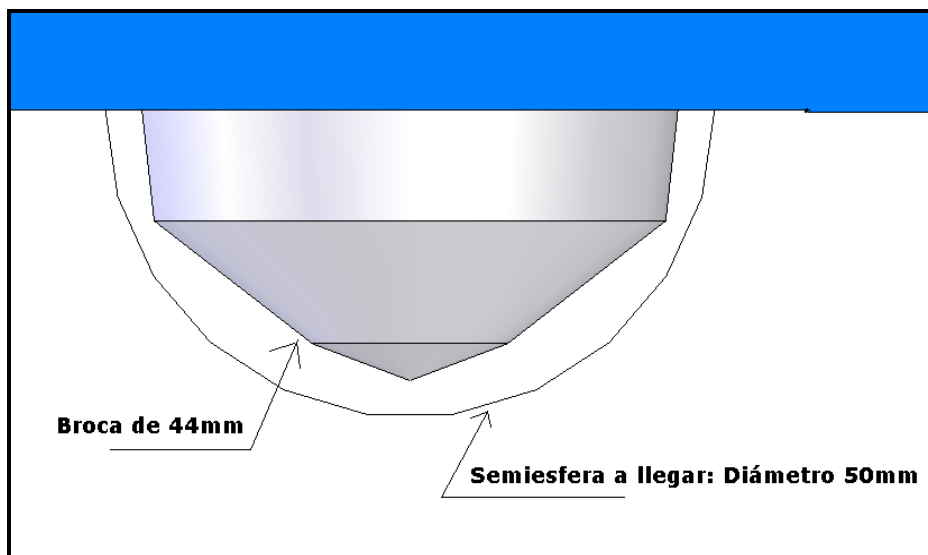


Figura 7.2 Esquema de área a maquinar por centro de mecanizado

SolidCam puede reconocer que como materia prima tiene a un bloque que ha sido taladrado y por ende puede calcular tiempos de maquinado partiendo de este proceso.

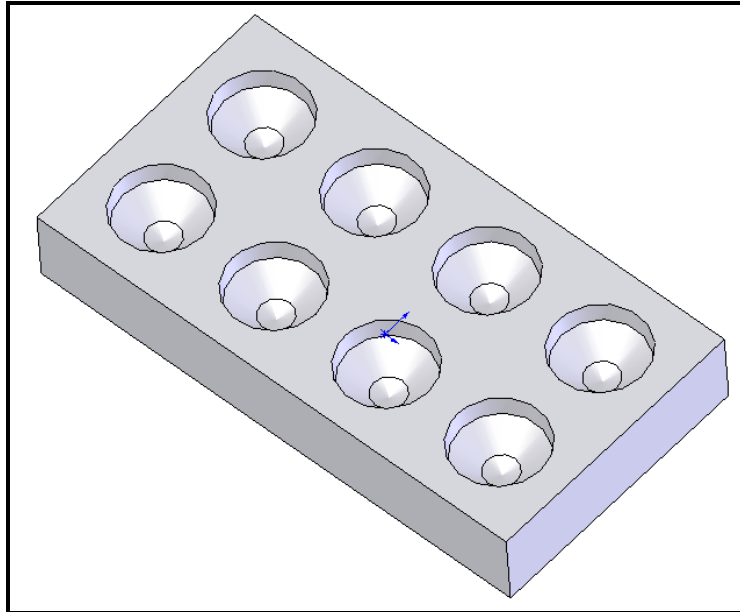


Figura 7.3 Materia prima por SolidCam

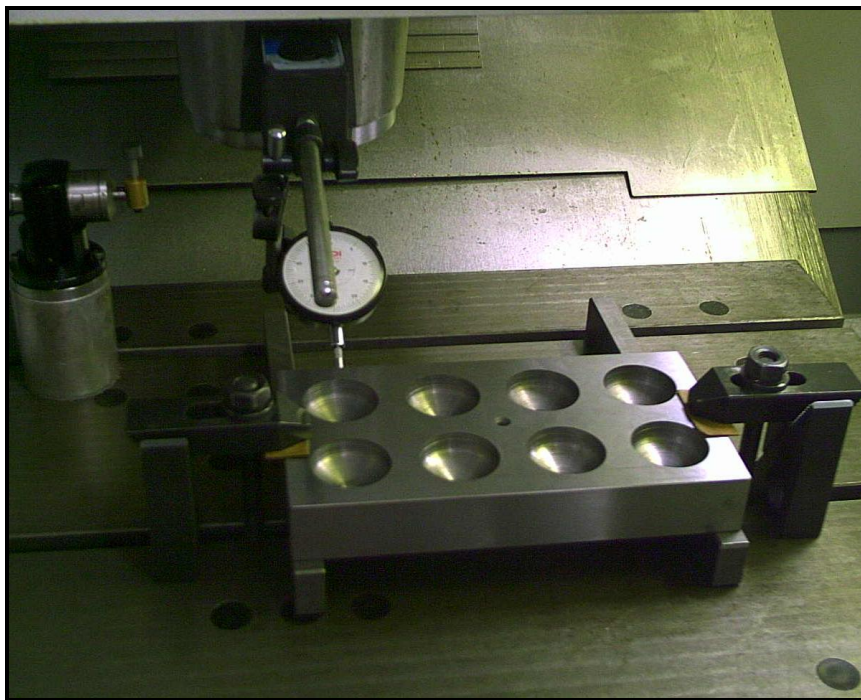


Figura 7.4 Materia prima

Como “target” o modelo destino tenemos a las 8 semiesferas perfectamente formadas:

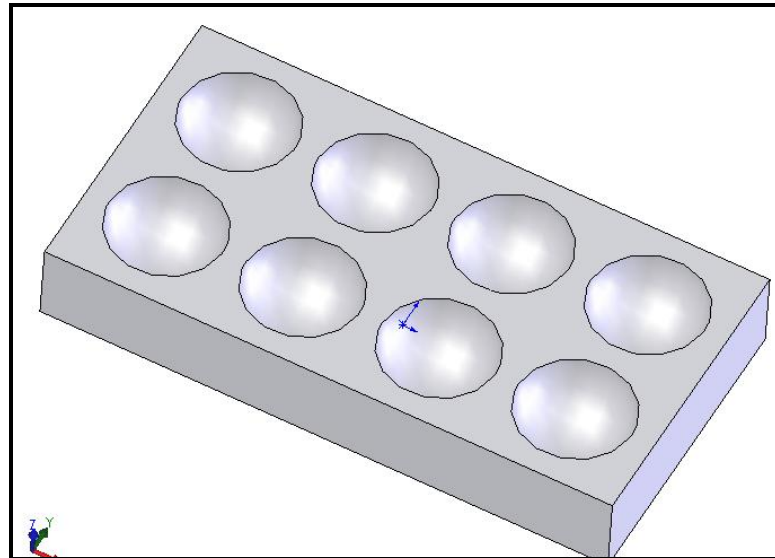


Figura 7.5 Modelo de destino por SolidCam

Por último para programar la manufactura se debe realizar un montaje de la materia prima con el modelo de destino, quedando de la siguiente manera:

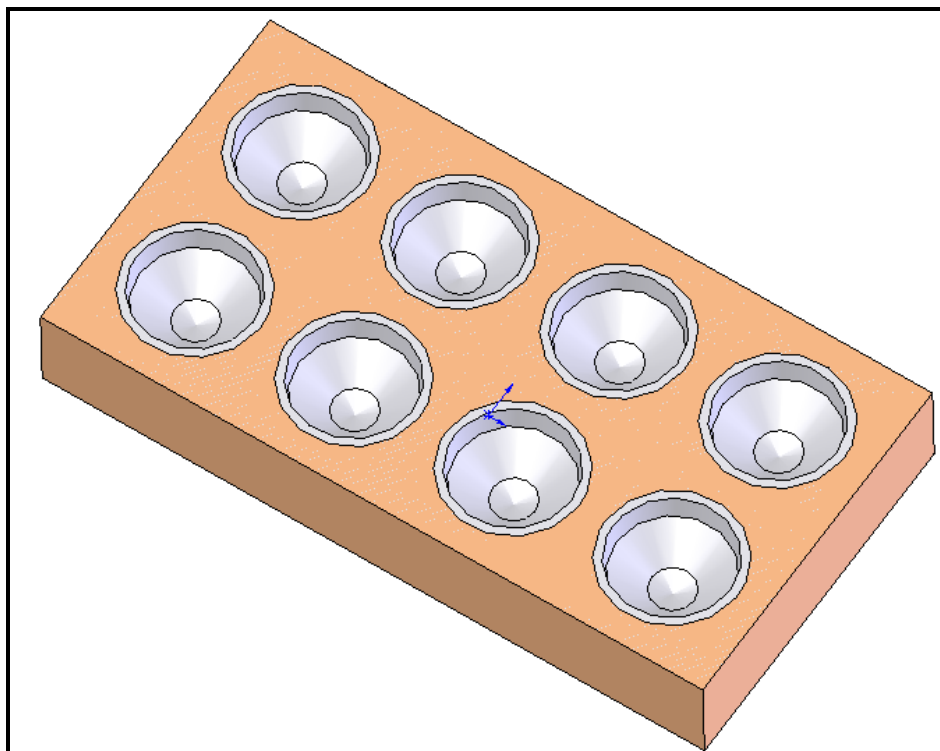


Figura 7.6 Montaje materia prima vs modelo destino por SolidCam

DESBASTE

SolidCam posee 3 estrategias de desbaste: contorno, barrido y zambullida; solo se posee 2 semiesferas para maquinarse por lo que se descarta la estrategia de

zambullida por dejar un acabado demasiado tosco, pudiendo además provocar una rotura prematura de herramienta.

El esquema de desbaste será el siguiente:

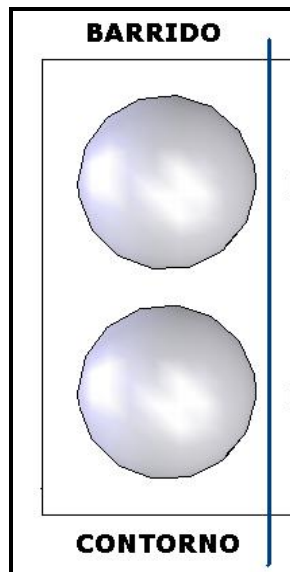


Figura 7.7 Esquema de desbaste

En la primera esfera se realizó un **contorno** con los siguientes parámetros de estrategia según indica el manual de procedimientos:

- Paso de bajada: 1 mm*
- Solapado: 0.65
- Tolerancia de superficie: 0.3*

La razón por la que se escoge 1 mm de paso de bajada y no 5 como dice el manual es porque usaremos una herramienta de menor diámetro a la que se tomó como referencia. La tolerancia de superficie igual debe ser menor porque la herramienta que se dispone para el semiacabado y acabado es de apenas de 6 mm por lo que debe maquinarse una menor cantidad de material.

Según el cuadro 6.7 buscamos la velocidad de corte en función de los materiales de corte y de la herramienta para calcular los avances que se pondrán en la programación.

Para un bloque AISI 1018 con herramientas HSS nos da una velocidad de corte de 80,14 pies/min.

Y se procede a calcular la velocidad de husillo y avance de la mesa para una herramienta de 8 mm de diámetro HSS con 4 filos:

DESBASTE

$$V := 80.14 \frac{\text{pies}}{\text{min}} \quad f := 0.002 \quad \text{número_dientes} := 4$$

$$\text{diámetro_fresa} := 8 \text{ mm}$$

$$\text{diámetro_fresa} := \frac{8}{25.4}$$

$$\text{diámetro_fresa} = 0.315 \text{ pulg}$$

$$N := \frac{12 \cdot V}{\pi \cdot \text{diámetro_fresa}}$$

$$N = 971.906 \text{ rpm}$$

$$f_m := f \cdot \text{número_dientes} \cdot N$$

$$f_m = 7.775 \frac{\text{pulg}}{\text{min}}$$

$$f_m := f_m \cdot 25.4$$

$$f_m = 197.491 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Se obtiene un avance de la mesa de 197.5 mm/min y la velocidad de husillo en 972 rpm.

Debido a que la estrategia de **barrido** posee parámetros similares de estrategia, se maquinó a la segunda esfera con los mismos parámetros de solapado, paso de bajada y tolerancia de superficie.

El solidcam calculó y simuló el maquinado estimando los tiempos de maquinado de la siguiente manera:

Esfera #1:

- Contorno: 15 min

Esfera #2:

- Barrido: 21 min

El acabado superficial lo calculó quedando de la siguiente forma:

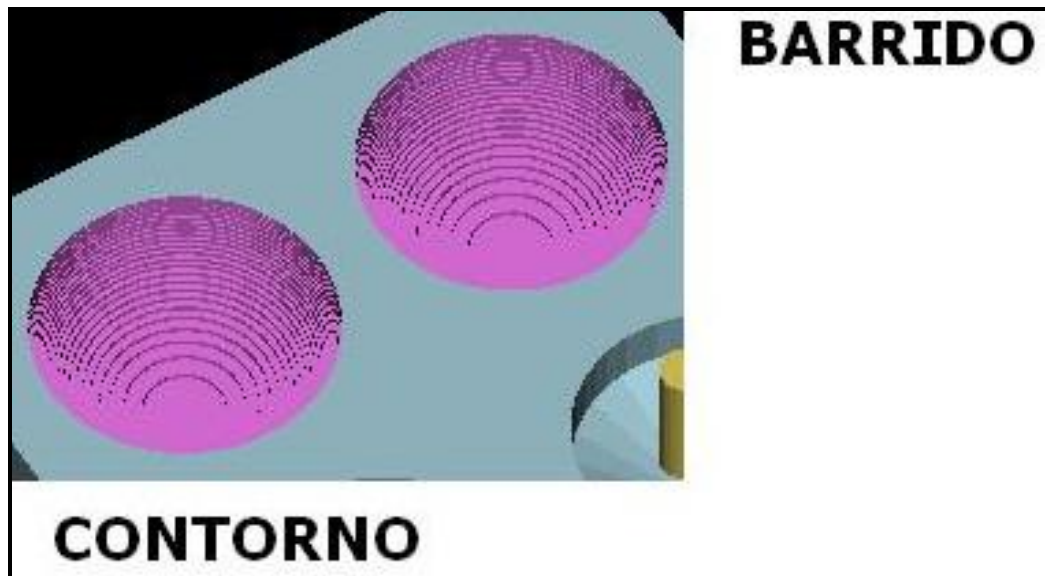
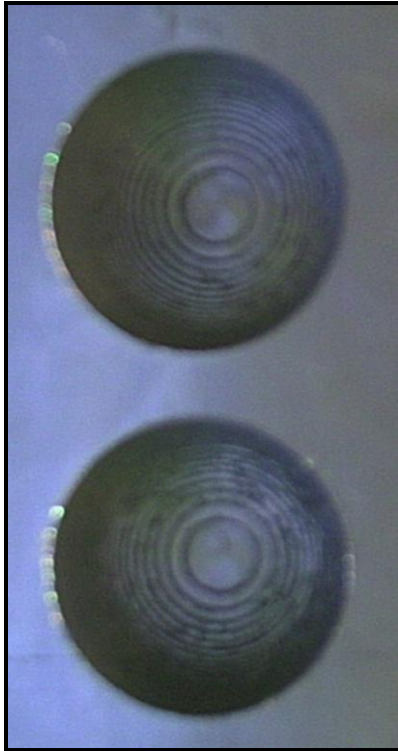


Figura 7.8 Simulación de desbastes

Se dijo en el estudio de estrategias que contorno y barrido dejaban un acabado muy similar para este tipo de superficie pero la diferencia radica en el tiempo, barrido demora aproximadamente 50% mas de tiempo que contorno.

La siguiente foto muestra como quedaron las semiesferas luego del desbaste:



ESTRATEGIA: BARRIDO

ESTRATEGIA: CONTORNO

Figura 7.9 Esferas desbastadas

Como se puede ver la simulación de SolidCam comparado la foto real es idéntica. Los tiempos se cumplieron, por tanto las siguientes semiesferas tendrán una estrategia de contorno como desbaste.

SEMIACABADO

En el estudio de estrategias se demostró que de las 7 estrategias de semiacabado y acabado que posee SolidCam solo 4 podían ser aplicables en este tipo de superficie siendo estas:

- Lineal
- Espiral
- Z constante
- Cajera circular

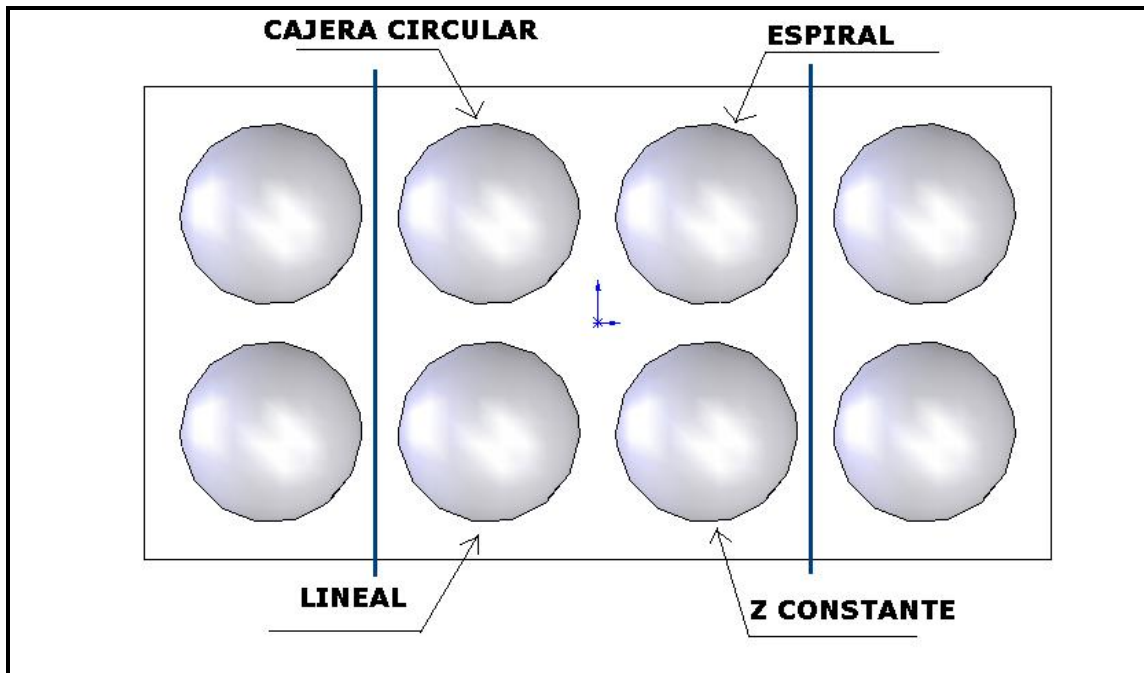


Figura 7.10 Esquema de semiacabado

Para tener una comparación de las estrategias se toma al valor de 1 mm como parámetro común entre las estrategias quedando así los parámetros de mecanizado:

Esfera #3:

- Lineal:

- Paso Lateral: 1mm
- Tolerancia de superficie: 0.1 mm
- Dirección: Ida y Vuelta

Esfera #4:

- Cajera circular:

- Paso Lateral: 1mm
- Tolerancia de superficie: 0.1 mm
- Tipo de corte: Convencional

Esfera #5:

- Z constante:
 - Paso de Bajada: 1 mm
 - Tipo de corte: Convencional
 - Empezar desde: Arriba hacia abajo

Esfera #6:

- Espiral:
 - Incremento de radio: 1 mm
 - Tipo: Espiral circular

Las 4 estrategias van a maquinar una cantidad muy similar a maquinar por tanto el avance y la velocidad de husillo para una fresa de diámetro 6 mm HSS son:

SEMIACABADO

$$V := 80.64 \frac{\text{pies}}{\text{min}}$$

$$f := 0.004$$

$$\text{diámetro_fresa} := 6 \text{ mm}$$

$$\text{número_dientes} := 4$$

$$\text{diámetro_fresa} := \frac{6}{25.4}$$

$$\text{diámetro_fresa} = 0.236 \text{ pulg}$$

$$N := \frac{12 \cdot V}{\pi \cdot \text{diámetro_fresa}}$$

$$N = 1.304 \times 10^3 \text{ rpm}$$

$$f_m := f \cdot \text{número_dientes} \cdot N$$

$$f_m = 20.863 \frac{\text{pulg}}{\text{min}}$$

$$f_m := f_m \cdot 25.4$$

$$f_m = 529.929 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Nos da una velocidad de husillo de 1304 rpm y un avance de la mesa de 530 mm /min

La simulación SolidCam calcula el acabado superficial de las 4 semiesferas como se muestra en la figura:

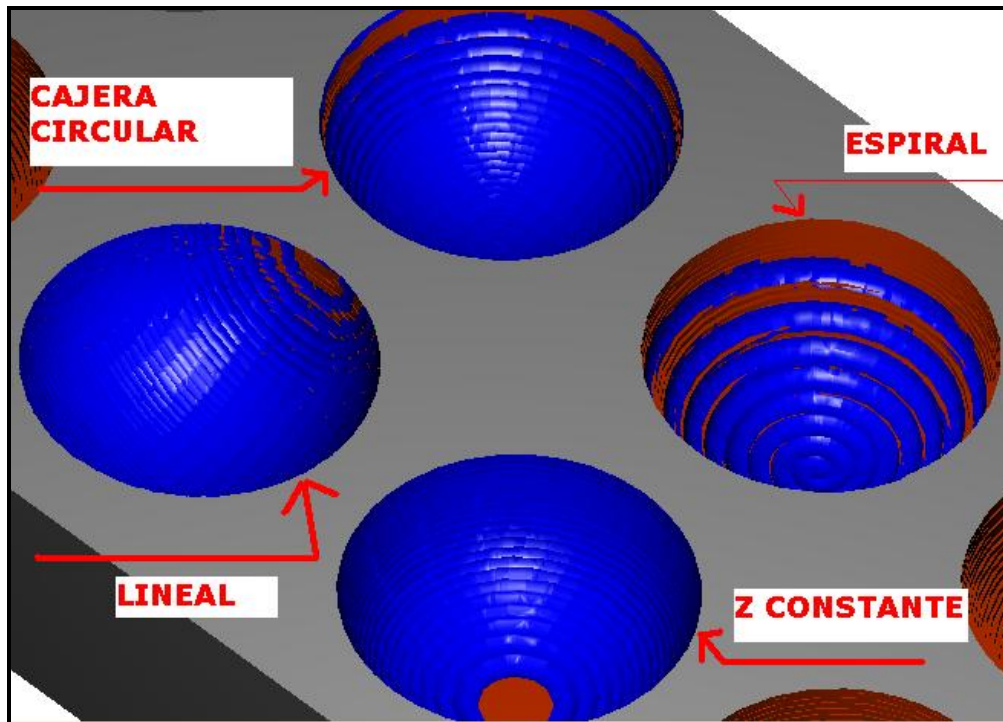


Figura 7.11 Simulación de semiacado

Y las semiesferas luego de haber sido maquinadas quedaron de la siguiente manera:

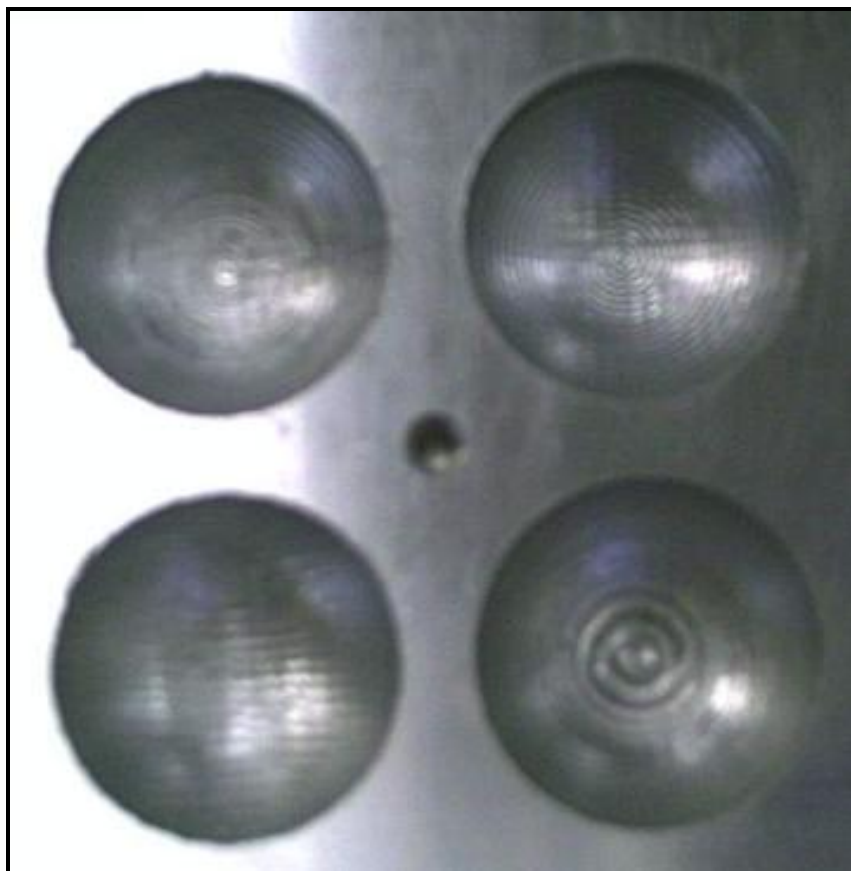


Figura 7.12 Esferas semiacabadas

Los tiempos simulados y reales fueron similares quedando de la siguiente manera:

Lineal:	16 min
Cajera Circular:	8 min 48 s
Z constante:	15 min 45 s
Espiral:	4 min 11 s

Se demuestra por tanto que el mejor semiacabado es el Z constante aunque deja pequeñas gradas en la parte inferior que serán maquinadas sin novedad en el acabado.

ACABADO

En las 2 últimas semiesferas que restan se realizarán 2 estrategias de acabado siendo estas: Z constante y lineal. Se sobreentiende por tanto que éstas han recibido previamente un desbaste tipo contorno y un semiacabado tipo Z constante.

Por ser acabados la tolerancia de superficie debe ser 0 mm y el paso lateral o de bajada se lo debe disminuir para dejar un buen acabado. Por tanto la estrategia queda de la siguiente manera:

Esfera #7:

- Z constante
 - Paso de bajada: 0.4 mm
 - Tipo: De arriba hacia abajo

Esfera #8:

- Lineal
 - Paso lateral: 0.4 mm
 - Dirección: Ida y vuelta.

Las 2 estrategias van a maquinar una cantidad similar, por tanto el avance y la velocidad de husillo para una fresa de diámetro 6 mm HSS son:

ACABADO

$$V := 72.44 \frac{\text{pies}}{\text{min}} \quad f := 0.005$$

$$\text{diámetro_fresa} := 6 \text{ mm} \quad \text{número_dientes} := 4$$

$$\text{diámetro_fresa} := \frac{6}{25.4}$$

$$\text{diámetro_fresa} = 0.236 \text{ pulg}$$

$$N := \frac{12 \cdot V}{\pi \cdot \text{diámetro_fresa}}$$

$$N = 1.171 \times 10^3 \text{ rpm}$$

$$f_m := f \cdot \text{número_dientes} \cdot N$$

$$f_m = 23.427 \frac{\text{pulg}}{\text{min}}$$

$$f_m := f_m \cdot 25.4$$

$$f_m = 595.053 \frac{\text{mm}}{\text{min}}$$

Nos da una velocidad de husillo de 1171 rpm y un avance de mesa de 595 mm/min.

La simulación produjo el siguiente resultado:

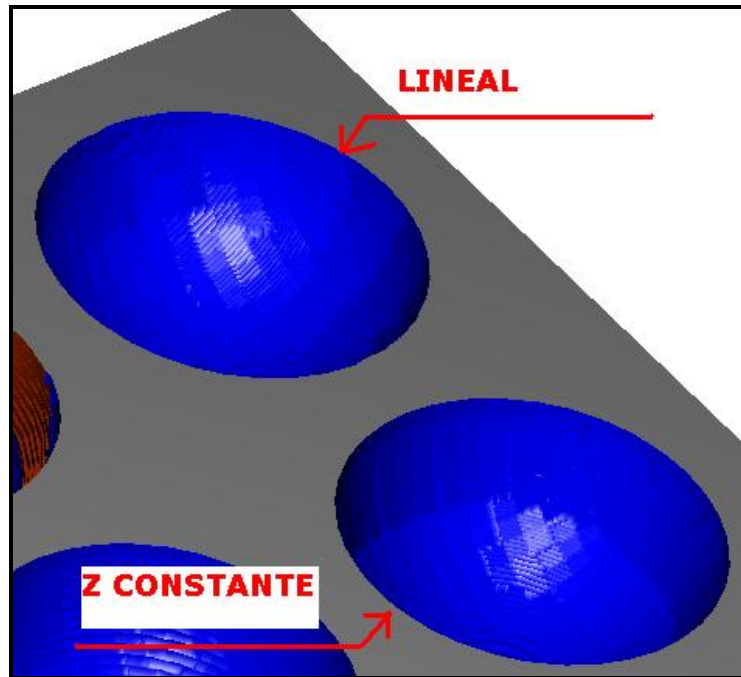
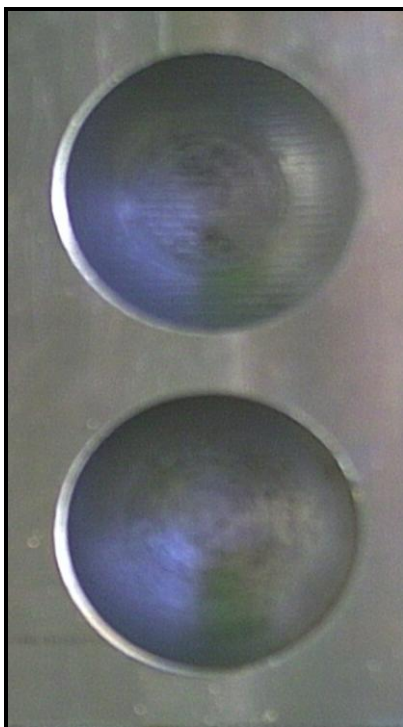


Figura 7.13 Simulación de semiesferas acabadas

Se observa que el acabado lineal reaparece pequeñas rugosidades en la parte superior y elimina las de la parte inferior. El acabado Z constante elimina las rugosidades de la parte inferior que había dejado el semiacabado y mejora el acabado en la parte superior de la semiesfera.

La foto muestra lo siguiente:



ESTRATEGIA: LINEAL

ESTRATEGIA: Z CONSTANTE

Figura 7.14 Semiesferas acabadas

Los tiempos de simulación y reales fueron muy parecidos y son los siguientes:

Z constante: 26 min

Lineal: 22 min

7.3 EVALUACIÓN DE RESULTADOS

Las 8 semiesferas fueron maquinadas con las siguientes estrategias según la figura:

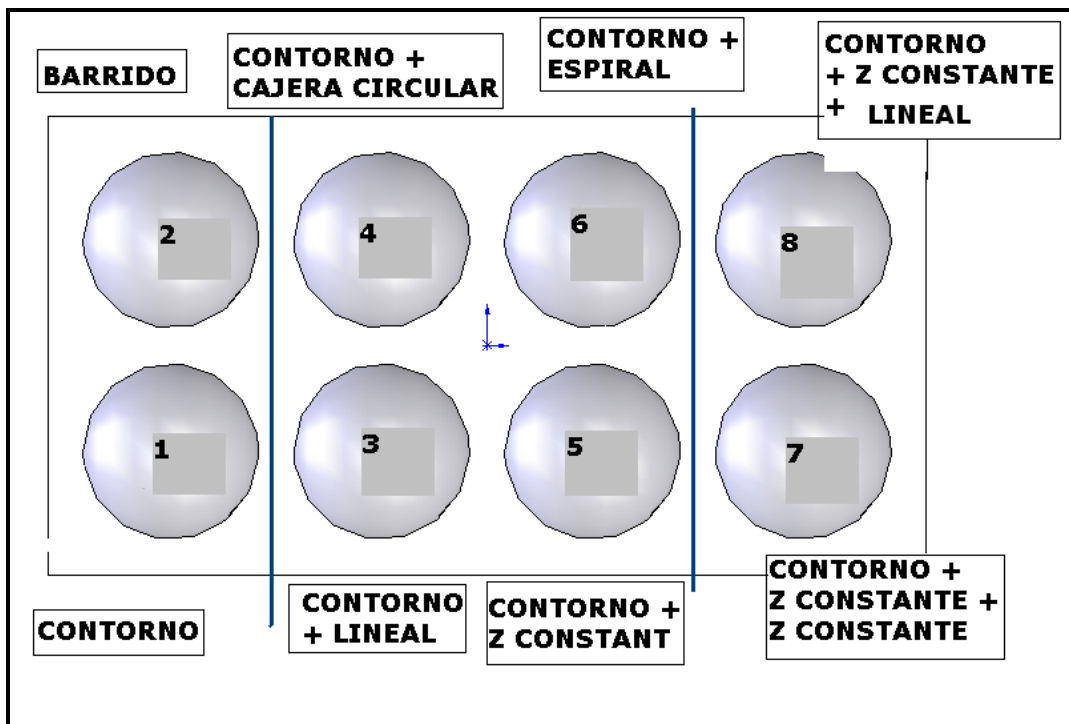


Figura 7.15 Esquema de bloque final



Figura 7.16 Bloque de semiesferas terminado

Se comprueba que la simulación en términos de acabado y de tiempos de maquinado se cumplió al compararlos con la realidad.

El manual de procedimientos fue usado para encontrar la mejor estrategia en función de la superficie y en términos de parámetros de corte comprobando que la mejor estrategia fue:

Desbaste:	Tipo Contorno	15 min
Semiacabado:	Tipo Z Constante	15 min
Acabado:	Tipo Z Constante	26 min

Para poder realizar una comparación con lo dicho en el manual se debe tomar en cuenta que el tiempo del desbaste previo hecho por la broca que fue de aproximadamente 10 min por semiesfera. Por tanto el tiempo total para maquinar la semiesfera de mejor acabado es de 66 min. Mientras que el manual nos indicó un tiempo de 55 min con una herramienta de 19 mm lo cual demuestra que las herramientas de menor diámetro deben trabajar con un mayor avances pero NO se les pueden dar grandes profundidades de corte porque tienden a romperse y requieren un desbaste previo para que su tiempo de vida sea mayor.

En el proceso de maquinado el tiempo considerado es unicamente el tiempo del proceso de manufactura empleado en la máquina. Debemos tomar en cuenta de que no se tomo los tiempos en procesos complementarios como preparar la máquina, centrar la pieza, limpieza de la máquina, afilado de herramientas, montaje de herramientas, etc. Además los tiempos complementarios dependen del operador que se encuentra frente a la máquina y estos pueden variar de operador a operador dependiendo de la experiencia.

CAPÍTULO 8

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

8.1 CONCLUSIONES

- El manual de procedimientos de procesos de fresado de SolidCam fue elaborado detalladamente y probado en una aplicación real obteniendo resultados satisfactorios en un estudio de estrategias encaminadas a mejorar el proceso de mecanizado por medio de la reducción de los tiempos de maquinado para obtener una superficie con un acabado superficial lo suficientemente apegado a las necesidades de los trabajos a realizarse en el mismo.
- Presentamos el código G y M con los principales códigos aplicados en el desarrollo del CAM para lograr un fácil entendimiento y realizar posibles correcciones que se requiera luego de haber generado un código para una mejor aplicación en la práctica.
- Existen procesos que no son económicamente factibles de ser realizados en un centro de mecanizado tales como planeado y taladrado de desbaste ya que los mismos no tienen una complejidad alta para ser desarrollados en el Solidcam y luego ser maquinado en el centro de mecanizado.
- Se calculó todas las velocidades de corte posibles para las diferentes etapas de maquinado en función de la materia prima existente en el Ecuador y del tipo de herramienta con lo que se puede establecer parámetros de corte para cualquier diámetro y número de filos de la herramienta.
- La potencia de corte de una máquina herramienta no es afectada por la velocidad y profundidad de corte ni por el material de la herramienta. Es mas bien afectada por la dureza y micro estructura del material, índice de avance por diente y rugosidad de la superficie.

- La velocidad de corte es directamente proporcional al diámetro de la herramienta y al número de revoluciones del husillo. Existen 3 factores adicionales de ajuste relacionados con el avance por diente, profundidad y área de corte.
- Las diferentes estrategias de fresado de SolidCam están destinadas para los diferentes tipos de superficie y etapas del maquinado (desbaste, semiacabado, acabado). Brinda además la posibilidad de ingresar los diferentes tipos de herramientas incluyendo sus características tales como número de filos y las diferentes alturas que la caracterizan.
- De las estrategias de desbaste se concluye que Contorno y Barrido dejan un acabado similar; sin embargo, su diferencia radica en el tiempo que les toma cubrir la superficie, es decir el tiempo de maquinado. En el caso de superficies esféricas y cóncavas Barrido demora aproximadamente un 50% más que el contorno mientras que en superficies planas Barrido tarda un 10% aproximadamente menos que el Contorno.
- De igual forma las estrategias de semiacabado y acabado fueron diseñadas en función del tipo de superficie a maquinar como por ejemplo Z constante para esféricas, lineal para cóncavas y sobrepaso constante para prismáticas.

8.2 RECOMENDACIONES

- La Facultad de Ingeniería Mecánica debe dar mayor énfasis al estudio CAD/CAM en la malla curricular debido a que se está aplicando con mucha fuerza en los procesos de producción de varias industrias en el desarrollo de productos como lo son los moldes de plástico, piezas mecánicas, etc.

- Los estudiantes que están programando en SolidCam deben entender las diferentes opciones de maquinado que el programa posee antes de la programación misma por lo que estarían inmersos con mayor conocimiento en el desarrollo de procesos con la aplicación de tiempos eficientes.

- Las asignaturas de Procesos de Manufactura y CAD/CAM deben llevarse de una manera paralela para que al final se pueda realizar un proyecto en conjunto con la aplicación de los conocimientos adquiridos en ambas materias para mejorar el entendimiento que contraen los procesos teóricos y prácticos.

- La Facultad de Ingeniería Mecánica debe ampliar el tiempo de ejecución de las prácticas industriales, ya que en muchas ocasiones la experiencia que se vive en la práctica vale mucho más que lo aprendido en la teoría y en el lapso de 320 horas no se aprende lo suficiente para ganar la experiencia necesaria para desempeñar una función adecuada en la industria con conocimientos prácticos sólidos.

- Se debe tener en cuenta que al momento de realizar un proyecto de grado en alguna empresa privada se necesita llevar el proceso de una manera adecuada por medio de papeles o contratos adecuados para obtener el beneficio de ambas partes en el desarrollo del proyecto.

