

**EVALUACION DE LA FACTIBILIDAD DE IMPLEMENTACION DE MAQUINAS  
HERRAMIENTAS MULTIEJES DE CONTROL NUMERICO POR MEDIO DE LA  
PRODUCCION DE SELECTORES REF. 2RL.**

**ANDRES FELIPE CIFUENTES GOMEZ.**

**TRABAJO DE GRADO EN LA MODALIDAD DE DESARROLLO DE PROBLEMA DE  
INGENIERIA.**

**DIRECTOR:**

**JORGE ANDRES GARCIA BARBOSA.**

**CO-DIRECTOR.**

**CARLOS JULIO CAMACHO LOPEZ.**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA  
DIVISION DE INGENIERIAS  
BOGOTA D.C.**

**2015.**

## RESUMEN

Se determinó que es factible la implementación de máquinas herramientas multiejes, controladas con tecnología CNC (Control Numérico Computarizado), para la fabricación de elementos con geometrías poliédricas, como lo son los selectores 2RL (Industria textil). Se evidenció un aumento en la productividad de 11.4 veces, con respecto a la fabricación con tecnología convencional y un reducción de costos de operación del 55.91%.

Por otra parte es visible el hecho de que una apropiación incompleta reduce la productividad de la máquina en 1.3 veces, como se evidencia en el procedimiento PA-A (Proceso Avanzado A), en donde la falta de un software CAM impide generar códigos eficientes propios de una máquina multi-ejes. De este modo se hace visible la necesidad de un método que permita apropiarse tecnología de manera eficiente.

Un fenómeno similar ocurrió durante la implementación del procedimiento PC-B, en el cual por medio de una redistribución en las operaciones tecnológicas, permitió mejorar la productividad en un 65% con respecto al procedimiento PC-A. Las máquinas herramientas por si solas no influyen en los indicadores de calidad de una organización, estos dependen de la combinación del talento humano y la tecnología.

Para determinar los valores de productividad y reducción de costos de operación, se compararon 2 procedimientos convencionales "PC-A y PC-B" (Proceso Convencional A y B) los cuales están planeados para mostrar los beneficios de flexibilidad de las MHCH (Máquinas herramientas de control humano), y 2 procedimientos avanzados, ejecutados en MHCN (Máquinas Herramientas de Control Numérico), PA-A y PA-B (Proceso Avanzado A y B) los cuales combinan las propiedades de las máquinas convencionales y ofrecen otra serie de beneficios que permiten desarrollar el mismo producto de una mejor manera.

Los métodos por los cuales se planificó cada proceso, están basados en el uso de técnicas MRSEV (Material Removal Shape Element Volumes) para determinar las operaciones tecnológicas y análisis de elementos finitos para determinar la deformación del material y la herramienta y comparar la rigidez de los montajes que permite cada tecnología.

## CONTENIDO

1	PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA.....	7
2	OBJETIVOS.....	10
2.1	GENERAL .....	10
2.2	ESPECIFICOS .....	10
3	MARCO TEORICO .....	11
3.1	PARAMETROS DE CORTE.....	11
3.2	ARQUITECTURA DE MAQUINA HERRAMINETAS.....	14
3.3	MRSEV (Material Removal Shape Element Volumes).....	17
3.4	PRODUCCION FLEXIBLE VS PRODUCCION EN CADENA.....	18
3.5	TECNOLOGIAS CAM.....	19
3.6	IDENTIFICACION DE TRAYECTORIAS Y MOVIMIENTOS .....	23
3.7	TIEMPOS DE MANUFACTURA .....	24
3.8	FUERZAS EN PROCESOS DE CORTE .....	25
3.8.1	FRESADO AXIAL Y FRESADO RADIAL .....	26
3.8.2	PROCESOS DE TORNEADO-FRESADO EN TORNO DE CABEZAL MOVIL .....	27
3.9	RIGIDEZ DE MONTAJES. ....	31
3.10	ANÁLISIS DE COSTOS.....	33
3.10.1	COSTOS FIJOS Y COSTOS VARIABLES.....	33
3.10.2	COSTOS DIRECTOS.....	34
3.10.3	COSTOS INDIRECTOS.....	35
4	METODO de EVALUACION DE FACTIBILIDAD.....	36
4.1	TECNOLOGIA CONVENCIONAL.....	37
4.2	TECNOLOGIA DE CONROL NUMERICO COMPUTARIZADO .....	38
4.3	HERRAMIENTAS DE CORTE .....	41
5	PLANIFICACION Y EJECUCION DE PROCESOS.....	42
5.1	PROCESO CONVENCIONAL – A (PC-A).....	42
5.1.1	PLANIFICACION DE OPERACIONES.....	42
5.1.2	DISPOSITIVOS .....	54
5.1.3	TIEMPOS DE MANUFACTURA .....	55
5.1.4	ANALISIS DE MONTAJE.....	65

5.1.5	ANALISIS DE VIBRACION EN LA HERRAMIENTA PC-A. ....	68
5.1.6	ANALISIS DE COSTOS.....	69
5.2	PROCESO CONVENCIONAL – B (PC-B).....	72
5.2.1	PLANIFICACION DE OPERACIONES.....	72
5.2.2	DISPOSITIVOS.....	84
5.2.3	TIEMPOS DE MANUFACTURA .....	85
5.2.4	ANALISIS DE MONTAJE.....	93
5.2.5	ANALISIS DE VIBRACION DE HERRAMIENTA EN MONTAJE PC-B. ....	96
5.2.6	ANALISIS DE COSTOS.....	97
6	PROCESO AVANZADO – A (PA-A).....	101
6.1.1	PLANIFICACION DE OPERACIONES  .....	101
6.1.2	TIEMPOS DE MANUFACTURA .....	105
6.1.3	ANALISIS DE MONTAJE.....	108
6.1.4	ANALISIS DE COSTOS.....	111
7	PROCESO AVANZADO – B (PA-B).....	114
7.1.1	PLANIFICACION DE OPERACIONES.....	114
7.1.2	TIEMPOS DE MANUFACTURA .....	121
5.1.1	ANALISIS DE MONTAJE.....	122
7.1.3	ANÁLISIS DE COSTOS.....	125
8	RESULTADOS.....	127
9	ANALISIS ECONOMICO FINANCIERO.....	129
9.1	Generalidades.....	129
9.2	MERCADO.....	129
9.2.1	MATERIAS PRIMAS E INSUMOS.....	130
9.2.2	OPCIONES SOBRE TECNOLOGIA Y COSTO GLOBAL.....	130
9.2.3	PLAN DE FINANCIAMINETO.....	130
9.2.4	MANO DE OBRE FIJA Y VARIABLE DE PRODUCCION.....	132
9.2.5	FLUJOS NETOS DE CAJA.....	132
9.3	COMPARACION FINANCIERA.....	136
10	Recomendaciones.....	137
11	CONCLUSIONES.....	138
12	Bibliografía.....	145

## LISTA DE FIGURAS.

Figura 1. Prototipo del Selector 2RL. ....	8
Figura 2. Tiempo de corte. ....	13
Figura 3. Ejemplo de maquina herramienta 1974 (Okuma) ....	14
Figura 4. Tipos de máquinas herramientas de control numérico. ....	15
Figura 5. Posibles configuraciones para MHCN de 5 ejes. ....	16
Figura 6. Análisis de posición de herramientas y número de montajes. ....	18
Figura 7. Prototipo digital para mecanizado multi-ejes. ....	19
Figura 8. Fresa con carga puntual. ....	26
Figura 9. Fresa con carga distribuida. ....	27
Figura 10. Torno-fresado axial. ....	28
Figura 11. Torno-fresado ortogonal. ....	28
Figura 12. Geometría de la herramienta. ....	30
Figura 13. Comportamiento de Fuerza de corte en proceso de fresado. ....	31
Figura 14. Formulación del costo de producción. ....	33
Figura 15. Modelo digital de selector 2RL. ....	36
Figura 16. Taladro fresador y Cabezal divisor. ....	37
Figura 17. Configuración de torno tipo suizo. ....	38
Figura 18. Torno de cabezal móvil Poligym 20 CSB II. ....	40
Figura 19. Distribución de selectores sobre material en bruto. ....	46
Figura 20. Trazado de trayectorias para corte. ....	47
Figura 21. Segmento de platina y material en bruto (PC-A). ....	48
Figura 22. Marcas del proceso de fresado axial. ....	48
Figura 23. Operaciones tecnológicas para el procedimiento PC-A. ....	50
Figura 24. Ejecucion de fresados PC-A. ....	50
Figura 25. Remoción de volumen de cajera según método MRSEV. ....	51
Figura 26. Cabezal de taladro fresador rotado. ....	52
Figura 27. Orientación de herramienta. ....	52
Figura 28. Volumen de material a remover para generar cara inclinada. ....	53
Figura 29. Extensión de plano inclinado. ....	53
Figura 30. Boquilla o pinza para sujeción de herramienta de corte. ....	54
Figura 31. Prensa de mordazas paralelas. ....	54
Figura 32. Parámetros de Corte PC--A. ....	65
Figura 33. Fuerza resultante, Alternante. ....	66
Figura 34. Deformación de la herramienta en fresado axial. ....	66
Figura 35. Deformación de Material en Bruto. ....	67
Figura 36. Frecuencia Natural en Fresado Axial. ....	68
Figura 37. Superficie fija en herramienta de corte. ....	68
Figura 38. Ejecucion de perforacion excentrica. ....	77
Figura 39. Diagrama basado en modelos MRSEV orientado a procesos en serie. ....	78

Figura 40. IPW de una serie de selectores.....	79
Figura 41. Mecanizado de contorno PC-B.....	79
Figura 42. Volumen de material removido y orientación de corte para fresado de cajas.....	80
Figura 43. Volumen de material removido y orientación de corte para fresado de cajas.....	80
Figura 44. Geometría resultante de la fase de fresado de cajas.....	81
Figura 45. IPW de selectores en proceso de separación.....	81
Figura 46. Tronzado de material en Bruto con contorno de mecanizado.....	82
Figura 47. Holgura de tronzado para mantener espesores.....	82
Figura 48. Condiciones eficientes de corte para operación de tronzado.....	83
Figura 49. Cabezal divisor Vertex BS-2.....	84
Figura 50. Parámetros de corte en PC-B.....	93
Figura 51. Proceso de Fresado tangencial o radial.....	93
Figura 52. Fuerza de corte Vs ángulo de la herramienta.....	94
Figura 53. Deformación de la herramienta en fresado radial.....	95
Figura 54. Deformación de material en proceso de fresado radial.....	95
Figura 55. Frecuencia Natural de herramienta en fresado radial.....	97
Figura 56. Comparación de tiempos totales de operación.....	100
Figura 57. Operaciones de desbaste y acabado según PA-A.....	104
Figura 58. Parámetros de corte para ejecución de PA-A.....	109
Figura 59. Deformación de la herramienta de corte.....	109
Figura 60. Fuerza alternante de corte.....	110
Figura 61. MRSEV orientado a producción precisa y en serie.....	117
Figura 62. Trayectoria para remoción de volumen principal (Azul).....	117
Figura 63. Simulación de Proceso de maquinado en MHCN (Torno tipo suizo 20 CSB II).....	118
Figura 64. Intersección de volumen de material a remover para la definición del selector.....	119
Figura 65. Trayectorias definitivas para operaciones de desbaste y acabado.....	119
Figura 66. Procesos de Acabado y desbaste según PA-B.....	120
Figura 67. Parámetros de corte de fresado.....	123
Figura 68. Fuerza alternante de corte en Trono-fresado axial.....	123
Figura 69. Deformación de la herramienta en proceso de torno-fresado axial.....	124
Figura 70. Deformación de material en proceso de torno-fresado axial.....	124
Figura 71. Selectores Resultantes.....	128

# 1 PLANTEAMIENTO DEL PROBLEMA

La tecnología de procesos por arranque de viruta, en la industria colombiana, no ha evolucionado al ritmo del desarrollo internacional ya que en muchas de nuestras empresas se produce con tecnología de la segunda guerra mundial. La necesidad de apropiarse la tecnología de máquinas herramientas multiejes de control numérico enfocadas a mejorar la productividad, la eficiencia de los procesos y de la calidad de las piezas, es necesaria para el aumento de la competitividad en mercados nacionales e internacionales.

No solo es comprar o adquirir la tecnología, es apropiarla, lo que significa comprender e implementar de manera adecuada y pertinente el proceso de manufactura de control numérico, controlando y verificando variables, estrategias de mecanizado y herramientas empleadas dentro de los procesos de producción, junto con otros factores como el recurso humano y las nuevas prácticas que conlleva adaptar la tecnología CNC. La parte profesional en el desarrollo de procesos por medio de MHCN es indispensable no solamente desde el punto de vista operativo, también es importante profesionales dedicados a la nueva planeación de los procesos, de este modo se generan equipos de trabajo en el cual se buscan sacar el mejor provecho de la tecnología.

La implementación de la tecnología CNC no solamente involucra el uso de maquinaria con cualidades de automatización propia y amplia flexibilidad. Para una apropiación eficiente es necesario combinar varias técnicas como la planeación por medio de software CAD/CAM, selección óptima de parámetros de corte y selección de estrategias de mecanizado, que cambian por completo la manera en la que operan las empresas actualmente.

Se muestra en la **Figura 1**, el selector Ref. 2RL para máquina tejedora Universal 2000, manufacturados por medio de tecnologías convencionales con métodos de fresado, copiado en talleres dedicados al mantenimiento de maquinaria para la industria textil. Estas tecnologías tienden a ser obsoletas e ineficientes con respecto a los sistemas de producción de países desarrollados y por ende debe reconsiderarse la alternativa de implementar tecnología más reciente.

Los selectores son un elemento de máquina que requieren de un desarrollo en su fabricación que garantice el cumplimiento estricto de especificaciones dimensionales y geométricas, en donde es de vital importancia un aumento en el volumen de producción manteniendo la calidad.

Con la capacidad tecnológica instalada es improbable igualar un límite en los volúmenes de producción; optimizar los procesos sin hacer una inversión, es una causa perdida,

considerar mejoras en los sistemas de producción y por ende en la calidad y complejidad de los productos requiere analizar nuevas tecnologías para su correcta implementación.

**Figura 1. Prototipo del Selector 2RL.**



En las empresas dedicadas a la manufactura con procesos por arranque de viruta, la selección de parámetros de corte, programación, planeación de procesos y tiempos de proceso, incluidos en la producción de piezas no se estandariza debidamente, cada persona despliega su conocimiento para la aplicación de una técnica, y los procesos se centran en las habilidades de pocas personas; esto es perjudicial para una organización por qué su eficiencia no depende del despliegue de una técnica de fabricación si no de la experiencia del personal.

Las organizaciones dedicadas a la fabricación de piezas cuyas especificaciones dimensionales son exigentes, como, tolerancias en milésimas, deben adaptar tecnologías más eficientes con respecto a un mayor volumen de producción y de este modo seguir cumpliendo las especificaciones y mejorar los estándares de calidad.

Pensar en una máquina completamente especializada para la manufactura de selectores es inapropiado, las máquinas herramientas bien sean convencionales o de control numérico son en esencia iguales, los dos tipos de herramientas pueden generar movimientos lineales o rotativos, que combinados pueden mecanizar diversos tipos de superficie.

Es indispensable mostrar a las empresas del sector metalmecánico la correcta implementación de la tecnología CNC en los procesos por arranque de viruta, aunque está parezca ser una tarea molesta y con pocos resultados para la industria en la que nos encontramos actualmente. Es importante proponer aportes en el campo de la planeación de procesos de manufactura en máquinas de control numérico multi-ejes.

La necesidad de mejorar en los procesos de producción de las empresas del sector metalmecánico, para competir con industrias desarrolladas como pasa en países como China o Japón; para poder vender la idea de la optimización y el mejoramiento en los procesos por medio de la correcta apropiación e implementación de máquinas herramientas con control numérico computarizado.

Es favorable implementar la tecnología CNC en la industria colombiana, aunque los niveles de producción no son altos en comparación a industrias desarrolladas (China, Corea, Japón) además de tener un mercado dinámico en el que una producción no se sostiene por tiempos prolongados. Esta tecnología con su amplia flexibilidad permite cambiar rápidamente la producción de un elemento a otro sin mayores transformaciones en las configuraciones de la máquina.

Las metodologías que usualmente son usadas para tomar decisiones en cuanto a la adquisición de nuevas tecnologías, están más enfocadas al análisis de variables económicas y conceptos como la evaluación del costo de oportunidad y la relación costo beneficio. Estos ejercicios apropiados más en el campo de la economía ofrecen resultados aproximados a la realidad pero con deficiencias a la hora de evaluar modelos complejos en los que idealizan información vital de un equipo.

Las MHCH dependen en gran parte de la habilidad técnica del operador el cual también es afectado por diversos factores nocivos que desestabilizan el proceso, muchos de estos factores como el estado de ánimo o la salud del operario son difícil de controlar y de predecir lo cual pone en desventaja los medios convencionales de fabricación.

No se pretende colocar las capacidad de la máquina por encima de las del ser humano, lo que se busca es proponer procesos cuyas variables estén bajo total control de este modo evitar problemas o contingencias durante las fases de fabricación de un producto.

## 2 OBJETIVOS

### 2.1 GENERAL

Evaluar la factibilidad de implementación del proceso de manufactura con tecnología CNC en torno tipo suizo Poligym 20 CSB para la fabricación de elementos de geometría compleja y tolerancias geométricas y dimensionales mínimas (selectores REF. 2RL)

### 2.2 ESPECIFICOS

- Planificar el proceso de producción para MHCH (Maquinas herramientas de control numérico) y en MHCN (Maquina herramientas de control humano) de selectores REF. 2RL.
- Implementar el montaje experimental del proceso de producción del selector Ref. 2RL en MHCN y MHCH.
- Efectuar pruebas de vibración y simulación de rigidez sobre los montajes en las diversas maquinas herramientas.
- Analizar el costo de producción de selectores Ref. 2RL para máquina tejedora Universal 2000 bajo las técnicas referentes a MHCN y MHCH.
- Realizar el análisis financiero para determinar la factibilidad de implementación de la tecnología de torno tipo suizo Poligym 20 CSB en el proceso de producción de selectores Ref. 2RL.

## 3 MARCO TEORICO

### 3.1 PARAMETROS DE CORTE

Dentro de las fases de planeación es necesario tener en cuenta la mayor cantidad de factores que influyan sobre los procesos que pretenden ejecutarse para una fabricación eficiente de los elementos. Las variables implícitas en los procesos por arranque de viruta están definidos como parámetros de corte; estos parámetros influyen directamente sobre la manera de mecanizar los selectores.

Cuando se tratan procesos por arranque de viruta, se planea que estos procesos de corte sean estables y eficientes [1]. Un proceso estable hace referencia a una operación tecnológica de la cual se tiene control. Cuando los resultados son piezas con acabados irregulares a causa de la vibración durante la operación puede deberse a diversos factores, siendo los parámetros seleccionados de corte los más influyentes.

Existen variables que están ligadas a los parámetros de corte, estas hacen referencia a la potencia de la máquina, de la cual se establece que el punto óptimo de trabajo de una operación tecnológica se encuentra cuando se usa la potencia máxima de la cual dispone la máquina herramienta [2].

Las operaciones tecnológicas que se usan durante este montaje son:

- Fresado:
  - Axial y Radial.
  - Planeado.
- Taladrado.
- Rimado.
- Tronzado.
- Refrentado.

El modo en el que se planeó implementar estas operaciones tecnológicas, cuya orientación tiende a evitar los factores que influyen en la vida de la herramienta. Las condiciones de corte a las que se somete una herramienta de corte son extremadamente agresivas, las fuerzas de corte pueden quebrar la herramienta o la temperatura del proceso puede afectar de manera negativa las propiedades del material de la herramienta lo cual causaría una falla en la misma.

Para las operaciones de fresado en los métodos de acabado y desbaste se tiene en cuenta las siguientes variables:

- Velocidad de corte (**V<sub>c</sub>**) [m/min]:

$$V_c = \frac{\pi \times D_s \times n}{1000}$$

En donde:

$D_s$ : Diámetro de la fresa. [mm]

$V_c$ : Velocidad de Corte. [m/min]

$n$ : Velocidad angular del husillo. [RPM]

- Avance por diente (**f<sub>z</sub>**) [mm/diente]:

$$f_z = \frac{V_f}{Z \times n}$$

En donde:

$f_z$ : Avance por diente. [mm/diente]

$V_f$ : Velocidad de avance. [mm/min]

$Z$ : Numero de filos.

$n$ : Velocidad angular del husillo. [RPM]

- Potencia Requerida (**P<sub>c</sub>**):

$$P_c = \frac{K_s \times Q}{6120 \times \eta} = \frac{K_s \times a_e \times V_f \times a_p}{6120000 \times \eta}$$

$$= \frac{K_s \times a_e \times f_z \times a_p \times Z \times n}{6120000 \times \eta}$$

$f_z$ : Avance por diente. [mm/diente]

$n$ : Velocidad angular del husillo. [RPM]

$Z$ : Numero de filos.

$K_s$ : Resistencia de corte especifica.

$\eta$ : Eficiencia Mecánica.

$Q$ : Volumen de eliminación de virutas. [mm<sup>3</sup>]

$a_p$ : Profundidad de corte. [mm]

En donde:

$P_c$ : Potencia Requerida.

$a_e$ : Anchura de corte.

$V_f$ : Velocidad de avance.

- Volumen de eliminación de virutas (**Q**):

$$Q = \frac{a_e \times V_f \times a_p}{1000} = \frac{a_e \times f_z \times a_p \times Z \times n}{1000}$$

$V_f$ : Velocidad de avance. [mm/min]

$n$ : Velocidad angular del husillo. [RPM]

$Z$ : Numero de filos.

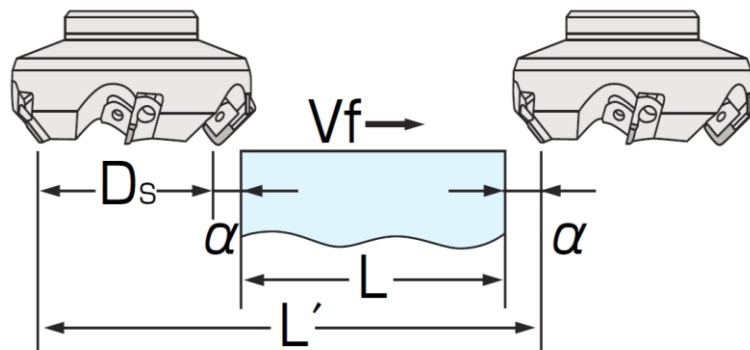
$a_p$ : Profundidad de corte. [mm]

En donde:

$a_e$ : Anchura de corte.

- Tiempo de Corte (**T**) **Figura 2**:

Figura 2. Tiempo de corte.



$$T = \frac{60 \times L'}{V_f} = \frac{60 \times L'}{f_z \times Z \times n}$$

$n$ : Velocidad angular del husillo. [RPM]

$Z$ : Numero de filos.

$f_z$ : Avance por diente. [mm/min]

$L'$ : Longitud de transferencia ( $L + D_s + 2\alpha$ )[mm]

En donde:

$V_f$ : Velocidad de avance.

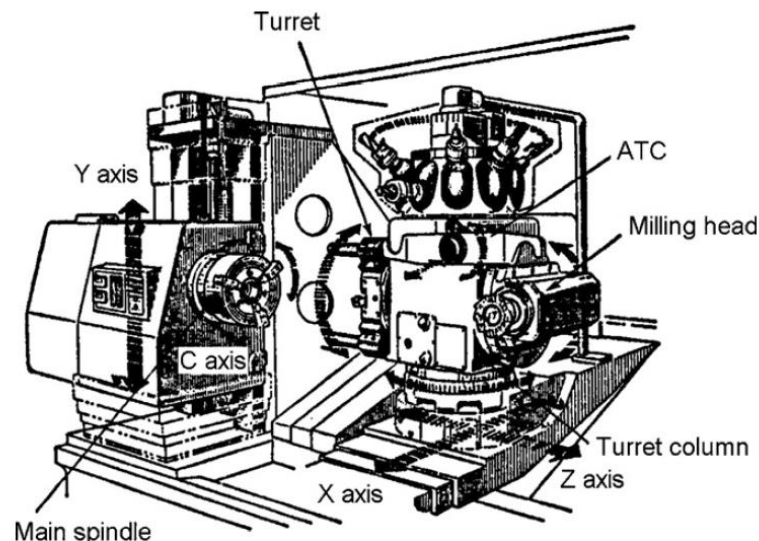
Aunque las máquinas herramientas, ya sean de control numérico o convencionales estén diseñadas para ejecutar diversas operaciones tecnológicas, existen ciertos criterios para que estas realicen mecanizados de manera más o menos eficiente. Estas condiciones están dadas por el modo en el que interactúan las herramientas de corte y el material. Esta interacción está relacionada con la manera en la que máquina tiene distribuidos sus ejes y a esta relación se considera como la cinemática de una máquina herramienta.

## 3.2 ARQUITECTURA DE MAQUINA HERRAMINETAS

Las máquinas herramientas convencionales no gozan de una amplia gama de tipos a comparación de las máquinas herramientas de control numérico multiejes, cumplen con diseños eficientes a la hora de ejecutar operación definidas dentro de los procesos por arranque de viruta. Las MHCH usadas comúnmente son los tornos y las fresadoras con pequeñas variaciones [3].

“De allí los términos de las operaciones más comunes (torneado: Refrentado, tronzado, cilindrado), (fresado: planeado, ranurado, canteado).

**Figura 3. Ejemplo de maquina herramienta 1974 (Okuma)**



La selección de este tipo de máquinas involucra las variables de potencia de la máquina y su volumen de trabajo, la configuración de la máquina no tiene mucha relevancia puesto a que este tipo de máquinas no difiere considerablemente de un modelo a otro. La potencia de la máquina determina los parámetros de corte que influyen en un proceso, mientras que el volumen de trabajo determina la capacidad de maquinar piezas de mayor tamaño.

Características propias de los diseñadores puede hacer una máquina más atractiva que otra, por ejemplo la transmisión de potencia puede ser mejor vista si se hace por medio de una caja de velocidades provista de engranes, como resultado es una máquina que transmite más potencia y de manera más efectiva que una máquina con una transmisión por poleas y correas.

En la industria Metalmecánica es común ver un torno paralelo o una fresadora, este tipo de máquinas no tienen una variación considerable de una marca a otra y todas están en la capacidad de efectuar las operaciones tecnológicas más básicas (Refrentado, tronzado, planeado, etc.), por medio de estas máquinas herramientas ha sido posible la creación de muchas piezas, influenciados en mayor medida por la capacidad del operador.

Actualmente hay una gran variedad de máquinas herramientas de control numérico **Figura 4**, en donde cada modelo está especializado para operar un sistema de producción dependiendo de cómo se desea desarrollar el producto. La eficiencia del sistema de producción depende de la configuración de la máquina herramienta. [4]

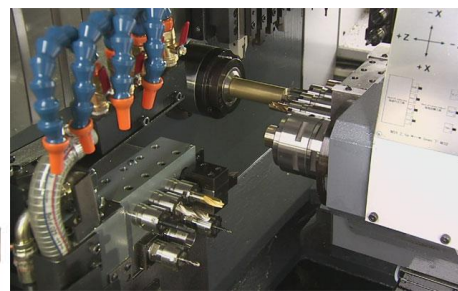
En la Figura 4.a se muestra un PKM [Maquina de cinemática paralela, por sus siglas en ingles], la cual posee un gran volumen de trabajo pero poca ventaja en la fabricación de piezas en serie, puesto que el montaje de un material en bruto es una tarea dispendiosa. Por otra parte en la Figura 4.b se ilustra un torno de cabezal móvil cuya arquitectura está orientada a eliminar la fase de montaje, además de que sobre el material pueden intervenir varias herramientas a la vez [3].

**Figura 4. Tipos de máquinas herramientas de control numérico.**

(a)



(b)

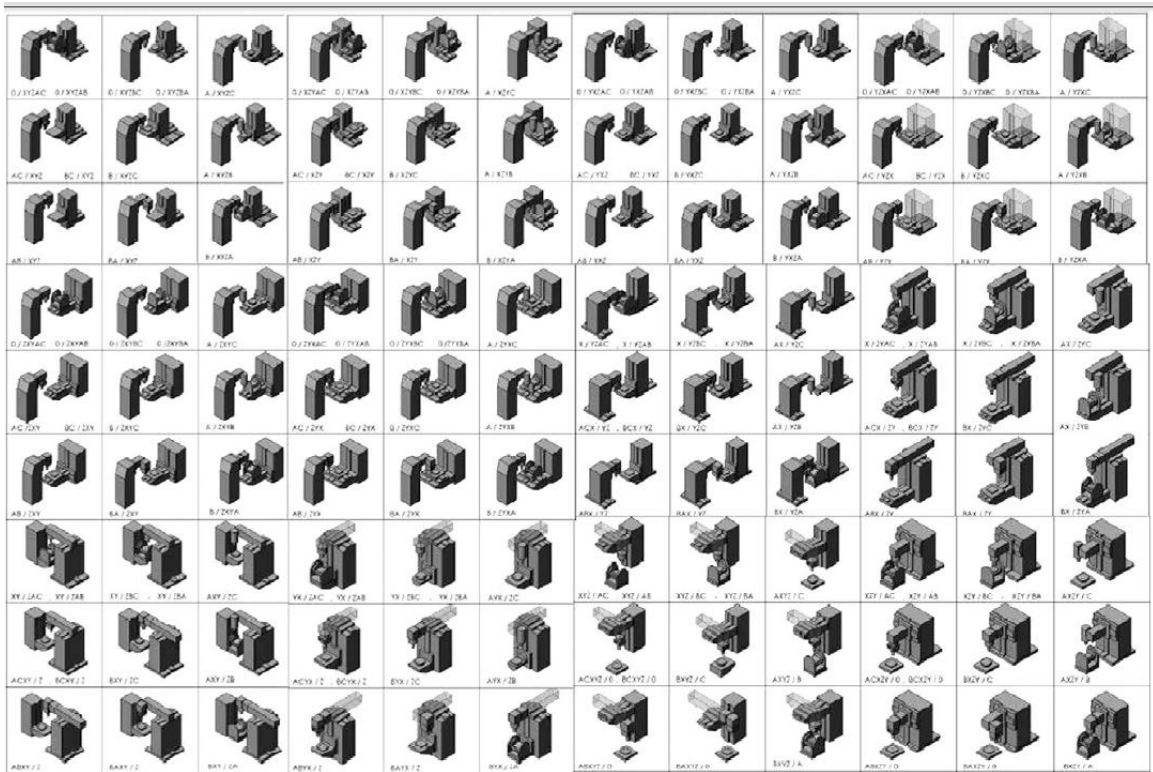


Las máquinas de control numérico no están diseñadas con el propósito único de mecanizar elementos propios de una industria en particular, sin embargo si es favorable hacer un análisis sobre las piezas que pretenden producirse. [5]

Una máquina multi-ejes puede ser configurada de diversas formas, combinando el modo en el que se relacionan sus ejes. En la **Figura 5**, en donde, a mayor número de ejes mayor es el número de posibles combinaciones. Estas combinaciones proveen mayor rigidez o la posibilidad de aumentar el volumen de trabajo de la máquina.

En el caso de los tornos de cabezal móvil la cinemática de la máquina está orientada a favorecer la productividad de la máquina y la rigidez del montaje; esto se debe al sacrificar volumen de trabajo por medio de la distribución reducida de sus herramientas y el modo en el que se desarrolla su cinemática. [3]

**Figura 5. Posibles configuraciones para MHCN de 5 ejes.**



**Multi-functional machine tool - T. Moriwaki - 2008 CIRP.**

Depende de la correcta selección en la configuración de la máquina herramienta para aumentar los beneficios en pro de aumentar las prestaciones de la máquina y por ende apropiar procedimientos más eficientes y rentables.

### 3.3 MRSEV (Material Removal Shape Element Volumes)

Es posible catalogar o clasificar las piezas según su complejidad para ser fabricadas, del análisis en su topología se desprende el modo en el que se debe proceder para ejecutar un proceso tecnológico. El análisis se puede abordar desde herramientas matemáticas ya existentes.

Para catalogar y planificar los procesos que permiten la fabricación de elementos con geometrías regulares poliédricas es necesaria una capacidad mínima de operar en  $2\frac{1}{2}$  dimensiones. Se ha enfocado este desarrollo por medio de funciones volumétricas resultado de operaciones algebraicas, este no es un desarrollo aplicado directamente sobre aplicaciones CAM por que no se tiene relación directa con las operaciones de mecanizado. [6]

Desplegar una metodología sistemática capaz de generar y evaluar las alternativas en orden para determinar una opción óptima. El criterio de evaluación puede ser definido por el usuario escogiendo la mejor interpretación para una aplicación en particular [7].

La metodología para generar un modelo que brinde parámetros para una selección eficiente tanto de las máquinas herramientas y sus estrategias para la fabricación, se basa en tres pasos [5]:

**Paso #1:** Reconocer todos los MRSEV potenciales. Enfocado en la maquinabilidad real máxima hecha a través de mecanizados simples en una máquina simple.

**Paso #2:** Generar y evaluar las alternativas MRSEV, el criterio de selección depende de la aplicación CAM, orientando el proceso hacia lo más conveniente de acuerdo a la capacidad instalada sí se tiene.

**Paso #3:** iterar sobre el paso número 2 hasta tener el mejor MRSEV según criterios del diseñador.

La creación de un MRSEV tendrá como objetivo la planeación de una secuencia de operaciones de mecanizado que garantice en mayor medida la calidad de la pieza, el uso eficiente de los recursos y la manera más sencilla de mecanizar el elemento.



Siendo el propósito del proyecto comparar la tecnología convencional con la de control numérico para ver sus beneficios y desventajas, la producción seriada de selectores no se realiza en máquinas especializadas en la fabricación de estos elementos, actualmente la industria necesita herramientas flexibles para que estas no se especialicen únicamente a un nicho de mercado, las herramientas deben estar en la capacidad de resolver cualquier procedimiento para ajustarse a diversas industrias. (Aeronáutica, alimentos, Textil, Automotor) [1].

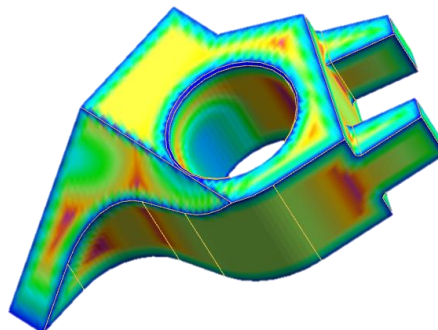
Durante el comienzo de la industrialización (Revolución industrial) las organizaciones se enfocaban en producir una gama personalizada de productos, las plantas de producción especializaban sus métodos combinando recursos humano poco especializados junto con máquinas diseñadas para realizar una sola tarea o proceso [8].

La necesidad de transformar la manera de producir está fundamentada en la capacidad de proveer productos a mercados cambiantes, lo que se traduce en diseñar sistemas de producción que combinen flexibilidad y rapidez [9].

### 3.5 TECNOLOGIAS CAM

El desarrollo de una tecnología viene acompañado de otras técnicas que hacen más eficiente un procedimiento. Las maquinas herramientas de control numérico tienen una mayor capacidad tecnológica a comparación de las maquinas convencionales, sin embargo hay elementos cuyas geometrías irregulares proveen un reto para todas las máquinas herramientas si no se cuentan con técnicas más apropiadas para su desarrollo.

Figura 7. Prototipo digital para mecanizado multi-ejes



Para el desarrollo de una pieza cuya superficie no sea fácilmente programable el uso de un software que permita generar trayectorias es indispensable [10]. En la **Figura 7**, se muestra un prototipo digital del selector, en donde los bordes azules denotan la reducción de

espesores, estos elementos en su mayoría son fabricados a partir de procesos por arranque de viruta en donde el paso de la herramienta sobre el material tiene una trayectoria descrita en 3 dimensiones, algo muy difícil de lograr con técnicas manuales de programación.

La programación manual aunque en ocasiones particulares resulta ser más eficiente, como el uso de macros para ejecutar operaciones descritas por geometrías regulares, pero no resulta práctico generar un código que describa una superficie en 3 dimensiones. Una ventaja de usar códigos cortos se basa en la eficiencia con la que es usado el controlador de la máquina, un código extenso que describe las trayectorias punto a punto puede resultar poco preciso y a la vez disminuir el tiempo de respuesta de los mecanismos de la máquina herramienta.

Uno de los enfoques de la manufactura asistida por computador es el poder simular los procesos en un entorno virtual, lo que permite verificar las trayectorias de la herramienta y los tiempos de mecanizado aproximados [11] [12]. Este despliegue tecnológico no solamente evita contingencias en el proceso como choques de la máquina, también es utilizado con el propósito de mejorar en la planeación de los procesos.

La información obtenida a partir de un software CAM es una ventaja en términos económicos. Estas simulaciones son más rápidas de realizar que un montaje experimental real e igualmente fiables, de este modo se cuenta con la capacidad de estabilizar un sistema de producción o simplemente crear una pieza única de manera más eficiente.

En cuanto a los criterios para la apropiación de un software CAM depende de la eficiencia con la que este genere trayectorias, una trayectoria no se basa en la ruta que traza la herramienta en contacto con el material, también consta de la ruta de entrada hacia el material y la salida del mismo. Estos movimientos son relevantes en los procesos de producción en serie alterando los tiempos muertos del proceso y la eficiencia energética de la máquina [13].

Una máquina de control numérico es más o menos eficiente dependiendo de las rutas programadas, en el caso de interpolar una curva el post-procesador puede interpolar varios arcos o puede programar una función que describa esta curva.

Para el desarrollo eficiente de la tecnología de control numérico en procesos de manufactura es indispensable el uso de programas CAM. Esto en el ámbito de programar no solo superficies o NURBS (Non-Uniform Rational B-Spline), si no tener la capacidad de simular y validar resultados de manera virtual [14].

Aunque este procedimiento se condicionó para que ninguna operación usara 2 o más ejes de forma simultánea, fue de gran utilidad el poder simular las trayectorias de la herramienta, además de una apreciación de lo que podría tardar el procedimiento en general.

La tecnología CAM es uno de los aspectos más importantes en el desarrollo de productos. Esta tecnología no solo permite facilitar labores de programación, también propone modos más eficientes de hacerlo, sin embargo un sistema de producción puede verse afectado por la correcta o incorrecta selección de un programa orientado a la manufactura asistida por computador.

Así como existe en el mercado, máquinas de control numérico económicas con pocas cualidades y máquinas de gama alta, en el mercado de software CAM se presenta el mismo fenómeno, como se muestra en la

**Tabla 1.** Existe una gran diferencia entre los programas de gama alta y los de más gama baja. Un software básico puede facilitar la escritura del código NC y mostrar una trayectoria aproximada mientras que un programa de gama alta está en la capacidad de ordenar las variables del proceso en tiempo real, junto con métodos de programación más eficientes.

**Tabla 1. Variedad de software CAM**

Product	Types	Geometry kernel	Installed seats
AUTO-CODE	Mill, lathe, punch, wire EDM, laser	AutoCAD	4,000
BobCAD-CAM	Mill, turn, laser, plasma, waterjet	N/A	40,000
CIMSKIL	Milling	Proprietary	Released 2003
Esprit	Mill, turn	Parasolid	>28,000
FeatureCAM	Mill, turn, wire EDM	Parasolid	7,500
GibbsCAM	Mill, turn, wire EDM, MTM	Parasolid	18,000
MasterCAM	Mill, turn, wire EDM, laser, plasma, routers, Swiss turn	Parasolid	76,000
PowerMill	Milling	Proprietary	10,000
Pro/NC	Mill, turn, wire EDM, mold, progressive die	Granite	>30,000
SolidCAM 2003	Mill, turn, wire EDM,	Parasolid, ACIS	8,000
TurboCADCAM	Mill	ACIS	N/A
Unigraphics NX	Mill, turn, wire EDM, mold, sheet metal	Parasolid	>50,000
VisualMILL	Milling	Parasolid	2,500
VX	Mill, turn, wire EDM, flame, mold, sheet metal	VX	N/A

En gran parte el desarrollo tecnológico de una organización depende de los sistemas de cómputo que utilice para el control de sus procesos. El software utilizado en este trabajo basado en el módulo de manufactura de NX 9.0 por el cual se extrajeron los códigos NC pertinentes a la hoja de proceso.

La correcta apropiación de la tecnología debe incluir maquinas multi-ejes de control numérico, software CAM y personal calificado para la operación eficiente del conjunto de tecnologías. En cuanto a la tecnología de manufactura asistida por computador no basta con adquirir una licencia con la cual se permita programar trayectorias de la herramienta y configurar varios parámetros del proceso.

En el amplio mercado de tecnologías de este tipo, el software juega un papel vital en el manejo de los sistemas de producción, estos programas permiten a los usuarios mantener el control sobre las variables que afectan directamente la calidad del producto.

El uso de software CAM que posibilite la simulación de los procesos y que a su vez ofrezca información detallada de los mismo es una herramienta que posibilita el desarrollo de las organizaciones, además de reducir en gran medida los costos y gastos de operación junto con otras ventajas como facilitarle el flujo de información entre la parte operativa y la administrativa de las empresas.

Una parte vital en el desarrollo de simuladores de las máquinas de control numérico consiste en el desarrollo de post-procesadores personalizados para las MHCN, con los cuales se tiene más control sobre los procesos de producción. Tener la posibilidad de simular la interacción entre la máquina y la pieza en proceso con precisión permite a las organizaciones hacer cambios rápidos sin sacrificar tiempo.

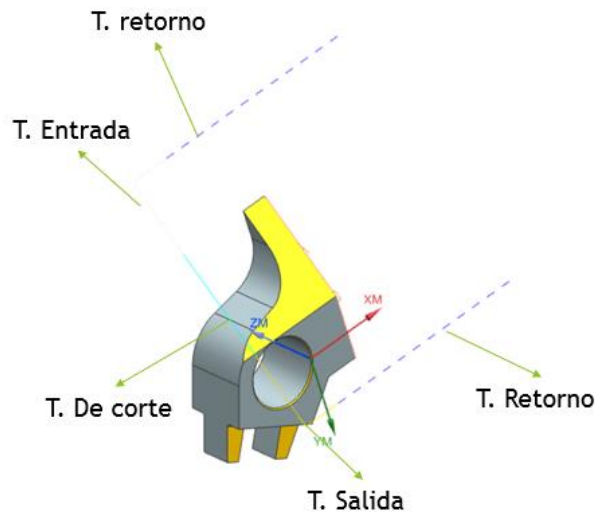
La flexibilidad en un proceso depende también de la eficiencia en el flujo de información, cuando se usa tecnología CAD-CAM es posible hacer cambios en la geometría de un diseño de manera inmediata lo cual puede significar un ahorro significativo en términos de tiempo y recursos.

La manera en la que se usa un software CAM para la ejecución de procesos avanzados, en donde es posible que la herramienta siga una trayectoria en 3 dimensiones por medio de la interpolación de 3 o más ejes, permite manufacturar elementos más complejos o aumentar la flexibilidad de cualquier sistema de producción.

### 3.6 IDENTIFICACION DE TRAYECTORIAS Y MOVIMIENTOS

Las trayectorias de las operaciones de fresado en su mayoría son lineales, en donde se puede determinar tres etapas Figura 8:

Figura 8. Trayectorias en una operacion tecnologica.



**Trayectoria de entrada:** es el recorrido que hace la herramienta para posicionarse cerca del material, este movimiento se realiza a alta velocidad, se considera un tiempo muerto en el proceso porque no ha contacto entre la pieza y la herramienta.

Las trayectorias de entrada dependen del desarrollo de la operación, normalmente estos recorridos son lineales fuera del volumen del material para evitar colisiones, sin embargo hay casos en donde la aproximación se efectúa sobre el material, como ejemplo el fresado de una cavidad interna.

**Trayecto de corte:** un trayecto de corte en procesos convencionales está directamente influenciado por los parámetros de corte, durante este tramo la velocidad de la herramienta sobre el material debe permanecer constante para mantener estable el proceso.

En cualquier proceso por arranque de viruta es importante mantener en mayor cantidad el tiempo de contacto de la herramienta ( $T_c$ ) en comparación con los tiempo muertos de este modo es posible orientar el desarrollo de estrategias de mecanizado más eficientes.

El sentido de corte en máquinas herramientas convencionales usualmente es a favor del corte para favorecer el desprendimiento del material, de otro modo (Corte en contra) el operario no puede mantener el control sobre el avance de la máquina.

**Trayecto de salida y retorno:** normalmente son trayectorias en la que la herramienta se aleja de manera directa del material y el retorno al punto inicial del trayecto de entrada. Estos movimientos también suelen hacerse de manera rápida al no haber desprendimiento del material.

Identificar estas trayectorias es vital para la toma de datos, el modo en el que se midieron los tiempos según las trayectorias fue a través de la repetición de cada suceso, esto para lograr una base de datos sin muchas variaciones y hacer del montaje un experimento confiable.

### 3.7 TIEMPOS DE MANUFACTURA

Los datos extraídos durante los ensayos en su mayoría son los tiempos que influyen en un proceso por arranque de viruta. Un tiempo generalizado es el  $T_O$  (Tiempo de Operación), que es el tiempo total de la operación tecnológica.

Ecuación 1. Tiempo de Operación

$$T_O = T_C + T_M + T_F + T_S$$

Ecuación 2. Tiempos Muertos.

$$T_{MU} = T_M + T_F + T_S$$

En la **Ecuación 1**, se muestran los tiempos que influyen en un proceso por arranque de viruta, estos fueron tomados con un grupo de muestra de 40 selectores. Los tiempos descritos son:

**$T_C$  (Tiempo de contacto de la herramienta):** se contabilizó a partir del contacto de la herramienta de corte con el material, se ignoran los tiempos de aproximación y posicionamiento de la herramienta. Este dato es influenciado por los parámetros de corte establecidos en la hoja de procesos y es un insumo fundamental para el cálculo de indicadores (Material removido/minuto).

**$T_M$  (Tiempo de montaje):** Este tiempo fue medido desde el momento en que el operario inicia el procedimiento de montaje y alineación del selector, se considera un tiempo muerto al no haber una remoción de material.

**$T_F$  (Tiempo de configuración de máquina herramienta):** es un lapso de tiempo que se repitió al inicio de cada fase basado en el tiempo que tardó el operario en configurar la máquina herramienta ajustando las condiciones geométricas y de corte para la ejecución del proceso. (Configuración de velocidad de husillo y rotación de ejes para cumplir con condiciones de corte).

**$T_S$  (Tiempo de movimientos sin corte):** son tiempos muy cortos en los que la herramienta hizo un posicionamiento y aproximación al material en bruto antes de iniciar el proceso de corte. Estos tiempos son variables a comparación del  **$T_S$  en una MHCN** puesto a que los retornos en una máquina convencional no se realizaron a velocidad constante ni a un mismo punto de retorno.

**$T_{MU}$  (Tiempos Muertos Ecuación 2):** es la suma de los tiempos de movimiento sin corte, configuración de máquina y tiempo de montaje; como se muestra en la ecuación (2). La sumatoria de estos tiempos hace referencia a lapsos en donde se consumen recursos de operación, pero no se generan utilidades al no proveer un valor agregado al producto.

La realización de los montajes está orientada únicamente a la rama de procesos por arranque de viruta, los procedimientos están especificados en un ambiente netamente mecánico, no se tienen en cuenta variables de costos o factores secundarios que alteren el proceso.

El experimento está diseñado para la extracción de tiempos que influyen en los procedimientos, los tiempos muertos, tiempos de planeación y de manufactura. Idealizando varios factores como el uso del mismo tipo de herramientas para los operaciones planteadas.

Bajo la idea de querer comparar la capacidad tecnológica de las maquinas herramientas convencionales y de control numérico se plantearon diversas formas de mecanizar un elemento de máquina de geometría poliédrica, estos procedimientos orientados cada uno en fortalecer las características inherentes de la máquinas.

### 3.8 FUERZAS EN PROCESOS DE CORTE

Durante un proceso de arranque de viruta la configuración de la máquina tiene un importante impacto sobre los indicadores de la producción, en especial los referentes a la calidad del producto (Acabado de las superficies y precisión). Cuando se implementa un proceso de mecanizado se procura mantener un montaje rígido y de este modo mantener los parámetros de corte estables aumentando reduciendo los costos de operación.

Cuando no se implementa de manera correcta la tecnología los problemas técnicos no permiten percibir utilidades de la manera que se espera, por ejemplo, si en un sistema de producción el modo en que se ha montado el material en bruto no es eficiente tendrá como

consecuencia superficies marcadas por la vibración y desgaste acelerado en la herramientas.

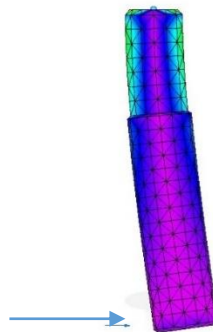
Por medio de métodos predictivos es posible analizar los aspectos que podrían producir vibración en procesos por arranque de viruta. Para el caso de los montajes mencionados con anterioridad se tomaron datos de vibración al momento de ejecutar distintas operaciones tecnológicas, además del análisis de la configuración de la máquina, el cual provee de información útil al momento de seleccionar la máquina más eficiente para determinada producción.

Analizar el comportamiento de todos los elementos de las máquinas herramientas trabajadas es un trabajo complejo, por esta razón solo se examina el comportamiento de las herramientas con respecto al modo de uso. Esto para demostrar el método más eficiente a la hora de ejecutar un proceso tecnológico.

### 3.8.1 FRESADO AXIAL Y FRESADO RADIAL

El modo en el que se acostumbra usar una herramienta de fresado, utilizando los filos de la punta es una práctica costosa, esto se debe a que se desperdicia por completo los demás filos de la herramienta. Otra desventaja al usar métodos de fresado en donde se utilizan los filos frontales es la concentración de las fuerzas de corte en la punta y orientadas de forma ortogonal al eje de la herramienta afectando de este modo la precisión y acabado de la pieza junto con la disminución de la vida de la herramienta.

Figura 9. Fresa con carga puntual.

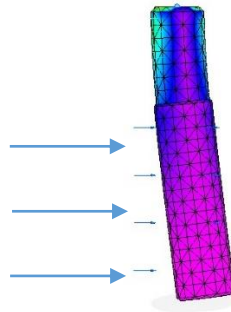


Por medio de una simulación cuyo objetivo es observar el comportamiento de la herramienta con una carga puesta en el borde de la misma, se aprecia una deformación desde el tope de la pinza hasta la punta de la herramienta. Aunque a altas velocidades de operación no sea una deformación apreciable, esta puede afectar el acabado superficial.

Simplificando el modelo se obtiene que a menor profundidad de corte el área de la carga distribuida tenga como resultante una fuerza perpendicular a la herramienta que se aproxima a la punta de la misma, por ende aumentando la deformación de la herramienta.

En la aplicación de métodos de fresado usando el canto de la herramienta es posible mejorar de manera significativa el rendimiento del proceso, esta práctica busca distribuir las fuerzas de corte a lo largo de la herramienta, disminuyendo de este modo la deformación de la herramienta y manteniendo por mayor tiempo la vida de los filos.

Figura 10. Fresa con carga distribuida.



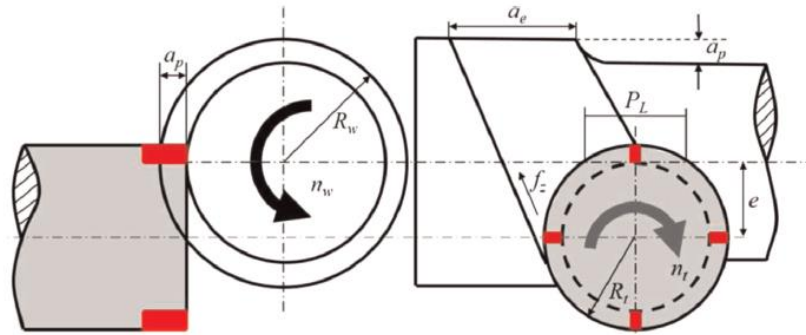
A comparación de la anterior practica (Corte convencional) la resultante de la carga distribuida se ubica en un punto cercano al punto de anclaje de la misma (Boquilla o pinza) manteniendo una mayor rigidez por efecto de la disminución de la deformación.

### 3.8.2 PROCESOS DE TORNEADO-FRESADO EN TORNO DE CABEZAL MOVIL.

La operación más característica ejecutada en el torno de cabezal móvil es la combinación de las operaciones tecnológicas del fresado axial y torneado; las operaciones de torno-fresado generan fuerzas distintas a comparación de un fresado convencional o plano. Para este caso resulta de vital importancia la cinemática que involucra el material en bruto y su geometría inicial.

En la **Figura 11**, se muestra un esquema de un proceso de torno fresado axial, en el cual se describen las variables del proceso de corte tales como, la profundidad de corte ( $a_p$ ), avance por diente ( $f_z$ ), velocidad angular de la herramienta ( $n_t$ ), radio de la herramienta ( $r_t$ ), velocidad angular de la pieza  $n_w$  [15].

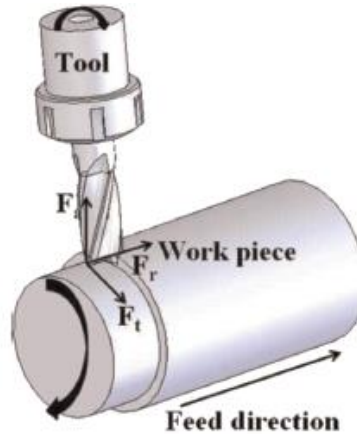
Figura 11. Torno-fresado axial.



Analytical modeling of turn-milling process geometry, kinematics and  
Mechanics - Umut Karagüzel – 2015.

Las fuerzas que intervienen durante la operación tecnológica y que se consideran aplicadas sobre el eje de simetría de la herramienta, como se muestra en la **Figura 12**, sirve para estimar deformaciones de la herramienta y la pieza mecanizada. Cuyos resultados servirán para apropiar criterios que permitan un mejor uso de la tecnología.

Figura 12. Torno-fresado ortogonal.



Analytical modeling of turn-milling process geometry, kinematics and  
Mechanics - Umut Karagüzel – 2015.

Para estimar las fuerzas de corte son utilizadas la ecuación 3, en donde, por medio de las mismas es posible determinar las fuerzas tangenciales, radiales y axiales durante el proceso de corte, esto es válido para un filo de la herramienta y en una porción infinitesimal del filo. [16]

$$dF_{t,j(\varphi,z)} = [K_{tc}h_j(\varphi_j(z)) + K_{te}] dz$$

$$dF_{r,j(\varphi,z)} = [K_{rc}h_j(\varphi_j(z)) + K_{re}] dz \text{ Ecuación 3.}$$

$$dF_{a,j(\varphi,z)} = [K_{ac}h_j(\varphi_j(z)) + K_{ae}] dz$$

La función  $dF_{t,j(\varphi,z)}$  que depende de  $z$  (Altura) y  $(\varphi)$  (Angulo de la involuta), esta compuesta por  $K_{r,t,a-c}$  y  $K_{t,r,a-e}$  las cuales son constantes experimentales y teóricas extraídas de la literatura. Este sistema de ecuaciones formado por el análisis diferencial en el sentido radial, tangencial y axial depende también de la función  $(\varphi(z))$ .

Para estimar las fuerzas de corte en su totalidad es necesario integrar todos los diferenciales a lo largo del filo de la herramienta por medio de la conjugada de la función  $(\varphi(z))$  que describe la evolvente del filo de la herramienta, teniendo en cuenta la profundidad del mecanizado y el ángulo de la hélice de la herramienta como se muestra en la **ecuación 4**. [16]

$$F_t(\varphi_j(z)) = \int_{z_{j,1}}^{z_{j,2}} dF_t(\varphi_j(z)) dz$$

$$F_r(\varphi_j(z)) = \int_{z_{j,1}}^{z_{j,2}} dF_r(\varphi_j(z)) dz \quad \text{Ecuación 4.}$$

$$F_t(\varphi_r(z)) = \int_{z_{j,1}}^{z_{j,2}} dF_t(\varphi_j(z)) dz$$

$K_t$ ,  $K_r$  y  $K_a$  son los coeficientes de corte y son evaluados por la transformación oblicua a datos de corte ortogonales. Estas constantes, que dependen del material de la pieza y la herramienta, fueron tomadas de otros trabajos, debido al parecido de las características de la herramienta y el material utilizado en este montaje.

Los límites de la integral definida  $z_{j,2}(\varphi_j(z))$  y  $z_{j,1}(\varphi_j(z))$  representan la longitud del filo que se encuentra en contacto con el material, estas funciones dependen de la geometría del filo de la herramienta como se muestra en la **Figura 13**.

El modelo matemático que define la geometría de la herramienta esta considera por el filo de corte helicoidal que envuelve un cilindro diámetro (D), se considera como punto de referencia inicial el borde  $j=1$  y el ángulo de rotación  $z=0$  denotado por  $\varphi_0$ , el ángulo de inmersión radial para el filo  $j$ , en una posición axial  $z$ , se define por:

$$\varphi_j(z) = \varphi_0 + \int_{z_{j,1}}^{z_{j,2}} (\varphi_p - \varphi_0(z)) dz$$

O

$$\varphi_j(z) = \varphi_0 + j\varphi_p - k_\theta Z \text{ (Angulo de inmersión)}$$

En donde el ángulo de retraso  $\varphi_0(z)$ , aparece debido al ángulo de la hélice  $\theta$ , el cual se mantiene constante para la herramienta usada en este trabajo. En síntesis la forma de la solución general para fresados con herramientas de punta plana son:

$$r(z) = \frac{D}{2}$$

$$k = 90^\circ$$

$$\varphi_0 = k_\theta z$$

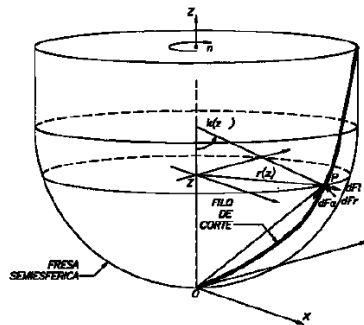
$$k_\theta = \frac{(2 \tan \theta)}{D}$$

En donde:

D: diámetro de la herramienta en mm

K: ángulo de inmersión radial.

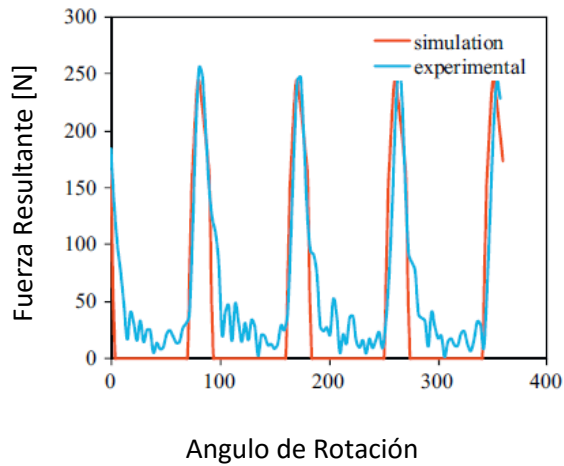
Figura 13. Geometría de la herramienta.



Las cargas a las que se someten la herramienta de corte durante un proceso de fresado son de tipo alternantes, en el caso de una fresa de 4 filos, como la utilizada en este trabajo, sus filos están dispuestos cada  $90^\circ$ , por ende la fuerza resultante tiende a fatigar la herramienta y a causar vibración durante la ejecución del proceso. [17]

En la **Figura 14**, se muestran las cargas alternantes sobre una herramienta con diámetro de 10 mm, 4 filos de corte y de carburo sólido. Los parámetros de este procedimiento fueron:  $n_t=2000$  rpm,  $n_w=20$  rpm,  $a_p=0,5$  mm y  $a_e=0,3$  mm/rev. [16]

Figura 14. Comportamiento de Fuerza de corte en proceso de fresado.



Analytical modeling of turn-milling process geometry, kinematics and Mechanics - Umut Karagüzel – 2015.

### 3.9 RIGIDEZ DE MONTAJES.

Para evaluar la rigidez de los montajes, es necesario determinar la deformación de la herramienta con respecto a la fuerza estimada que se produce en el momento del corte. La rigidez está definida como la fuerza elástica de un Newton al deformar el cuerpo una distancia.

El indicador de rigidez está dado por la relación entre la fuerza resultante aplicada y la variación del desplazamiento. Por otra parte el coeficiente de flexibilidad es el inverso de la rigidez Ecuación 5.

Ecuación 5. Coeficiente de rigidez.

$$k = \frac{F}{\Delta l}$$

La rigidez del montaje depende también del error de las máquinas herramientas sumado a al de las herramientas de corte, estos errores estimados por los proveedores más el error estimado en la operación de corte dan como resultado la desviación máxima que podemos tolerar para cumplir con las exigencias en tolerancias dimensionales del elemento.

La tolerancia de la máquina está dada por la unidad mínima que puede medir el controlador y para las herramientas de corte es un parámetro dimensional dado por el proveedor en los catálogos de las herramientas.

El referente para determinar la rigidez del montaje se hace con respecto a las tolerancias del selector, las cuales están consignadas en el anexo A.1. La tolerancia mínima de la pieza dada en el agujero del mismo o el ángulo de la rampa constituyen la magnitud de referencia para validar la rigidez del montaje, el cual depende en gran medida de la arquitectura de la máquina.

**Ecuación 6. Coeficiente de rigidez de montaje**

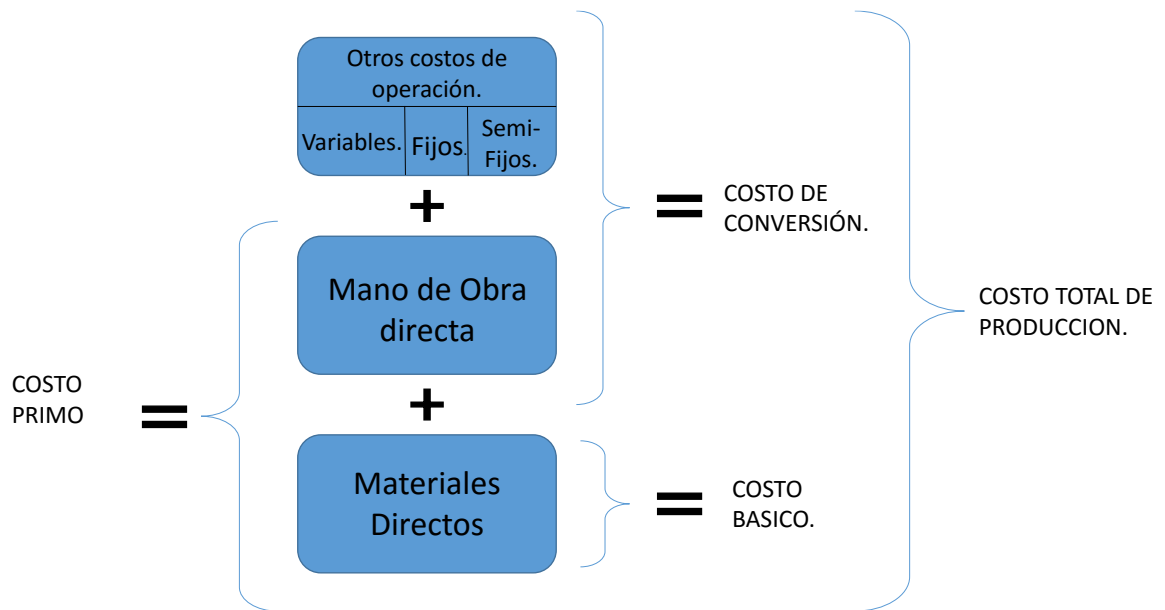
$$K = \frac{F}{e_{máquina} + e_{herramienta} + \Delta_l}$$

La suma de los errores de la máquina, la herramienta y la deflexión de la herramienta sometida a la fuerza resultante de corte da un estimado del coeficiente de rigidez sobre el montaje.

### 3.10 ANÁLISIS DE COSTOS.

Para determinar el costo de la fabricación de un selector, se hace uso de la literatura existente en el área de la ingeniería económica. Esta teoría pretende unificar variables como, los costos directos e indirectos para extraer un estimado de un costo total de producción. En la Figura 15, se aprecia la formulación del costo de producción, asociado a costo básico y un costo de conversión.

Figura 15. Formulación del costo de producción.



Para el análisis de costos de una producción continua de selectores, es necesario estimar las variables con relación al volumen de producción y no en relación al sistema, el cual depende de órdenes de trabajo y aplica más al caso de fabricar piezas a medida. De este modo es necesario catalogar los costos variables y fijos del sistema de producción.

#### 3.10.1 COSTOS FIJOS Y COSTOS VARIABLES.

Para determinar un costo fijo es necesario ordenar por relevancia un periodo de tiempo dentro del cual permanecen invariables dichos costos. Algunos de tipo obligatorio que tienen un carácter invariable, puesto que la producción de piezas depende netamente de estos; estos costos son los más relevantes para la evaluación de factibilidad de

implementación, puesto que se denotan solo las variables que influyen en el proceso de fabricación.

En cuanto a los costos variables se estiman con respecto a la casualidad durante la ejecución de las fases de producción y pueden catalogarse en:

#### *3.10.1.1 C. Variables de Diseño:*

Es un costo que depende del diseño del producto y que repercute sobre el volumen de producción. En el caso de la producción de selectores es visible que la geometría poliédrica del elemento requiere de varias operaciones para terminarla, por ende su valor es más alto en comparación a elementos como tornillos o levas de menos complejidad.

#### *3.10.1.2 C. Variables discrecionales:*

Corresponden a los costos que son directamente proporcionales al volumen de producción, sin embargo son vulnerables a ajustes administrativos. Estos costos se mantienen constantes en el ejercicio ya que solo se propone medir los costos en una producción seriada de 40 elementos.

Para ordenar debidamente el costo total de producción, es necesario clasificar los costos directos e indirectos, esto para simplificar el ejercicio de análisis, limitando la simulación al análisis de los costos involucrados únicamente en el proceso de fabricación de los selectores.

### 3.10.2 COSTOS DIRECTOS.

Hacen referencia a los materiales que forman realmente parte del elemento terminado, además debe representar un valor significativo y un uso relevante dentro de la pieza. Los costos directos también hace referencia a los recursos dan valor agregado de manera directa a la pieza, o que contribuye a su fabricación.

Los costos que pueden apreciarse en esta sección son: la mano de obra directa (carga prestacional del personal que influye en la transformación de la materia prima), materiales que conforman el elemento, insumos y herramientas entre otros.

Sobre estos costos se hará el principal análisis para la comparación entre los procedimientos planteados para justificar la apropiación de tecnología desde un ámbito financiero.

### 3.10.3 COSTOS INDIRECTOS.

Hacen referencia a los costos que no intervienen sobre la fabricación de los elementos, sin embargo, son estimados para controlar y regular el flujo de caja y los activos al interior de una organización. Los costos indirectos que intervienen en los flujos de caja correspondientes a los procedimientos planteados son elementos que no se pueden cuantificar de manera precisa como, energía, agua o refrigerantes.

Aunque la nómina de personal de administración de producción (departamento de diseño, control de calidad o mantenimiento, etc.) influye de manera relevante sobre la fabricación de los selectores, se denotaran como costos directos, puesto que el ejercicio se simplifica para no tratar un departamento.

Por el contrario se estudia el caso de una persona con las facultades necesarias para la correcta implementación de la tecnología, estimando la tarifa para simular los costos pertinentes al cargo.

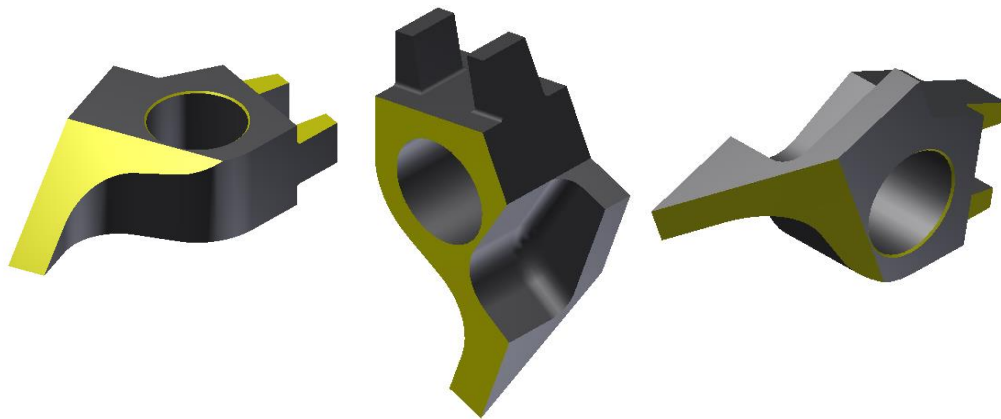
Estos costos también suelen ser llamados, carga fabril, costos o gastos generales de fabricación.

## 4 METODO DE EVALUACION DE FACTIBILIDAD

La evaluación de factibilidad para la correcta implementación de tecnologías de control numérico de máquinas multiejes parte de la planeación y ejecución de 4 procedimientos, cuya orientación pretende resaltar ventajas y mostrar las limitantes de cada tecnología.

Para la comparación entre MHCN y MHCH se planea la fabricación de selectores Ref. 2RL, que son piezas usadas en máquinas tejedoras industriales y operan en un mecanismo cuya dinámica exige precisión y dureza al estar constantemente en contacto con otros elementos similares. Se pretende usar procesos por arranque de viruta, puesto que los mecanizados pueden efectuarse debido a la geometría prismática de los mismos. [9]

Figura 16. Modelo digital de selector 2RL.



La geometría de la pieza similar a la de un conjunto de prismas, mostrada en la **Figura 16**, da la facilidad de que sus caras pueden ser mecanizadas por medio de procesos como fresados o limados en un solo plano, sin embargo la dificultad de fabricar la pieza radica en los ángulos que se generan entre planos o caras de la pieza, en donde se dificulta o se restringe el posicionamiento de la herramienta para tallar dichas superficies.

Los procesos por arranque de viruta aplicados comúnmente tienen la condición de mantener la herramienta perpendicular a la superficie a mecanizar, cuando la pieza posee características poliédricas, esto empieza a justificar la necesidad de un eje de rotación debido a la necesidad de girar la pieza un determinado ángulo para cumplir con la condición de perpendicularidad lo cual dificulta cualquier proceso tecnológico al no poder posicionar de manera rápida y precisa el material para efectuar un mecanizado.

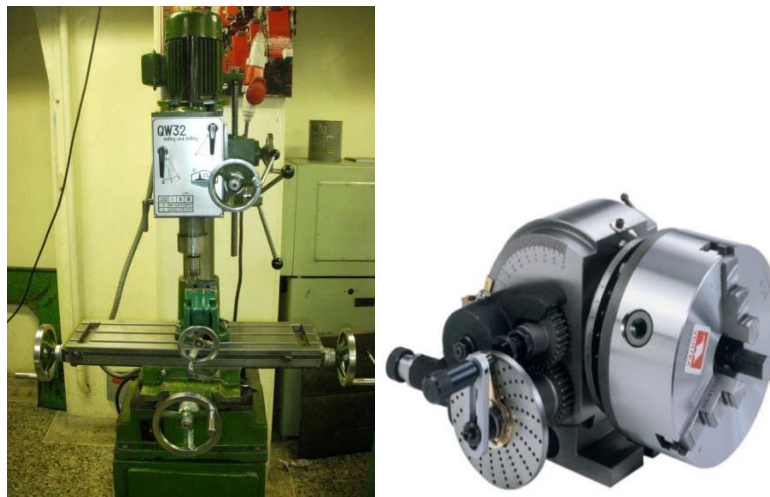
Reducir el número de montajes o evitarlos preferiblemente es un factor que predomina en cualquier sistema de producción justificado en la exigencia de reducir tiempos de manufactura, aumentar la precisión y por ende la calidad del componente, las propiedades geométricas (restricciones de paralelismo, concentricidad, cero de pieza) que se pierden al desmontar la materia prima da como resultado una pérdida de tiempo y calidad.

Son 4 los procedimientos planeados para lograr tener la información suficiente para la comparación de las tecnologías convencional y de control numérico computarizado. Los modelos propuestos están divididos en dos fases: la tecnología convencional es evaluada por medio de *los procesos convencionales A y B (PC-A y PC-B)*, y los procesos diseñados para la tecnología CNC, *procesos avanzados A y B (PA-A y PA-B)*.

#### 4.1 TECNOLOGIA CONVENCIONAL

Las máquinas en las cuales se ejecutó el montaje experimental son un torno paralelo con una bancada de un metro [1 m] y “volteo” de 36 cm, con una transmisión de potencia por tren de engranajes. La máquina convencional utilizada para los procesos de fresado es un taladro de mesa de referencia QW-32 con un cabezal divisor Vertex BS-2 acoplado mostrados en la **Figura 17**, y seleccionado por su amplia flexibilidad al poseer desplazamientos lineales en los ejes X & Y en la mesa, el husillo co-lineal con el eje z, además de la rotación de la mesa y el cabezal.

**Figura 17.** Taladro fresador y Cabezal divisor.

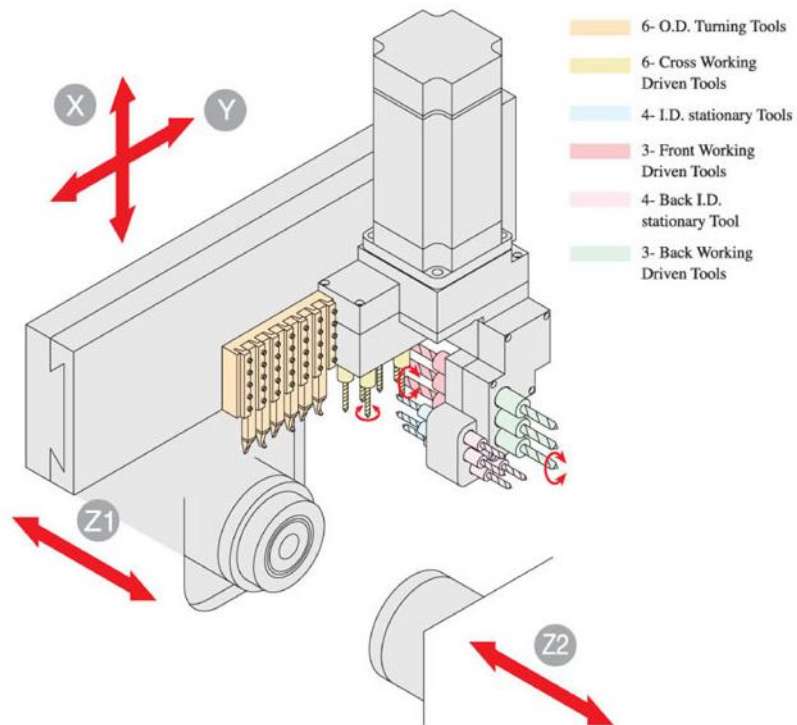


## 4.2 TECNOLOGIA DE CONROL NUMERICO COMPUTARIZADO

En el caso de piezas similares a la tratada en este documento (selectores) cuyo pequeño volumen y geometría poliédrica, además de la necesidad de producirla en masa se hace referencia a una máquina con un volumen de trabajo reducido y una alta productividad.

A comparación de las maquinas herramienta convencionales, las herramientas con control numérico ofrecen un número ilimitado de configuraciones, algunas fabricadas a medida para especializar sus procesos a un tipo exclusivo de piezas. Para este caso la simulación pretende recrear la producción en serie de selectores.

Figura 18. Configuración de torno tipo suizo.



Contando con la capacidad instalada correspondiente a un torno de cabezal móvil PoliGym Diamond 20 CSB II con un volumen máximo de trabajo de  $\varnothing 19,05$  mm (3/4") y longitud de 250 mm, la capacidad de 24 herramientas y dos husillos co-lineales con capacidad de indexar ángulos de forma precisa, se proyecta la fabricación de los elementos usando únicamente el primer husillo, aunque el selector es una pieza prismática compleja no usa el 100% de la capacidad tecnológica de la máquina, las características de la MHCN son mostradas en la **tabla 2**.

La **Figura 18**, muestra la configuración del torno de cabezal móvil, aunque solamente se usara el husillo principal y las herramientas que corresponden a su volumen de trabajo, los procesos por los cuales se planea fabricar el selector no incluyen una transferencia de material hacia el sub-husillo de la máquina.

**Tabla 2. Especificaciones de Torno tipo suizo.**

Características		Diamond 20 CSB II
Rango de Trabajo	Diámetro Máximo de Trabajo	∅ 20 mm
	Max. Mecanizado largo por sujeción	250 mm
	Diámetro Max. Taladrado	∅ 12 mm
	Max. Diámetro Roscado	M 10
Herramientas Torneado	No° Herramientas	6
	Dimensión	(mm) 12 x 12 x 120
Herramientas ID	No° Herramientas	4
	Dimensión	10 mm (ER16)
Herramientas de Trabajo cruzado	No° Herramientas	6
	Dimensión	10 mm (ER16)
	Velocidad	200 - 6000 rpm
Herramientas motorizadas Frontales	No° Herramientas	3
	Dimensión	10 mm (ER16)
	Velocidad	200 - 6000 rpm
Herramientas ID Traseras	No° Herramientas	4+4
	Dimensión	10 mm (ER16)
Herramientas motorizadas traseras	No° Herramientas	3
	Dimensión	7 mm (ER11)
	No° Herramientas	4
	Dimensión	10 mm (ER16)
	Velocidad	3000 rpm
Husillo	Diámetro Husillo	∅ 22 mm

	Velocidad Husillo	200 - 8000 rpm
	Indexación principal Husillo	Eje C.
Husillo Secundario	Diámetro Husillo	∅ 22 mm
	Velocidad Husillo	200 - 8000 rpm
	Indexación principal Husillo	Eje C.
	Max. Longitud de eyección	60 mm
Movimiento Rápido	X1, Y1, Z1, X2, Z2	30 m/min
Motor	Potencia Principal Husillo	3,7 KW
	Potencia secundario Husillo	3,7 KW
	X1, Y1, Z, 1, X2, Z2 Motor Ejes.	0,6 KW
	Motor de Bomba refrigerante	0,25 KW
	Motor de Lubricación	4 w
	Motor Herramientas Motorizadas	1.5 KW
	Motor Herramientas traseras Motorizadas	0,4 KW
Dimensiones de maquina	Altura de centro	1050 mm
	Peso	2980 Kg
	Tamaño de Maquina	2500 x 1280 x 1780

La razón por la cual un torno tipo suizo mostrado en la **Figura 19**, es una opción eficiente para la fabricación de elementos en serie, es su configuración; la cual está desarrollada para evitar la preparación de la materia prima y reducir al máximo los tiempos muertos de cualquier operación.

Al ser una máquina compacta y robusta tiende a ser una herramienta muy precisa, sin embargo esta cualidad depende en parte de la calidad de la materia prima; las barras que no están calibradas presentan problemas en cuanto al agarre de las pinzas. Estos centros de torneado tienen la capacidad de obviar las teorías de torneado en donde es posible mecanizar más allá de 4 veces el diámetro.

El reducido volumen de trabajo de estas máquinas favorece la manufactura de piezas pequeñas y con altos estándares de calidad, además de reducir al máximo los tiempos muertos. Este tipo de máquinas parecen muy especializadas a la fabricación de algún tipo de productos, sin embargo conservan una amplia flexibilidad, en donde es posible cambiar los elementos que se producen en un tiempo reducido cambiando únicamente los comandos que ingresan al controlador de la máquina.

**Figura 19. Torno de cabezal móvil Poligym 20 CSB II.**



Cuando se hace una referencia a la configuración de una máquina herramienta de control numérico se trata básicamente del modo en cómo opera su cinemática o la manera en que coordina los movimientos de la herramienta con respecto al husillo.

La principal característica de los tornos tipo suizo son su cabezal móvil que se desplaza co-lineal con el eje Z de la máquina, que a diferencia de otras máquinas el material se desplaza para producir corte mientras las herramientas se mantienen estáticas. Los beneficios que ofrece esta máquina consisten en la posibilidad de mecanizar elementos con una alta relación de esbeltez.

Durante un montaje es importante que el material se mantenga firme durante el mecanizado, sin embargo en ocasiones la geometría de la pieza obliga a mecanizar sobre partes del material sin apoyo, en donde las deformaciones producto de las fuerzas de corte interfieren con la presión y la calidad del elemento.

La configuración de los tornos de cabezal móvil proponen como solución mantener las herramientas fijas en un punto mientras que el material se desplaza sobre el eje Z pasando por medio de un buje guía el cual gira solidario con el usillo principal, de este modo el voladizo de material puede mantenerse a 1 mm del apoyo.

Mantener un montaje robusto durante la ejecución de las operaciones favorece la calidad del producto y por ende suma gran valor agregado, por el hecho de fabricar elementos con tolerancias dimensionales y geométricas exigentes.

### 4.3 HERRAMIENTAS DE CORTE

Existen herramientas cuyos propósitos difieren entre sí; estos propósitos dependen de la aplicación, el modo de uso, y el material a mecanizar. Hay herramientas con puntas indexables o insertos con filos de corte o herramientas solidas con diversos propósitos. No existe como tal una herramienta multipropósito para ejecutar varios procesos, depende de lo planeado en las hojas de proceso para la selección correcta de herramientas.

De acuerdo a la dureza del material se seleccionaron las herramientas mostradas en la **Tabla 5**, según la información de los catálogos de herramientas de corte Americanas YG-1.

**Tabla 3. Herramientas de corte seleccionadas.**

N°	Descripción	Características	Referencia	Marca
1	Fresa de Carburo	1/4 x 1/4 x 3/4 x 2.1/2" 4FL X-POWER	EM153016	YG-1
2	Fresa de Carburo	1/8 x 1/8 x 1/2 x 1.1/2" 4FL X-POWER	EM153008	YG-1
3	Fresa de Carburo	4.0 x 6 x 11 x 45 mm 4FL X-POWER	EM811040	YG-1

## 5 PLANIFICACION Y EJECUCION DE PROCESOS.

### 5.1 PROCESO CONVENCIONAL – A (PC-A)

#### 5.1.1 PLANIFICACION DE OPERACIONES

Uno de los problemas que justifican este trabajo es el déficit en la producción de piezas con geometrías poliédricas o que requieren de varias operaciones. Su producción mal enfocada y la carencia de capacidad tecnológica tienen como resultado procesos difíciles de controlar y por ende una calidad que no permite competir en el mercado actual.

En la industria Metalmecánica la variedad de elementos que exige el mercado es amplia, mantener los procesos enfocados a flexibilidad permite ofrecer una gama de servicios de mejor calidad.

El buen uso de la tecnología no hace referencia únicamente a la implementación de software especializado o maquinaria moderna, en muchas ocasiones basta con la buena aplicación de conceptos de ingeniería.

Este es un procedimiento orientado a la producción de selectores manteniendo la flexibilidad de las máquinas herramientas, el método está basado en operaciones que usan recursos básicos que proveen las máquinas convencionales, en donde cada operación se ve por separado, pasando por alto la reducción de tiempos muertos, el tiempo de contacto entre la herramienta y el material.

Este es un proceso en el cual la preparación del material en bruto parte de planas con un espesor próximo al espesor de la pieza, en donde por medio de un proceso de planeado se asegura el paralelismo de las caras.

Durante este sistema de producción la materia prima se transforma por medio de perforaciones en la que luego se fresa cada plano de la pieza de forma independiente. Los tiempos muertos durante el proceso son altos debido al poco contacto que existe entre la herramienta de corte y el material en bruto.

Un punto favorable, es el mejor rendimiento de las herramientas, pues el volumen cortado de material es mínimo, los desbastes realizados con métodos de taladrado y la reducción en el desperdicio de material disminuye los costos. Sin embargo el número de procesos es bastante elevado, en especial las operaciones de posicionamiento del material y validación del montaje.

En la **Tabla 3**, se muestra el flujograma que describe el procedimiento para la realización de los selectores por medio del procedimiento PC-A, orientado a mantener intacta la flexibilidad de las máquinas. Por medio de este diagrama es fácilmente visible una

desventaja de las MHCH. Durante la ejecución del procedimiento PC-A se ejecutan 10 operaciones de posicionamiento de material, lo cual representa un 30% del tiempo total de fabricación de un selector.

Un movimiento sin corte es considerado un desperdicio de recursos, ya que durante este tiempo no se genera ningún valor agregado a los elementos que se fabrican; puesto que no hay ningún cambio en la geometría de las piezas.

Orientar los procesos de producción para mantener al mínimo los tiempos muertos de un sistema de producción es un valioso método para reducir los costos de producción, además de usar al máximo la capacidad tecnológica instalada.

Un procedimiento en el cual el material tenga modificaciones en el modo de montaje se considera dividido en fases, en donde cada montaje representa una fase. Las fases del proceso PC-A se especifican a continuación acorde a lo planteado en la hoja de procesos PC-A Tabla 4. Hoja de Procesos PC-Ay diagrama de flujo PC-A en la Tabla 5.

Tabla 4. Hoja de Procesos PC-A

ELEMENTO:		Selector 2RL														
PROYECTO:		Evaluacion de implementacion de torno de cabezal movil para fabricacion de selectores.														
<b>HOJA DE PROCESO</b>																
<b>Parametros de corte</b>																
Fase	N° de Operación	Operación	Herramienta	Vc [m/min]	n [rpm]	L [mm]	ae [mm]	ap [mm]	Pc [KW]	f [mm/min]	fz [mm/diente]	Kc	$\eta$	z	# pases	T estimado [min]
Fase 1	1	Planeado	T1	24	1529	260	50	0,2	1,49	140	0,02	2200	99%	4	2	3,71
Fase 1	2	Perforacion 1	T2	25	1592	5	6	1	2,22	40	0,01	2200	99%	2	1	0,13
Fase 1	3	Perforacion 2	T3	22	1401	5	6	1	1,96	40	0,01	2200	99%	2	1	0,13
Fase 2	4	Corte 130 mm	N/A	20	N/A	130	N/A	0,3	0,93	70	N/A	2200	99%	N/A	1	1,86
Fase 2	5	Corte 80 mm	N/A	20	N/A	80	N/A	0,3	0,93	70	N/A	2200	99%	N/A	1	1,14
Fase 1	6	Fresado cantos	T4	25	1327	210	5	0,5	3,33	120	0,02	2200	99%	4	4	7,00
Fase 3	7	Fresado 1	T4	20	1062	14	5	0,7	4,36	140	0,03	2200	99%	4	9	0,86
Fase 3	8	Acabado 1	T4	25	1327	13	5	0,1	0,50	90	0,02	2200	99%	4	1	0,14
Fase 3	9	Fresado 2	T4	25	1327	13	5	0,1	0,78	140	0,03	2200	99%	4	40	3,71
Fase 3	10	Acabado 2	T4	25	1327	3	5	0,1	0,61	110	0,02	2200	99%	4	1	0,03
Fase 3	11	Acabado 3	T4	25	1327	7	5	0,2	1,22	110	0,02	2200	99%	4	1	0,03
Fase 3	12	Fresado 3	T4	25	1327	7	5	0,6	4,67	140	0,03	2200	99%	4	5	0,25
Fase 3	13	Fresado 4	T4	25	1327	9	5	0,6	4,67	140	0,03	2200	99%	4	2	0,11
Fase 3	14	Acabado 4	T4	25	1327	1	5	0,1	0,61	110	0,02	2200	99%	4	1	0,01
Fase 3	15	Fresado 5	T4	25	1327	1	5	0,5	3,89	140	0,03	2200	99%	4	6	0,04
Fase 3	16	Acabado 5	T4	25	1327	4	5	0,1	0,78	140	0,03	2200	99%	4	1	0,03
Fase 3	17	Fresado 6	T4	25	1327	2	5	0,5	3,89	140	0,03	2200	99%	4	2	0,03
Fase 3	18	Fesado 7	T4	25	1327	1,4	5	0,5	3,89	140	0,03	2200	99%	4	6	0,06
Fase 5	19	Fresado 8	T4	25	1327	10	5	0,5	3,89	140	0,03	2200	99%	4	4	0,29
Fase 5	20	Acabado 8	T4	25	1327	10	5	0,1	0,78	140	0,03	2200	99%	4	1	0,07
Fase 4	21	Fresado 9	T4	25	1327	5	5	0,5	2,22	80	0,02	2200	99%	4	6	0,38
Fase 4	22	Acabado 9	T4	25	1327	5	5	0,1	0,78	140	0,03	2200	99%	4	1	0,04
Fase 4	23	Fresado 10	T4	25	1327	7	3	0,5	2,50	90	0,02	2200	99%	4	4	0,31
Fase 4	24	Acabado 10	T4	25	1327	7	3	0,1	0,33	60	0,01	2200	99%	4	1	0,12
Fase 4	25	Fresado 11	T4	25	1327	7	3	0,5	2,50	90	0,02	2200	99%	4	4	0,31
Fase 4	26	Acabado 11	T4	25	1327	7	3	0,1	0,33	60	0,01	2200	99%	4	1	0,12
Total tiempo Estimado de Corte [min]										20,89						

Tabla 5. Diagrama de flujo PC-A

ACTIVIDAD					Observaciones.
No°	Op.	Trans.	Insp.	Dem.	
1					Corte de platinas 130 mm x 90 mm
2					Montaje de platinas en fresadora (Prensa)
3					Fresado de cantos de platinas
4					Montaje de platinas en fresadora (Prensa)
5					Planeado #1 de platinas
6					Repocicionar Material
7					Planeado #2 de platinas
8					Marcado de Agujeros.
9					Perforacion de Agujeros
10					Corte de material en bruto por unidad de selector
11					Montaje 1
12					Fresado 1, Acabado 1
13					Montaje 2
14					Fresado 2
15					Montaje 3
17					Acabado 2
18					Montaje 4
19					Acabado 3
20					Montaje 5
21					Fresado 3, Fresado 9 y acabado 9.
22					Montaje 6
23					Fresado 4 y Acabado 4
24					Montaje 7
25					Fresado 5
26					Montaje 8
27					Fresado 7
28					Montaje 9
29					Fresado 8 y Acabado 8

5.1.1.1 Planeado y rectificado de platinas.

Las platinas cortadas con una longitud de (130) [mm] x (80) [mm], es una medida que cubre la capacidad máxima de la prensa en la que es montada el material en bruto, en donde se evitan los voladizos durante el mecanizado.

Es importante que durante el montaje se garantice el paralelismo de las caras y planitud, es fundamental mantener esta restricción ya que pertenece al espesor definitivo de los selectores.

Luego de una fase de corte de la materia prima fue necesario de una preparación más específica de las placas, esto con el objetivo de garantizar la precisión y la fácil ejecución de las fases posteriores. La operación de planeado es una de las más críticas, puesto que este mecanizado determina el espesor del selector.

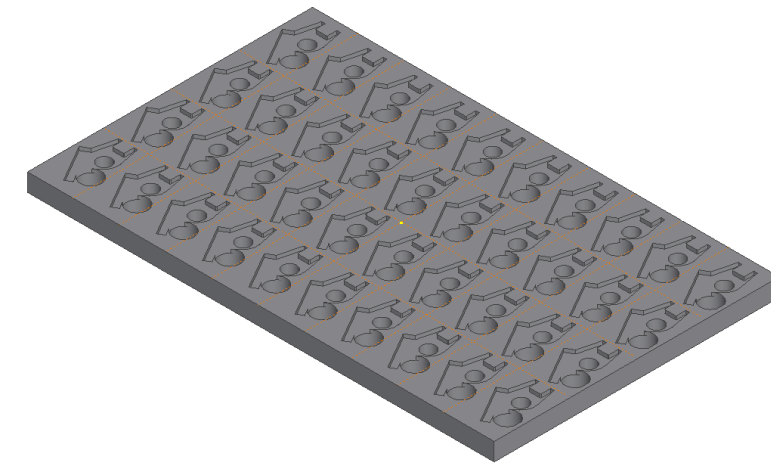
Los parámetros de corte establecidos en las hojas de proceso fueron calculados de acuerdo a las teorías de corte convencional, enmarcado en los manuales de técnica mecánica **[Manual técnica mecánica]** y la información de las herramientas estipuladas en los catálogos de proveedores de herramientas de corte. **[Catálogos yg-1]**

El motivo por el cual el espesor de la pieza es determinado desde el inicio, se basó en el hecho que a medida que avanza la geometría definitiva del elemento su sujeción se hace más difícil lo cual conlleva a una disminución en la calidad del proceso.

Para sujetar una pieza por medio de cualquier mecanismo se hace necesario mantener un buen contacto entre las piezas usando de una geometría regular, para cumplir con una buena sujeción de la platina se fresaron los cantos de las mismas con el objetivo de mejorar las superficies en donde fue sujetado.

Las dimensiones de la platina son de 130 mm x 80 mm de espesor  $\frac{1}{4}$ ", esta geometría inicial es preparada de acuerdo a como se especifica en el diagrama de flujo y hoja de proceso como fase de preparación del material en bruto para cada selector.

**Figura 20. Distribución de selectores sobre material en bruto.**



La **Figura 20**. Muestra la distribución de un lote de selectores de 40 unidades. Y los trazos de los cortes de una fase posterior, de este modo se llegó a el procesamiento de las piezas por

unidad y el proceso seriado se limita únicamente a la distribución de los procedimientos; ningún mecanizado realizado aporta valor a más de un selector.

#### 5.1.1.2 *Perforación de platinas, perforación de agujero #1 y perforación de desbaste*

Con las platinas calibradas de la fase anterior, se marca una matriz en una de las caras en donde se harán perforaciones a modo de desbaste, el diámetro de los agujeros coincide con el radio externo del selector.

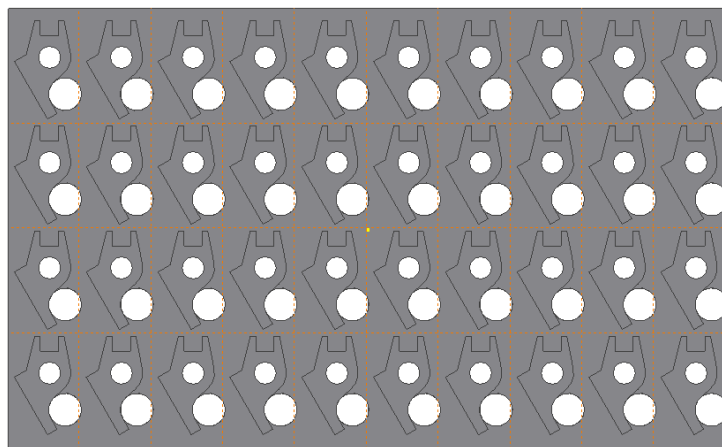
Por medio de operaciones de rimado los agujeros son rectificados, de este modo la geometría de la pieza en su mayoría esta lista.

Esta es una fase cuyo objetivo fue el de separar el material en bruto para cada selector, la operación tecnológica no se enfocó en la precisión del corte o el acabado de la superficie. La separación de entre selectores depende del espesor de la cuchilla, se tomó una cota de 3 veces el espesor de la herramienta (3 mm) en donde la trayectoria se demarco en la mitad de este espacio, con el ánimo de proporcionar sobre-material para las operaciones posteriores.

#### 5.1.1.3 *Corte de selectores.*

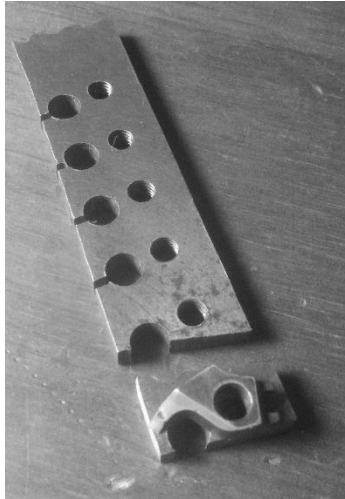
El material a cortar es removido por medio de discos de corte en un proceso manual, lo que se busca en este proceso es separar los selectores para fresarlos uno por uno, en este punto la producción pierde su propiedad de mecanizar piezas simultáneamente.

**Figura 21. Trazado de trayectorias para corte.**



El montaje ejecutado mostrado en la **Figura 21**, no requiere de una alineación perfecta, basta con el posicionamiento del material manteniendo la horizontalidad de los cantos superior o inferior. La orientación de la placa no influye en el mecanizado, este puede ejecutarse con la platina paralela al eje (X) o (Y) de la máquina. En la Figura 22 se muestra un segmento de platina ya cortado, junto al material en bruto para la fabricación de un selector.

**Figura 22. Segmento de platina y material en bruto (PC-A).**



Luego de proceder con el montaje y la preparación de la máquina se procedió al mecanizado, un punto importante es la variable avance (f) del proceso, las máquinas convencionales por lo regular son operadas manualmente en donde el avance no es una magnitud constante y depende de la habilidad física del operador.

**Figura 23. Marcas del proceso de fresado axial**



Idealmente el cálculo sobre los parámetros de corte es difícil de llevar a la realidad, un operador no es capaz de mantener una velocidad constante, lo que conlleva un acabado superficial deficiente además de dejar una superficie irregular. La

**Figura 23.** Muestra las huellas de la herramienta y es apreciable la irregularidad del corte del proceso de corte.

Este defecto fue percibido a lo largo de todos los procesos de mecanizado, en donde fue necesario un proceso adicional de pulido para terminar las superficies del selector, tal y como lo estipula el plano de la pieza.

#### *5.1.1.4 Fresado de contorno.*

Al fresar las caras restantes para dar la terminación que exige el plano, el selector a mecanizar tiene que ser montado en la máquina varias veces, el riesgo que se corre en esta fase es el más alto, pues durante cada montaje es difícil garantizar repetibilidad.

Los desbastes y acabados del contorno basados en la remoción de material por volúmenes (MRSEV) estipulan la ejecución de varios montajes, se había determinado una fase por cada montaje, pero por la similitud de la operaciones esta sección se divide en sub-fases; cada sub-fase hace referencia a una operación de desbaste y acabado, manteniendo la misma configuración en la fresadora.

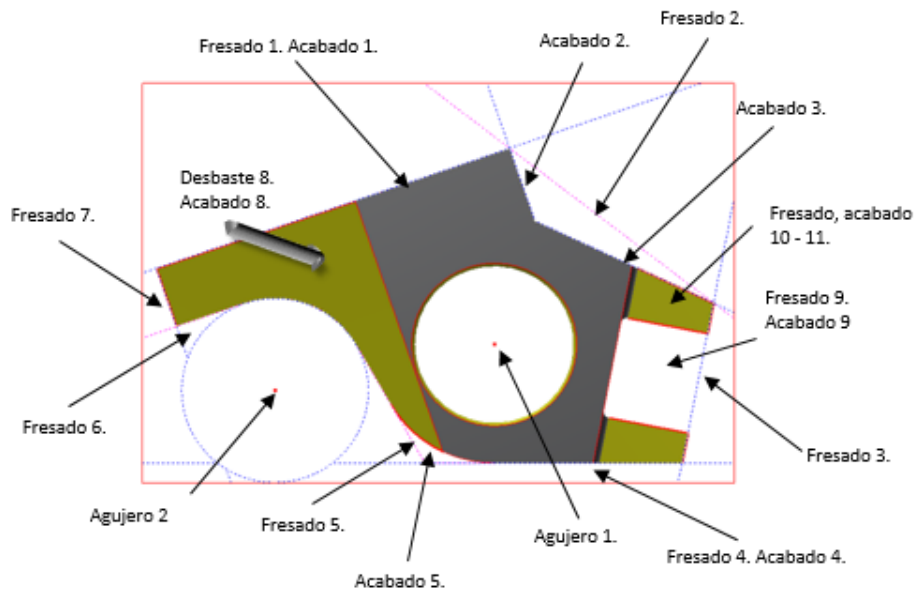
El modo en que se configuro la máquina no tiene cambios sustanciales a comparación de las anteriores configuraciones, la sujeción por medio de una prensa de mordazas paralelas y el usillo de la máquina con orientación vertical (perpendicular al plano XY).

Las sub-fases tampoco acumularon tiempos de configuración de máquina, puesto que las configuraciones aplicadas al inicio del procedimiento se mantienen a lo largo del mismo, al igual que los tiempos de montaje para las operaciones de acabado.

Una operación tecnológica puede combinar varios métodos (Desbaste, Semi-acabado, acabado) y depende hacia donde se orientó el procedimiento en función de la calidad de la pieza o la velocidad de producción. Para este caso se optó por ejecutar la operación de acabado inmediata a la de desbaste y así desperdiciar la alineación de montajes.

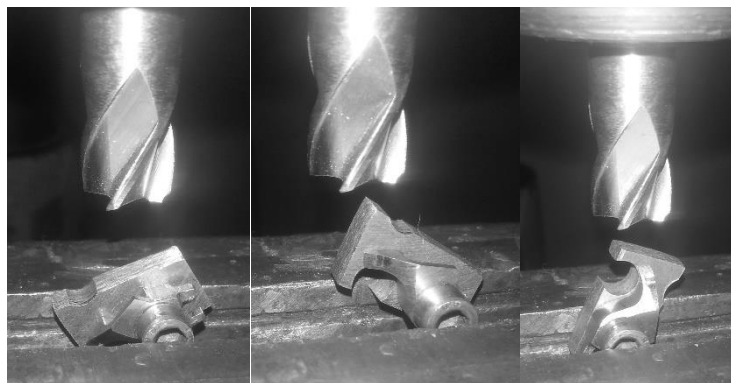
La diferencia entre una operación de desbaste y acabado se basó en el volumen de material removido y los parámetros de corte que influyen sobre la terminación de la superficie.

**Figura 24. Operaciones tecnológicas para el procedimiento PC-A.**



Esta parte del procedimiento es la más extensa y a la vez la más crítica de todo el proceso de producción, en la **Figura 24** y **Figura 25**, se muestran los volúmenes a remover y se indica el método planeado para tal propósito. Al posicionar el IPW [In Process Work piece] repetidas veces la precisión de los elementos se ve afectada, esto se debe por la falta de referencias que permitan montar la pieza siempre en la misma posición y bajo los mismos parámetros.

**Figura 25. Ejecucion de fresados PC-A.**

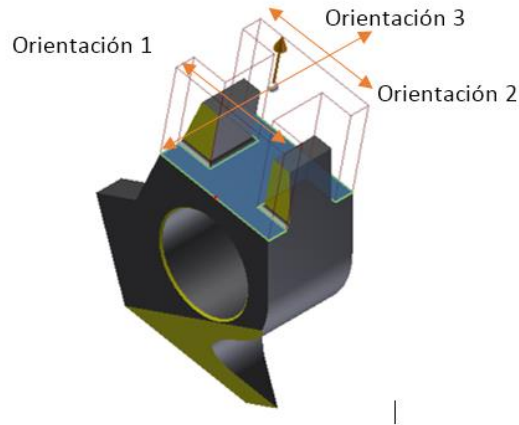


El método usado para la verificación de la horizontalidad de la superficie a fresar, el cual consta en fijar manualmente la pieza sin la ayuda de ningún tipo de galga. La geometría del selector tampoco ofrece superficies paralelas entre sí que puedan ser usadas como referencia para el montaje.

#### 5.1.1.5 Fresado de Cajeras.

Siguiendo las reglas de la construcción de MRSEV, para crear un método eficiente para la remoción del volumen de material, mostrado en la **Figura 26**, en donde la herramienta permanece perpendicular al suelo para seguir las trayectorias que se intuyen de la hoja de proceso (HOJA DE PROCESO PC-A).

**Figura 26. Remoción de volumen de cajera según método MRSEV.**



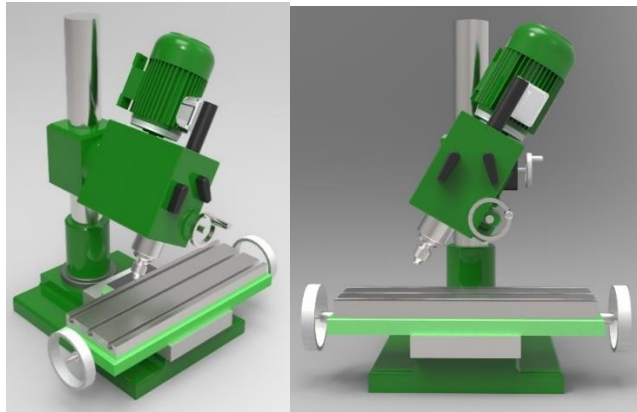
La manera en la que se procedió el mecanizado se basó en 3 trayectorias, en donde por cada trayectoria se efectuó una operación de desbaste y acabado para aprovechar de mejor manera el modo de trabajo del operador.

#### 5.1.1.6 Fresado de plano inclinado.

Se caracteriza otra fase debido a que cambia la configuración de la máquina, en este caso para mantener la herramienta en posición ortogonal a la cara a fresar se necesita girar el cabezal de la máquina, generando un ángulo entre la mesa y la herramienta.

La principal característica de este proceso, radica en la configuración de la máquina. Para mantener la condición en la que la herramienta debe permanecer perpendicular a la superficie es necesario modificar la orientación de la herramienta para el caso de la máquina QW-32 (taladro fresador). Ubicar la pieza por medio de un montaje sencillo en el que no se usan dispositivos especializados para mantener la flexibilidad de la máquina intacta obligó a adaptar la máquina para ejecutar este fresado.

**Figura 27. Cabezal de taladro fresador rotado.**



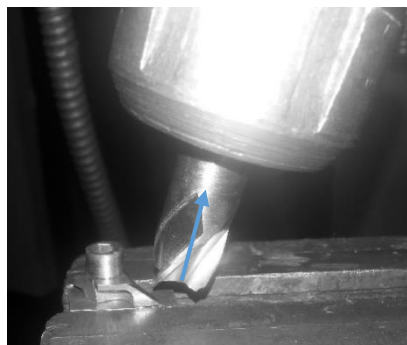
La **Figura 27**. Muestra el modo en el que la máquina fue adaptada para la ejecución del fresado del plano inclinado, en donde el elemento se mantiene en su posición natural. [13]

Aunque la producción de un lote de 40 piezas como se había propuesto en el proceso de planeación, fue necesario realizar varias veces el procedimiento de configuración de la máquina. De este modo se procedió a la toma de tiempos pertinentes al cambio de configuración de la máquina herramienta.

El procedimiento consistió en desalinear el eje Z de la máquina, para lo cual fue necesario aflojar el cabezal de la máquina y por medio de una galga ajustar un ángulo de  $32^\circ$  formados entre el plano XY de la máquina y el husillo de la misma.

Para idealizar algunos aspectos, el procedimiento lo realizó el mismo operador bajo las mismas condiciones de operación, cumpliendo con las normas de seguridad pertinentes.

**Figura 28. Orientación de herramienta.**

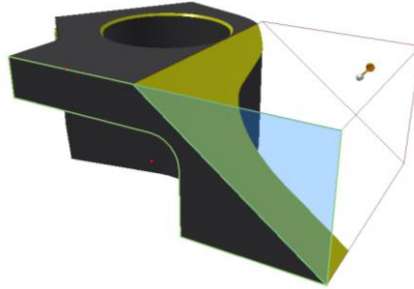


La orientación de la herramineta se muestra en la **Figura 28**, En donde fue necesario cambiar la arquitectura de la máquina de manera drástica, al cambiar la orientación de la herrmaineta el comportamiento de la cargas en toda la máquina son distintas en

comparación a una operación convencional con el cabezal completamente vertical; esto puede representar cambios en la rigidez del montaje lo cual puede afectar la calidad de la pieza.

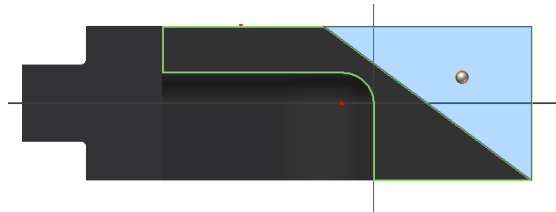
La profundidad de corte ( $a_p$ ) fue de 4 mm, la operación no tuvo ningún contratiempo puesto que la herramienta cubre en su totalidad el volumen del material removido ( $50,25 \text{ mm}^3$ ), la **Figura 29**, muestra el volumen de material removido por la herramienta de corte.

**Figura 29. Volumen de material a remover para generar cara inclinada.**



Aunque la máquina herramienta tiene la capacidad de rotar el eje Z no puede mantener una trayectoria de corte acorde a esta configuración lo cual dificulta el posicionamiento al punto de entrada o inicio de corte. Para evitar un aumento en los tiempos de este proceso se optó el uso de una herramienta de corte cuyo diámetro abarca la longitud total de la cara inclinada tal y como se muestra en la **Figura 30**.

**Figura 30. Extensión de plano inclinado.**



Las operaciones ejecutadas hasta este punto arrojan los datos pertinentes para concluir que es posible tallar geometrías semejantes a un prisma, la flexibilidad de las MHCH aunque operan de un modo casi artesanal debido a lo básico de las trayectorias que se ejecutan por medio de estos métodos.

Al generar un proceso de producción basado en métodos convencionales es fácil prever problemas en la calidad de los procesos, ya que estos se encuentran influenciados por factores humanos que son difíciles de estabilizar; el ejemplo más claro es mantener un avance de la herramienta de corte constante para estabilizar la terminación de las superficies.

### 5.1.2 DISPOSITIVOS

Las herramientas de corte para los procesos de fresado son fijadas al husillo de la máquina herramienta por medio de pinzas o boquillas ilustrada en la Figura 31, según el diámetro del vástago de la fresa o escariador.

Estos dispositivos no garantizan estabilidad durante la ejecución de las operaciones tecnológicas, muchas de las imperfecciones en el terminado de las piezas se deben a que la herramienta no empalma de manera precisa al interior de la boquilla y por ende se puede presentar vibración durante el proceso de corte.

**Figura 31. Boquilla o pinza para sujeción de herramienta de corte.**



Las pinzas o boquillas convencionales son muy comunes en el medio industrial metal-mecánico por este motivo son usadas durante el montaje experimental del procedimiento PC-A.

El modo de sujeción del material en bruto o cualquier IPW fue por medio de una prensa mecánica de mordazas paralelas como la mostrada en la Figura 32, este tipo de prensas son comunes en la industria por su versatilidad.

**Figura 32. Prensa de mordazas paralelas.**



El montaje por medio de estos dispositivos es posiblemente el más sencillo, solo basta con fijar el material, sin embargo una prensa de tornillo como la utilizada durante la ejecución de los procesos puede contribuir al aumento en la vibración durante el proceso de corte. Existen varios tipos de prensas, inclusive algunas están dotadas de sistemas hidráulicos para absorber la vibración producida por la interacción de la herramienta de corte y el material.

### 5.1.3 TIEMPOS DE MANUFACTURA

#### 5.1.3.1 *Tiempos Generales.*

En la Tabla 6, se muestran los tiempos totales de la fabricación de 5 selectores, de acuerdo con las *formulas 1 y 2*, para calcular los tiempos de proceso de cada selector en donde se hace distinción de los tiempos muertos y los tiempos de operación, para su posterior análisis.

Tabla 6. Tiempos generales en PC-A.

General						
Selector N°	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU
1	125,88	37,05	54,76	37,93	24,42	117,11
2	161,27	40,39	58,79	35,56	26,53	120,88
3	155,03	39,33	58,68	32,76	25,32	117,99
4	155,04	37,28	56,54	33,35	26,73	119,11
5	157,39	37,02	57,49	37,51	25,37	122,8

Es posible deducir un tiempo promedio estimado para la fabricación de un selector, el cual es de 195,98 minutos (3.3 horas), este tiempo es el promedio de los tiempos de operación [ $T_o$ ] consignados en la **Tabla 6**. Aunque este tiempo no significa que se produce un elemento por cada lapso de tiempo. Durante la ejecución del proceso convencional A (PC-A) el cambio de fase se efectuaba solo cuando se cumplía con el objetivo de tratar 40 elementos.

Es necesario mantener el indicador de tiempo fácilmente reconocible, además de poder cuantificarlo y relacionarlo con otros resultados. Por esta razón se extrae el tiempo promedio de fabricación de un selector, de este modo es posible proyectar el número de piezas manufacturadas en un determinado número de turnos y de este modo calcular los costos referentes a la implementación de este procedimiento.

Como parte de un análisis preliminar en este montaje es visible que los tiempos muertos  $T_{MU}$  son casi el doble que el tiempo que se invierte para generar valor agregado a los elementos. El promedio de los tiempos muertos es 121,08 minutos (2,02 Horas) en

comparación al tiempo de corte que es 74,79 minutos (1,24 Horas); esto quiere decir que el 38% del tiempo total de fabricación de un selector genera valor agregado y el resto del tiempo representa pérdidas al mantener activos los costos de producción.

#### 5.1.3.1.1 Preparación de Material en Bruto Fase #1.

En las siguientes tablas (Tabla 7 a Tabla 11) están consignados los tiempos de proceso de la primera fase, en la cual se prepara el material en bruto. Desde este punto es visible la ventaja que proporciona el trabajo de elementos en serie; los tiempos de configuración de la máquina se anula durante la misma fase, esto se debe a que una vez que la máquina herramienta se prepara para ejecutar un procedimiento determinado no hay la necesidad de reconfigurarla hasta la terminación de la fase.

En algunas ocasiones pueden presentarse reconfiguraciones de la máquina debido al desgaste o falla de la herramienta. Estos tiempos no son considerados en este montaje experimental con el fin de mantener el desarrollo del proyecto.

Tabla 7. Tiempos parciales P1F1 (Platina 1 – Fase 1).

Planita #1	Preparacion de material en bruto					
Fase #1	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Planeado	14,2	4,3	3,7	5,5	0,7	9,9
Fresado Cantos	15,9	11,5	3,5	0,0	1,0	4,5
Perforacion 1	4,8	0,3	3,7	0,0	0,9	4,6
Perfiracion 2	4,9	0,3	3,6	0,0	1,0	4,7
Totales	39,8	16,3	14,4	5,5	3,7	23,6

Tabla 8. Tiempos parciales P2F1 (Platina 2 – Fase 1).

Planita #2	Preparacion de material en bruto					
Fase #1	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Planeado	14,2	4,5	3,5	5,0	1,2	9,7
Fresado Cantos	17,2	13,0	3,5	0,0	0,8	4,3
Perforacion 1	4,7	0,2	3,5	0,0	1,0	4,5
Perfiracion 2	4,5	0,2	3,4	0,0	0,9	4,2
Totales	40,7	17,9	13,9	5,0	3,8	22,7

Tabla 9. Tiempos parciales P3F1 (Platina 3 – Fase 1).

Planita #3	Preparacion de material en bruto					
Fase #1	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado Cantos	14,8	4,3	3,8	5,6	1,1	10,5
Fresado Cantos	17,0	12,6	3,4	0,0	1,0	4,4
Perforacion 1	4,4	0,2	3,5	0,0	0,7	4,2
Perfiracion 2	5,0	0,3	3,9	0,0	0,8	4,7
Totales	41,2	17,4	14,6	5,6	3,6	23,8

Tabla 10. Tiempos parciales P4F1 (Platina 4 – Fase 1).

Planita #4	Preparacion de material en bruto					
Fase #1	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Planeado	14,1	4,3	3,5	5,6	0,7	9,8
Fresado Cantos	16,8	11,9	3,7	0,0	1,2	4,9
Perforacion 1	4,2	0,2	3,2	0,0	0,7	4,0
Perfiracion 2	5,3	0,2	3,9	0,0	1,1	5,0
Totales	40,3	16,6	14,3	5,6	3,8	23,7

Tabla 11. Tiempos parciales P5F1 (Platina 5 – Fase 1).

Planita #5	Preparacion de material en bruto					
Fase #1	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Planeado	14,6	4,4	3,9	5,6	0,7	10,2
Fresado Cantos	16,8	11,6	4,1	0,0	1,2	5,2
Perforacion 1	4,6	0,2	3,3	0,0	1,1	4,4
Perfiracion 2	4,6	0,2	3,3	0,0	1,0	4,3
Totales	40,5	16,4	14,5	5,6	4,0	24,1

#### 5.1.3.1.2 Corte de selectores, Fase #2:

Durante la fase #2 se ejecutan 2 procedimientos para cumplir con el objetivo de separar el material en bruto de cada selector. En las **tablas 12 a 16**, están consignados los tiempos de proceso de cada operación.

La simplicidad de estas operaciones de corte favorecen los indicadores más relevantes en el modo de producción PC-A. La relación entre el tiempo de corte y los tiempos muertos es mínima, sin embargo cabe resaltar que las operaciones son las más demoradas con respecto a las demás.

En cuanto a los tiempos de montaje, aunque parecen exagerados se deben al procedimiento previo para garantizar la estabilidad y precisión del mismo. El modo en el que se alinea la trayectoria demarcada en el material con la herramienta es medido por medio de un

comparador de caratula. El proceso no siempre logra culminarse en un tiempo exacto al depender de la habilidad del operario.

**Tabla 12. Tiempos parciales P1F2 (Platina 1 – Fase 2).**

<b>Planita # 1</b>	<b>Corte de platinas</b>					
<b>Fase #2</b>	<b>To [min]</b>	<b>Tc [min]</b>	<b>TM [min]</b>	<b>TF [min]</b>	<b>Ts [min]</b>	<b>TMU [min]</b>
<b>Cortes Largos</b>	13,0	2,23	4,1	5,7	1,0	10,8
<b>Cortes Cortos</b>	6,7	2,2	3,7	0,0	0,8	4,5
<b>Totales</b>	19,7	4,4	7,7	5,7	1,8	15,2

**Tabla 13. Tiempos parciales P2F2 (Platina 2 – Fase 2).**

<b>Planita # 2</b>	<b>Corte de platinas</b>					
<b>Fase #2</b>	<b>To [min]</b>	<b>Tc [min]</b>	<b>TM [min]</b>	<b>TF [min]</b>	<b>Ts [min]</b>	<b>TMU [min]</b>
<b>Cortes Largos</b>	12,2	1,86	3,6	5,6	1,2	10,4
<b>Cortes Cortos</b>	7,2	2,28	4,0	0,0	1,0	4,9
<b>Totales</b>	19,4	4,1	7,6	5,6	2,2	15,3

**Tabla 14. Tiempos parciales P3F2 (Platina 3 – Fase 2).**

<b>Planita # 3</b>	<b>Corte de platinas</b>					
<b>Fase #2</b>	<b>To [min]</b>	<b>Tc [min]</b>	<b>TM [min]</b>	<b>TF [min]</b>	<b>Ts [min]</b>	<b>TMU [min]</b>
<b>Cortes Largos</b>	11,8	2,08	4,0	5,0	0,7	9,7
<b>Cortes Cortos</b>	6,9	2,23	3,7	0,0	1,0	4,7
<b>Totales</b>	18,8	4,3	7,8	5,0	1,7	14,4

**Tabla 15. Tiempos parciales P4F2 (Platina 4 – Fase 2).**

<b>Planita # 4</b>	<b>Corte de platinas</b>					
<b>Fase #2</b>	<b>To [min]</b>	<b>Tc [min]</b>	<b>TM [min]</b>	<b>TF [min]</b>	<b>Ts [min]</b>	<b>TMU [min]</b>
<b>Cortes Largos</b>	12,5	2,22	3,2	6,0	1,1	10,3
<b>Cortes Cortos</b>	6,4	2,24	3,4	0,0	0,8	4,1
<b>Totales</b>	18,9	4,5	6,6	6,0	1,8	14,4

**Tabla 16. Tiempos parciales P5F2 (Platina 5 – Fase 2).**

<b>Planita # 5</b>	<b>Corte de platinas</b>					
<b>Fase #2</b>	<b>To [min]</b>	<b>Tc [min]</b>	<b>TM [min]</b>	<b>TF [min]</b>	<b>Ts [min]</b>	<b>TMU [min]</b>
<b>Cortes Largos</b>	12,4	2,11	3,6	5,8	0,9	10,3
<b>Cortes Cortos</b>	5,9	1,85	3,2	0,0	0,9	4,1
<b>Totales</b>	18,4	4,0	6,8	5,8	1,8	14,4

### 5.1.3.1.3 Fresados de contorno, Fase #3:

Una vez separado el material de cada selector se prosigue con la siguiente fase, la cual es considerada como las más demoradas y delicada el procedimiento PC-A. Los fresados que definen el contorno del selector requieren de constantes reposicionamientos del material y de la herramienta, aunque sea para remover poco material o dar cierta terminación a una superficie de la pieza. Ingcarlosbgegmail.com

Para reducir los tiempos muertos del proceso sin sacrificar la flexibilidad de la maquina se adaptó la misma configuración de los montajes para evitar reproceso en el cambio de herramientas o cambios de estructura de la máquina, esto afecta directamente los tiempos de configuración de la maquina  $T_F$ , en donde basta solamente una configuración inicial de la máquina y mitigar este tiempo durante la ejecución de las demás operaciones tecnológicas.

Tabla 17. Tiempos parciales S1F3 (Selector 1 – Fase 3).

Selector # 1		Fresado de Contorno				
Fase # 3	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado 1.	8,6	1,6	2,8	3,4	0,8	7,1
Acabado 1.	1,4	0,4	0,0	0,0	1,1	1,1
Fresado 2.	5,5	2,0	2,7	0,0	0,8	3,5
Acabado 2.	1,3	0,2	0,0	0,0	1,1	1,1
Acabado 3.	3,7	0,2	2,7	0,0	0,8	3,5
Fresado 3.	5,0	0,8	3,4	0,0	0,8	4,2
Fresado 4.	5,3	0,9	3,5	0,0	1,0	4,4
Acabado 4.	1,2	0,4	0,0	0,0	0,8	0,8
Fresado 5.	4,2	0,5	2,5	0,0	1,2	3,7
Acabado 5.	1,0	0,3	0,0	0,0	0,7	0,7
Fresado 6.	4,0	0,6	2,5	0,0	0,9	3,4
Fresado 7.	5,4	0,9	3,6	0,0	0,9	4,5
<b>Total Fase</b>	<b>46,5</b>	<b>8,6</b>	<b>23,6</b>	<b>3,4</b>	<b>10,8</b>	<b>37,9</b>

Tabla 18. Tiempos parciales S2F3 (Selector 2 – Fase 3).

Selector # 2		Fresado de Contorno				
Fase # 3	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado 1.	8,5	1,8	2,6	3,2	0,9	6,7
Acabado 1.	1,1	0,4	0,0	0,0	0,8	0,8
Fresado 2.	7,6	2,9	3,9	0,0	0,8	4,6
Acabado 2.	1,0	0,2	0,0	0,0	0,8	0,8
Acabado 3.	4,7	0,2	3,6	0,0	0,9	4,5
Fresado 3.	5,3	0,7	3,4	0,0	1,1	4,5
Fresado 4.	5,0	0,9	3,2	0,0	0,9	4,1
Acabado 4.	1,1	0,3	0,0	0,0	0,8	0,8
Fresado 5.	4,5	0,3	3,2	0,0	1,0	4,2
Acabado 5.	1,2	0,2	0,0	0,0	0,9	0,9
Fresado 6.	5,1	0,7	3,5	0,0	1,0	4,5
Fresado 7.	4,7	0,9	3,1	0,0	0,7	3,8
<b>Total Fase</b>	<b>49,8</b>	<b>9,6</b>	<b>26,4</b>	<b>3,2</b>	<b>10,5</b>	<b>40,2</b>

Tabla 19. Tiempos parciales S3F3 (Selector 3 – Fase 3).

Selector # 3		Fresado de Contorno				
Fase # 3	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado 1.	9,5	2,1	2,8	3,6	1,1	7,5
Acabado 1.	1,4	0,2	0,0	0,0	1,1	1,1
Fresado 2.	6,1	2,5	2,5	0,0	1,2	3,6
Acabado 2.	1,3	0,3	0,0	0,0	1,0	1,0
Acabado 3.	3,5	0,3	2,5	0,0	0,7	3,3
Fresado 3.	5,3	0,8	3,4	0,0	1,0	4,4
Fresado 4.	5,5	1,0	3,7	0,0	0,9	4,6
Acabado 4.	1,4	0,3	0,0	0,0	1,1	1,1
Fresado 5.	4,0	0,4	2,7	0,0	1,0	3,6
Acabado 5.	1,3	0,3	0,0	0,0	1,0	1,0
Fresado 6.	4,6	0,6	3,2	0,0	0,8	3,9
Fresado 7.	4,6	0,9	2,9	0,0	0,8	3,7
<b>Total Fase</b>	<b>48,4</b>	<b>9,6</b>	<b>23,5</b>	<b>3,6</b>	<b>11,7</b>	<b>38,8</b>

Tabla 20. Tiempos parciales S4F3 (Selector 4 – Fase 3).

Selector # 4		Fresado de Contorno				
Fase # 3	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado 1.	9,3	1,4	3,6	3,3	1,0	7,9
Acabado 1.	1,4	0,2	0,0	0,0	1,2	1,2
Fresado 2.	5,7	2,0	3,0	0,0	0,8	3,7
Acabado 2.	1,0	0,3	0,0	0,0	0,7	0,7
Acabado 3.	4,3	0,2	3,1	0,0	0,9	4,1
Fresado 3.	4,6	0,9	2,9	0,0	0,8	3,7
Fresado 4.	5,0	0,8	3,2	0,0	1,0	4,2
Acabado 4.	1,5	0,4	0,0	0,0	1,2	1,2
Fresado 5.	4,3	0,3	2,9	0,0	1,1	4,0
Acabado 5.	1,3	0,2	0,0	0,0	1,1	1,1
Fresado 6.	4,0	0,5	2,7	0,0	0,8	3,5
Fresado 7.	4,9	0,8	2,9	0,0	1,1	4,1
<b>Total Fase</b>	<b>47,3</b>	<b>8,0</b>	<b>24,2</b>	<b>3,3</b>	<b>11,7</b>	<b>39,3</b>

Tabla 21. Tiempos parciales S5F3 (Selector 5 – Fase 3).

Selector # 5		Fresado de Contorno				
Fase # 3	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado 1.	9,1	1,5	3,6	3,1	1,0	7,7
Acabado 1.	1,4	0,2	0,0	0,0	1,2	1,2
Fresado 2.	5,0	1,7	2,5	0,0	0,9	3,3
Acabado 2.	1,3	0,3	0,0	0,0	1,1	1,1
Acabado 3.	3,7	0,2	2,5	0,0	1,0	3,5
Fresado 3.	4,4	1,1	2,6	0,0	0,8	3,3
Fresado 4.	5,7	0,9	3,9	0,0	1,0	4,8
Acabado 4.	1,2	0,4	0,0	0,0	0,8	0,8
Fresado 5.	4,4	0,5	3,2	0,0	0,8	4,0
Acabado 5.	1,1	0,3	0,0	0,0	0,8	0,8
Fresado 6.	4,2	0,7	2,8	0,0	0,8	3,6
Fresado 7.	5,4	0,8	3,5	0,0	1,0	4,5
<b>Total Fase</b>	<b>46,8</b>	<b>8,3</b>	<b>24,5</b>	<b>3,1</b>	<b>11,0</b>	<b>38,5</b>

En las **tablas 17 a 21** están consignados los tiempos parciales por cada operación correspondiente a la fase #3. Lo más notable de esta fase son los reducidos tiempos de corte debido a que el volumen de material removido es pequeño a comparación de la herramienta de corte.

A partir de un análisis entre el tiempo de corte y el tiempo muerto de operación es apreciable una gran desventaja de los procesos no automatizados. Una producción discreta apunta a mayores costos de producción que generan menos utilidades. Es necesario

minimizar los tiempos en los que las operaciones no generan ningún valor agregado al producto; esto es posible por medio de la automatización del proceso apropiando herramienta que permitan simular los procesos antes de ejecutarlos y herramientas con la capacidad de omitir montajes y reproceso.

#### 5.1.3.1.4 Fresado de Cajeras, Fase#4:

En las **Tablas 22 a 26**, se encuentran los tiempos de los procesos de la fase #5. El fresado de las cajeras de acuerdo a lo extraído por medio de los análisis MRSEV, en donde por medio de un ranurado y dos desbastes axiales es apreciable la nulidad de los tiempos de montaje.

Este es un ejemplo perfecto de la planeación de procesos por medio de métodos de ingeniería, por medio del análisis MRSEV fue posible ejecutar una serie de procedimientos eficientes anulando por completo los tiempos de configuración de la máquina herramienta y los tiempos de montaje, puesto que todas las operaciones de esta fase comparten características que son aprovechadas para maximizar la producción.

**Tabla 22. Tiempos parciales S1F4 (Selector 1 – Fase 4).**

Selector # 1 Fresado de cajeras

Fase # 4	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado 9	8,0	1,9	3,5	1,7	0,9	6,1
Acabado 9	1,2	0,4	0,0	0,0	0,7	0,7
Fresado 10	1,3	0,4	0,0	0,0	0,9	0,9
Acabado 10	1,5	0,4	0,0	0,0	1,1	1,1
Fresado 11	2,7	1,7	0,0	0,0	1,1	1,1
Acabado 11	1,3	0,6	0,0	0,0	0,8	0,8
Total	16,1	5,4	3,5	1,7	5,4	10,7

**Tabla 23. Tiempos parciales S2F4 (Selector 2 – Fase 4).**

Selector # 2 Fresado de cajeras

Fase # 4	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado 9	7,4	1,9	2,8	1,4	1,2	5,4
Acabado 9	1,8	0,7	0,0	0,0	1,1	1,1
Fresado 10	1,8	0,7	0,0	0,0	1,1	1,1
Acabado 10	1,6	0,8	0,0	0,0	0,8	0,8
Fresado 11	5,6	1,5	3,2	0,0	1,0	4,2
Acabado 11	1,8	0,7	0,0	0,0	1,2	1,2
Total	20,0	6,3	6,0	1,4	6,3	13,7

Tabla 24. Tiempos parciales S3F4 (Selector 3 – Fase 4).

Selector # 3 Fresado de cajas

Fase # 4	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado 9	7,5	2,2	3,0	1,4	0,9	5,3
Acabado 9	1,2	0,5	0,0	0,0	0,7	0,7
Fresado 10	1,3	0,6	0,0	0,0	0,8	0,8
Acabado 10	1,3	0,5	0,0	0,0	0,7	0,7
Fresado 11	6,3	1,5	3,8	0,0	1,0	4,8
Acabado 11	1,4	0,5	0,0	0,0	0,8	0,8
Total	18,9	5,8	6,8	1,4	4,9	13,2

Tabla 25. Tiempos parciales S4F4 (Selector 4 – Fase 4).

Selector # 4 Fresado de cajas

Fase # 4	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado 9	7,6	1,6	2,9	2,1	1,0	6,0
Acabado 9	1,4	0,5	0,0	0,0	0,9	0,9
Fresado 10	1,5	0,4	0,0	0,0	1,1	1,1
Acabado 10	1,4	0,5	0,0	0,0	1,0	1,0
Fresado 11	5,8	2,1	2,6	0,0	1,2	3,8
Acabado 11	1,6	0,7	0,0	0,0	0,9	0,9
Total	19,3	5,7	5,5	2,1	6,0	13,6

Tabla 26. Tiempos parciales S5F4 (Selector 5 – Fase 4).

Selector # 5 Fresado de cajas

Fase # 4	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado 9	7,2	1,4	3,5	1,6	0,7	5,7
Acabado 9	1,3	0,4	0,0	0,0	0,9	0,9
Fresado 10	1,7	0,5	0,0	0,0	1,2	1,2
Acabado 10	1,8	0,8	0,0	0,0	1,0	1,0
Fresado 11	5,7	2,0	2,7	0,0	1,0	3,7
Acabado 11	1,9	0,8	0,0	0,0	1,1	1,1
Total	19,5	5,9	6,1	1,6	5,9	13,6

#### 5.1.3.1.5 Fresado de plano inclinado, Fase #5:

Lo más notable de la fase #4 es el tiempo de configuración de la máquina herramienta  $T_F$ , el cual corresponde a más del 50% del tiempo de la operación. Por una parte puede presentarse como una ventaja de la máquina herramienta al ser esta una herramienta con grandes rasgos de flexibilidad, sin embargo configurar una máquina que puede cumplir varios propósitos puede traducirse a tiempos muertos elevados.

El fresado del plano inclinado requiere el alineamiento entre la herramienta el plano a fresar, esto puede solventarse por medio de un reposicionamiento de la pieza o un cambio en la configuración de la máquina. En este caso, dado al avanzado estado del selector no es viable el reposicionamiento del elemento para el fresado axial propuesto.

Al mantener una producción flexible, aunque discreta, es notable que el *acabado 8* tiene una duración en promedio de 1,2 minutos a comparación de los 30 minutos que tarda el acabado, esto se debe al aprovechamiento del tiempo invertido para ejecutar otras operaciones.

Tabla 27. Tiempos parciales S1F5 (Selector 1 – Fase 5).

Selector # 1	Fresado de plano inclinado					
Fase # 5	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Fresado 8	31,0	2,1	5,5	21,6	1,8	31,0
Acabado 8	1,1	0,3	0,0	0,0	0,9	1,1
Totales	32,1	2,3	5,5	21,6	2,7	32,1

Tabla 28. Tiempos parciales S2F5 (Selector 2 – Fase 5).

Selector # 2	Fresado de plano inclinado					
Fase # 5	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Fresado 8	29,1	2,2	4,9	20,3	1,7	29,1
Acabado 8	1,2	0,3	0,0	0,0	0,8	1,2
Totales	30,2	2,5	4,9	20,3	2,5	30,2

Tabla 29. Tiempos parciales S3F5 (Selector 3 – Fase 5).

Selector # 3	Fresado de plano inclinado					
Fase # 5	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Fresado 8	26,4	1,9	6,0	17,2	1,3	26,4
Acabado 8	1,3	0,4	0,0	0,0	1,0	1,3
Totales	27,8	2,3	6,0	17,2	2,3	27,8

Tabla 30. Tiempos parciales S4F5 (Selector 4 – Fase 5).

Selector # 4	Fresado de plano inclinado					
Fase # 5	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Fresado 8	26,6	2,1	6,0	16,3	2,2	26,6
Acabado 8	1,5	0,4	0,0	0,0	1,1	1,5
Totales	28,1	2,5	6,0	16,3	3,4	28,1

**Tabla 31. Tiempos parciales S5F5 (Selector 5 – Fase 5).**

Selector # 5	Fresado de plano inclinado					
Fase # 5	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Fresado 8	31,1	2,1	5,6	21,5	2,0	31,1
Acabado 8	1,1	0,4	0,0	0,0	0,7	1,1
Totales	32,2	2,4	5,6	21,5	2,7	32,2

#### 5.1.4 ANALISIS DE MONTAJE

El montaje basado en el procedimiento PC-A, consta de la utilización de utillaje básico el cual usa una prensa de tornillo y mordazas paralelas, como la que se describe en el numeral 5.1.2. (DISPOSITIVOS)

El modo de montaje se mantiene igual durante la ejecución de todas las operaciones tecnológicas, el procedimiento ejecutado consta de la alineación y sujeción del material en bruto, para la posterior ejecución de la operación tecnológica de fresado.

Este análisis está enfocado a la validación de la rigidez, en cuanto a la configuración del montaje y el utillaje utilizado, además de resaltar defectos y características importantes que favorecen o desfavorecen la ejecución de las operaciones tecnológicas implementadas.

Para estimar la rigidez del montaje, en el cual se consideran los elementos de sujeción, el IPW y la herramienta, se utiliza un método de simulación de elementos finitos, ejecutado por medio del motor de cálculo de NASTRAN por medio de la interfaz de SOLID EDGE ST7.

Las condiciones en las que se estima la fuerza de corte resultante, para una operación representativa ejecutado el procedimiento PC-A, Figura 33 son:

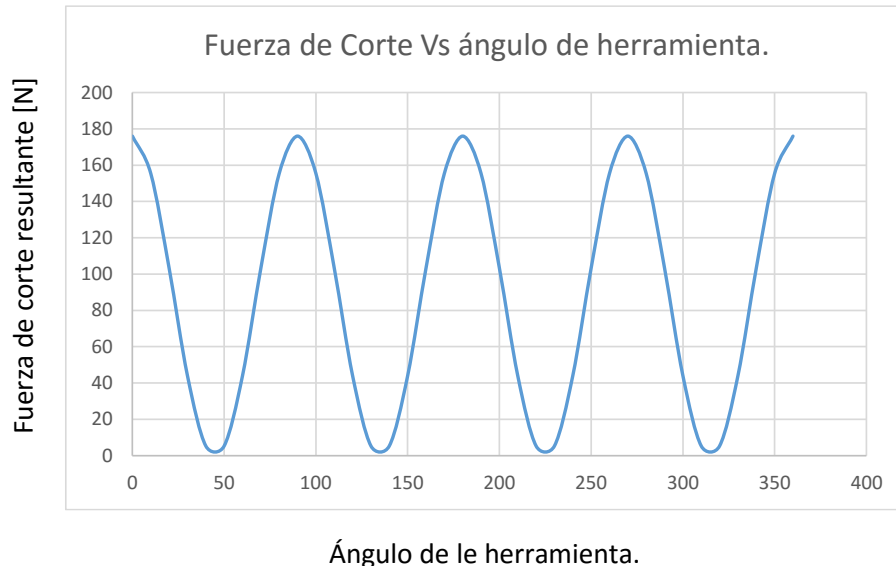
**Figura 33. Parámetros de Corte PC--A**

Vc	rt	nt	f	ae	F	Ktc	Krc	Kac	Kte	Kre	Kae
270	3	2000	190	0	177	1537	507	460	150	150	6,7

Las fuerzas de corte que actúan sobre la herramienta son estimadas por medio de interpolaciones con datos de ejercicios ya realizados es investigaciones sobre los análisis de fuerzas de corte. Como fuerza resultante se obtuvo una fuerza resultante de 177 N. esta fuerza será aplicada sobre el eje de la herramienta orientada con el avance de la misma.

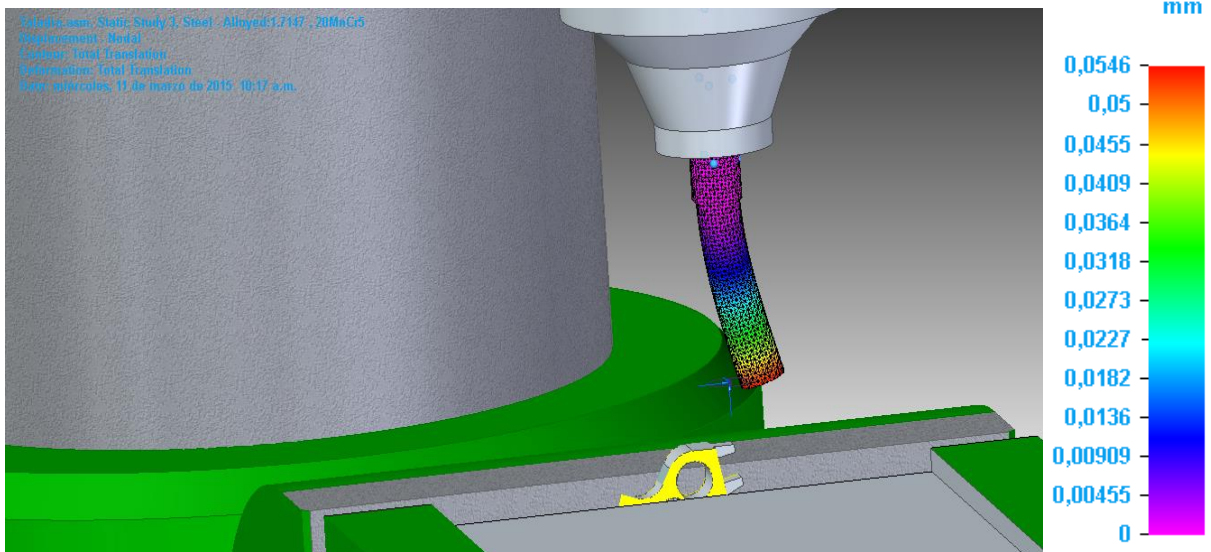
La Figura 34, muestra la periodicidad de la fuerza de corte máxima sobre cada filo de la herramienta. Al ser esta una herramienta de 4 dientes la fuerza máxima se aplica cada 90°.

Figura 34. Fuerza resultante, Alternante.



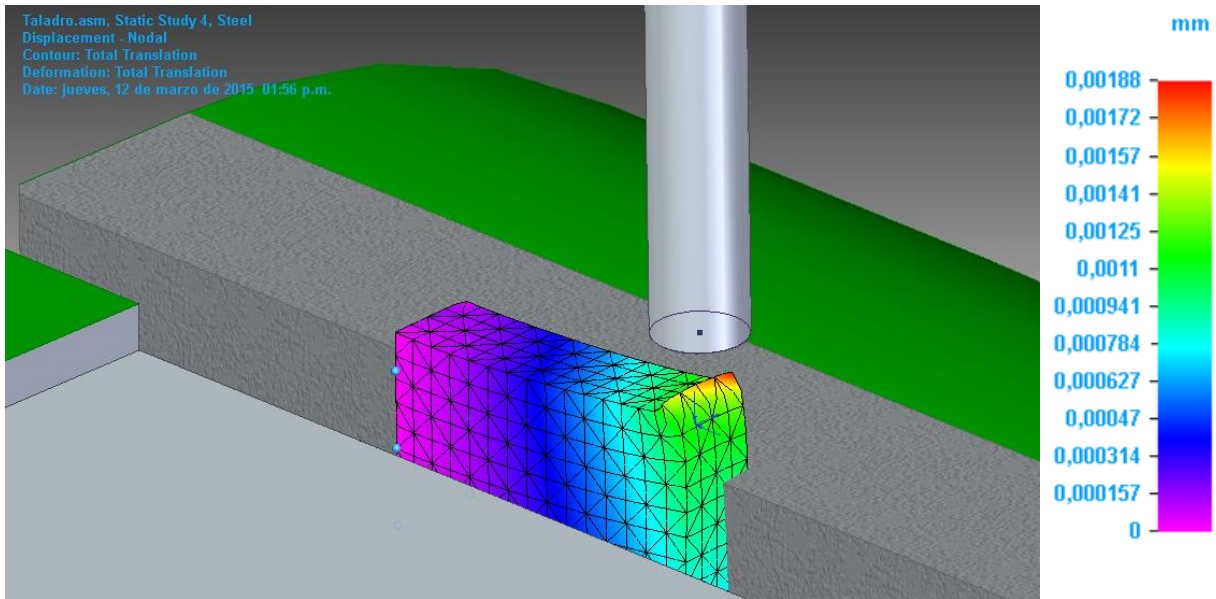
Por medio de la simulación de elementos finitos se puede visualizar una deformación máxima de 0,0546 mm durante un pico de fuerza el cual se alterna 4 veces por revolución sobre la herramienta. En la Figura 35, se muestra la simulación de la deformación de la herramienta y la escala de colores que corresponde a la deformación de la herramienta.

Figura 35. Deformación de la herramienta en frezado axial.



En cuanto al análisis de deformaciones y esfuerzos para el material tratado, tiene una deformación máxima de 0,0125 mm, lo cual representa un montaje rígido.

Figura 36. Deformación de Material en Bruto.



A partir de esta simulación es posible determinar la rigidez del montaje por medio del cálculo del factor de rigidez  $K$ , el cual se estima por medio de la Ecuación 6 del numeral 3.9 RIGIDEZ DE MONTAJES.

En la Tabla 32, se muestra la información correspondiente al error de la máquina y de la herramienta, además del desplazamiento de la punta de la herramienta junto a la fuerza resultante. El valor de la constante  $K$  será un referente para comparar con la rigidez de los demás montajes y así tener una referencia más en cuanto la apropiación de tecnología, en este caso de máquinas con arquitecturas flexibles apoyadas por controladores.

Tabla 32. Factor de rigidez PC-A.

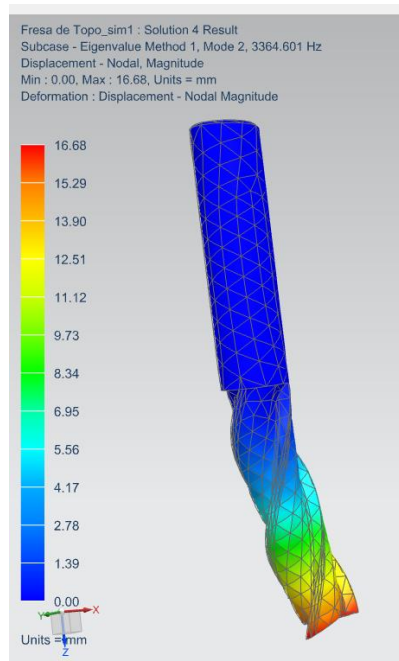
Error de maquina [mm]	Error de herramienta [mm]	$\Delta l$ [mm]	$F_r$ [N]	$K$
0,01	0,03048	0,05648	170	1753,3

### 5.1.5 ANALISIS DE VIBRACION EN LA HERRAMIENTA PC-A.

En cuanto a las operaciones ejecutadas en el procedimiento PC-A, en donde los fresados son de tipo axial y las cargas producen una alta frecuencia de vibración, ya que se somete la herramienta a cargas en la punta, estando trabajando en una condición de voladizo. En el caso mas critico en donde la herramienta puede acercarse a su frecuencia natural en la dirección del corte puede conducir a la falla.

En la Figura 37, se muestra el caso critico de la herramienta bajo una frecuencia natural de 3360 Hz, esta frecuencia puede generarse si la velocidad angular de la herramientas por el numero de filos es cercana a la frecuencia natural de la herramienta.

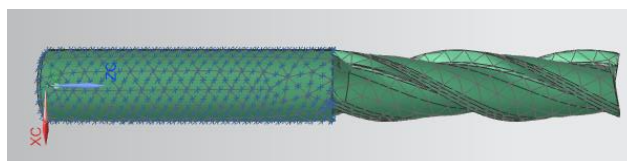
**Figura 37. Frecuencia Natural en Fresado Axial.**



En el caso de los procedimientos PC-A, la frecuencia máxima a la que se sometió la herramienta es de 86,66 Hz, sin embargo a esta frecuencia el acabado de las superficies se ve afectado y para propósitos de acabados superficiales exigentes no es recomendable.

Para la ejecución del análisis de vibración se considero la totalidad del vástago (Zona azul) como una sección fija, tal y como se muestra en la Figura 38. De este modo las deformaciones se limitan solo a la extensión del filo de la herramienta.

**Figura 38. Superficie fija en herramienta de corte.**



Para determinar la frecuencia de la frecuencia a la que se somete la herramienta, basta con relacionar la velocidad angular del husillo y el número de filos. Esta frecuencia debe estar 10 veces por debajo de la frecuencia natural de la fresa y no debe ser múltiplo para evitar que resuene.

$$f_t = \frac{n z}{60} \text{ si } f_t < \frac{f_n}{10}$$

Estas consideraciones se aplicaron en los siguientes montajes (PC-B, PA-A y PA-B), debido a la similitud en el montaje de la herramienta de corte y el uso de la misma referencia durante todas las operaciones de fresado.

#### 5.1.6 ANALISIS DE COSTOS

De acuerdo a los conceptos tratados en ANÁLISIS DE COSTOS. En la sección 3.10, se determina el costo de producción de un lote de 40 selectores de acuerdo a lo que plantea el procedimiento PC-A. Inicialmente es necesario evaluar el costo de la hora máquina con respecto a su participación en el proceso por medio del análisis de costos de producción.

A partir de los tiempos de manufactura, es posible determinar el índice de participación de la máquina, simplemente relacionando el tiempo total de operación y la suma de los tiempos parciales de operación por máquina herramienta utilizada como se muestra en la Ecuación 7.

**Ecuación 7. Indicador de participación.**

$$P = \frac{T_{TO}}{T_{PO}}$$

En donde:

$T_{TO}$ : *Tiempo total de operacion*

$T_{PO}$ : *Tiempo parcial de operacion.*

Para la ejecución de este procedimiento, fue necesaria la utilización del taladro QW-32 con utillaje básico. Y su índice de participación P es del 100%. Con esto los costos de producción asociados a este sistema son: la depreciación de la máquina, Mantenimiento estimado de la máquina, Energía consumida anual y arrendamiento.

En las tablas 31 a 34, están consignados los costos asociados a la máquina según su participación y el número de horas productivas al año, las cuales difieren del número de horas hábiles al año debido a los imprevistos que pueden retardar la producción.

El número de horas efectiva, depende de la participación de la máquina a lo largo de la ejecución del proceso y la capacidad de la máquina que hace referencia a la capacidad normal a la que trabaja o cuanto es el tiempo efectivo de trabajo con relación a un turno de trabajo.

**Tabla 33. Depreciación de Taladro-Fresador.**

Maquina	Torno Paralelo									
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Saldo	\$ 38.500.000	\$ 31.955.000	\$ 25.564.000	\$ 20.451.200	\$ 16.360.960	\$ 13.088.768	\$ 10.471.014	\$ 8.376.812	\$ 6.701.449	\$ 5.361.159
Depreciación	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000
Valor de salvamento.	\$ 5.775.000									

**Tabla 34. Manteniendo estimado anual.**

Maquinas	Horas Mantenimiento	Participacion	Costo al año por maquina
Taladro Fresador	42	100%	\$ 1.260.000

**Tabla 35. Consumo estimado de Energía anual.**

Maquina	Horas Trabajadas al año	Potencia Maquina [KW]	Consumo al año Maquina	Participacion	Costo al año por maquina
Taladro Fresador	2099	1,5	3148,5	100%	\$ 1.101.975
<b>Total consumo</b>	\$ 1.259.400				

**Tabla 36. Costo arriendo anual.**

Maquina	Area [m^2]	Factor	Costo x año
Taladro Fresador	3	0,15	\$ 4.500.000
<b>Total área</b>	<b>3</b>	<b>0,15</b>	
<b>Costo total</b>			\$ 4.500.000

Para visualizar la diferencia entre los costos de producción en los diferentes procesos se asume que la capacidad de las máquinas herramientas utilizadas es del 80% lo que denota 1888 horas productivas al año. Este es el tiempo que se usará como referente para evaluar el número de selectores que pueden ser fabricados y tener una idea de la capacidad de planta que provee cada tecnología.

**Tabla 37. Costo Hora máquina (PC-A).**

Maquina	Taladro Fresado	Horas habiles al año	2920
Vida Util	10	Horas domingos y festivos	560
Area ocupada	3 m^2	Capacidad Maquina	80%
Costo máquina	\$ 15.000.000	Horas productivas al	2360
		Horas productivas al	1888
<b>Costo Hora-Máquina</b>			
<b>Costos Fijos</b>		<b>Costo al Año</b>	
Depreciación máquina		\$ 2.250.000	
Arriendo		\$ 4.500.000	
Mantenimiento		\$ 1.260.000	
Total Costo Fijo			<b>\$ 8.010.000</b>
<b>Costos Variables</b>			
S. de Energia Electrica		\$ 1.101.975	
Total Costo Variable			<b>\$ 1.101.975</b>
<b>Costo total al año</b>			<b>\$ 9.111.975</b>
<b>Costo Hora Maquina</b>			<b>\$ 4.826</b>

Los costos asociados a las herramientas de corte se han omitido, ya que se consideran iguales en todos los casos. Al usar la misma referencia de herramientas en la ejecución de todas las operaciones tecnológicas se garantiza el mismo costo indirecto sobre los insumos como refrigerantes y herramental.

*5.1.6.1 Capacidad estimada de producción.*

Relacionando los tiempos de proceso con las horas productivas al año se puede apreciar un valor aproximado de la producción de un conjunto de 40 piezas. En la Tabla 38 se ilustra el tiempo neto de fabricación en horas y el costo de producción por un lote de piezas.

**Tabla 38. Relación capacidad de producción y tiempo de fabricación.**

Tiempo Fabricacion Neto [horas]	Distribucion en [Semanas]	Costo de producción	Costo Unitario
132	2,75	\$ 637.066	\$ 15.927

## 5.2 PROCESO CONVENCIONAL – B (PC-B)

### 5.2.1 PLANIFICACION DE OPERACIONES

Dentro de las capacidades de las MHCH es mejor establecer una estrategia que permita una producción serial y continúa de los elementos, es decir; no se trabaja sobre un único selector hasta terminarlo. Por el contrario se busca mecanizar de modo que una operación se efectúe sobre el mayor número de piezas posible.

Una gran desventaja de las maquinas convencionales es su complejidad a la hora de interpolar dos o más ejes para que la herramienta siga una trayectoria a lo largo del material para tallarlo (mecanizarlo). Sin embargo los selectores tienen la característica de un prisma, de allí que todas las operaciones se pueden considerar fresados planos que pueden ejecutarse por medio de estas máquinas herramientas.

La selección de las herramientas se basa en la potencia necesaria para desbastar el material, la materia prima a mecanizar en todos los casos van desde bronce latón SAE 65 hasta acero para trabajo en frío SAE 4140 con un  $K_s$  70 [Kgf/mm<sup>2</sup>] y 240 [Kgf/mm<sup>2</sup>] respectivamente, las pruebas realizadas en bronce ayudaron a pulir la fase de planeación sin desgastar considerablemente las herramientas.

El proceso PC-B, orientado a la producción en serie y haciendo uso de dispositivos que limitan la flexibilidad de las MHCH se procedió a la ejecución de los procesos con el objetivo de medir el tiempo total de producción y verificar la eficiencia del proceso.

Las fases que predominan en el proceso seriado están orientadas a omitir los montajes de la pieza. A comparación de los procesos flexibles no se ejecutaron el mismo número de montajes, por ende la variación sustancial está en la reducción de tiempos de montaje. Al mantener las referencias geométricas fijas por medio de dispositivos que permiten la indexación de uno o más ejes. En este caso el dispositivo que se utilizó en un cabezal divisor Vertex BS-1 con copa auto-centrante de 3 mordazas.

La capacidad del dispositivo divisor para rotar la pieza un ángulo determinado, anula la necesidad de montar nuevamente cualquier IPW. Usar el mínimo número posible de montajes mejora drásticamente la precisión de las piezas y es más fácil mantener un control de calidad durante la producción.

Este proceso se enfocó en la comparación directa entre las máquinas de control numérico y las máquinas convencionales; el diagrama de flujo y hoja de proceso PC-B mostrado en la Tabla 39 y Tabla 40, muestra las operaciones necesarias para el desarrollo del selector. El método por el cual se analizó la remoción de volúmenes se aplicó para una producción en serie en donde los procesos intervienen en un conjunto de varios selectores.

La selección de la geometría inicial puede influir en el modo de ejecutar procesos tecnológicos de manera más eficiente. Para este caso se usó AISI 4140 en barra de 3/4", esto para prescindir del uso de una preparación inicial y especializada de la materia prima.

Los procesos que se ejecutaron durante la fase de preparación son refrentados para la corrección de imperfecciones en el material, y el tronzado de las barras puesto que la longitud inicial de las mismas es de 6 metros. La longitud de la materia prima obedece a la regla de que un mecanizado debe ejecutarse a una longitud máxima de 4 veces el espesor o el diámetro del material, por ende la materia prima inicial consta de barras de 60 mm de longitud.

Antes de iniciar con las fases descritas para la fabricación del elemento, es necesario una sub-fase de preparación del material en la cual se perfora la agujero excéntrico, de este modo se posibilita la sujeción del selector en la última fase. Aunque es una operación tecnológica, se considera una sub-fase ya que se ejecuta durante las operaciones de preparación del material en bruto y hasta este punto no existe ningún cambio o transferencia de material hacia otro husillo o máquina.

Tabla 39. Hoja de procesos PC-B.

ELEMENTO:		Selector 2RL														
PROYECTO:		Evaluación de implementación de torno de cabezal móvil para fabricación de selectores.														
HOJA DE PROCESO																
Fase	N° de Operación	Operación	Herramienta	Parámetros de corte												T de proceso [min]
				Vc [mm/min]	n [rpm]	L [mm]	ae [mm]	ap [mm]	Pc [KW]	f [mm/min]	fz [mm/diente]	Kc	$\eta$	z	# pases	
1	1	refrentado	T1	150	2508	9,53	N/A	3	0,07	0,6	N/A	2200	99%	1	1	0,20
1	2	Tronzado 1	T2	150	2508	9,53	N/A	3	0,03	0,3	N/A	2200	99%	1	1	0,80
1	3	agujero 1	T3	25	1327	40	5,00	2,00	0,54	80	0,02	2200	99%	2	3	5,00
2	4	Fresado 1	T4	25	1327	39	3,00	2,00	0,80	120	0,03	2200	99%	4	3	9,23
2	5	Fresado 2	T4	25	1327	39	3,00	2,00	0,80	120	0,03	2200	99%	4	3	9,23
2	6	Fresado 3	T4	25	1327	39	2,00	3,50	1,41	120	0,03	2200	99%	4	2	6,15
2	7	Fresado 4	T4	25	1327	39	1,00	1,00	0,40	120	0,03	2200	99%	4	4	12,31
2	8	Fresado 5	T4	25	1327	39	3,00	2,00	0,80	120	0,03	2200	99%	4	3	9,23
2	9	Fresado 6	T4	25	1327	39	2,00	0,30	0,14	140	0,03	2200	99%	4	1	3,59
2	10	Fresado 7	T4	25	1327	39	2,00	0,30	0,14	140	0,03	2200	99%	4	1	3,59
2	11	Fresado 8	T4	25	1327	39	5,00	0,60	0,24	120	0,03	2200	99%	4	2	6,15
2	12	Fresado 9	T4	25	1327	39	4,00	2,00	0,80	120	0,03	2200	99%	4	3	9,23
2	13	Fresado 10	T4	25	1327	39	3,00	1,00	0,35	105	0,03	2200	99%	4	3	8,08
3	14	Tronzado 2	T2	150	2508	9,53	N/A	3	0,03	0,3	N/A	2200	99%	1	1	0,80
Total tiempo Estimado de Corte por selector y por barra.									16,72				83,59			



UNIVERSIDAD SANTO TOMAS  
DIVISION DE INGENIERIAS  
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA



Bosquejo:

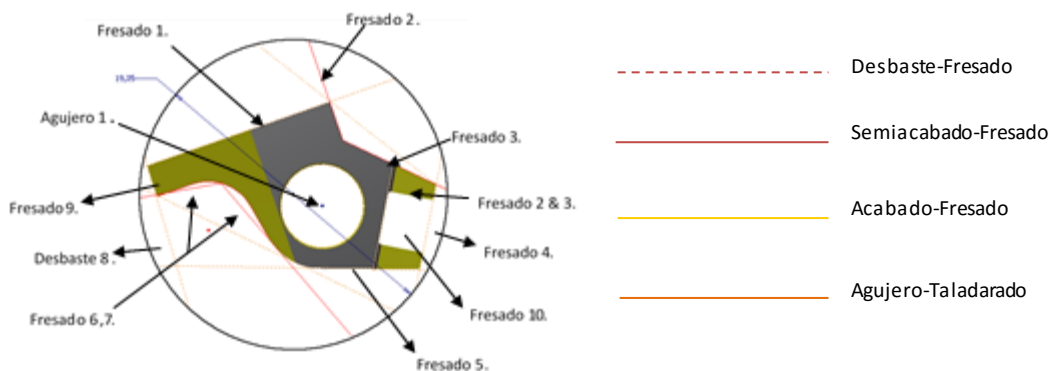


Tabla 40. Diagrama de flujo PC-B.

ACTIVIDAD					Nota: Las operaciones de fresado se extienden a lo largo de las barras de 30 cm.
No°	Op.	Trans.	Insp.	Dem.	
					Observaciones.
1					Alimentacion y fijacion de material (Torno).
2					Montaje y reglaje de herramienta de tronzado.
3					Corte de Barras a longitud de 30 cm
4					desmonatar material y montaje en fresadora (Divisor)
5					Desbaste y Acabado 1
6					Posicionamiento de cabezal divisor.
7					Desbaste 2
8					Posicionamiento de cabezal divisor.
9					Desbaste Acabado 7
10					Posicionamiento de cabezal divisor.
11					Desbaste Acabado 8
12					Posicionamiento de cabezal divisor.
13					Desbaste 3
14					Desbaste y acabado 9
15					Desbaste Y acabado 13.a y 13.b
16					Posicionamiento de cabezal divisor.
17					Desbaste 4
18					Posicionamiento de cabezal divisor.
19					Desbaste 5
20					Posicionamiento de cabezal divisor.
21					Desbaste y Acabado 10
22					Posicionamiento de cabezal divisor.
23					Desbaste Y acabado 11.
24					Desmontar matererial y montaje en torno (dispositivo de centrado)
25					Taladrado de agujero #1
26					Tronzado de Material fresado con longitud de 5 mm
27					Montaje de selector en dispositivo de cabezal divisor.
28					Desbaste y Acabado 12
29					Desmontaje de selector.

La planeación del proceso de producción se enfoca precisamente en la fabricación de piezas en serie, es decir: la fabricación de conjuntos de elementos del mismo tipo aprovechando una operación tecnológica para procesar varias piezas durante el mismo procedimiento (proceso). Mecanizar individualmente las piezas es una tarea en la que se pierde tiempo al cambiar la configuración de la máquina continuamente para ejecutar procesos repetitivos.

Enfocar un proceso de producción serial también hace referencia a reducir al máximo los tiempos muertos durante la fabricación de las pizas, sin perder el enfoque de la producción

flexible; el por qué es importante mantener un equilibrio entre la producción en cadena y la producción flexible.

Se generan dos hojas de proceso para la fabricación de los selectores, la primera es un homólogo a la estrategia aplicada a la manufactura en MHCN y la segunda es una estrategia de una sola fase en donde los elementos son trabajados individualmente, esto con motivo de mostrar durante los análisis la importancia de apoyarse sobre la tecnología para generar estrategias más eficientes.

El proceso de mecanizado convencional está dividido por fases, en donde se transforma el material en bruto preparándolo para la próxima fase, esta preparación hace referencia en ajustar la geometría para facilitar el próximo mecanizado, aproximar o terminar la pieza.

#### *5.2.1.1 Preparación del material en bruto.*

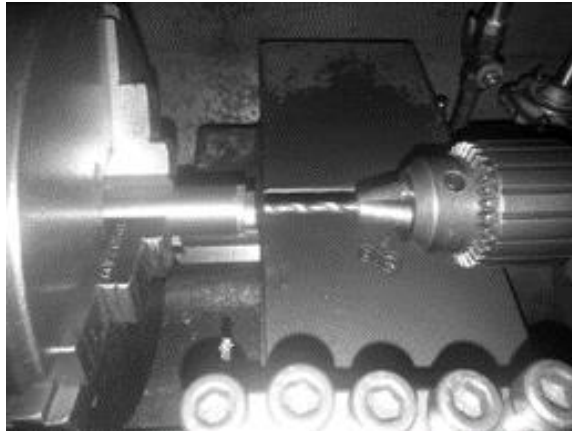
Aunque es posible alimentar el cabezal divisor con barras de 1 a 3 m de largo, es más eficiente si el montaje se realiza con tramos de la longitud que se considera fresar en voladizo más el sobre-material para sujetarlo con firmeza en la copa. Los tramos a cortar son barras con longitud de 3,5 pulgadas.

El diámetro de la barra está calibrado y aún se conserva material sobrante, el cual protege la geometría definitiva de las piezas, el material en bruto con límites cilíndricos provee una sujeción fácil y firme además de mantener centrada el material en la misma posición.

#### *5.2.1.2 Perforación excéntrica.*

La primera operación tecnológica realizada en una máquina herramienta convencional es un taladrado excéntrico, esta perforación ejecutada en un torno paralelo y una copa de mordazas independientes en el husillo, permite la sujeción Figura 39. El torno paralelo es más confiable a la hora de ejecutar operaciones cuya geometría tenga la restricción de paralelismo con un eje de simetría; el agujero debe estar perpendicular con las caras superior e inferior del selector.

Figura 39. Ejecucion de perforacion excentrica.



#### 5.2.1.3 Fresados longitudinales y fresado de ranuras.

La mayor parte de la hoja de proceso se basa en fresados longitudinales, este mecanizado es una operación en la que se desbasta material para generar una cara plana y paralela al plano XY de la máquina herramienta, el modo por el cual se posiciona el materia para fresar otra cara se hace por medio del cabezal divisor, con la capacidad de rotar el material y alinear la herramienta para ejecutar una próxima operación.

El fresado de contorno fue ejecutado durante un solo montaje, en el cual cada cara del poliedro fue alineada con el plano (XY) de la máquina, por medio de la rotación del cabezal divisor y el reposicionamiento del punto de inicio de las trayectorias.

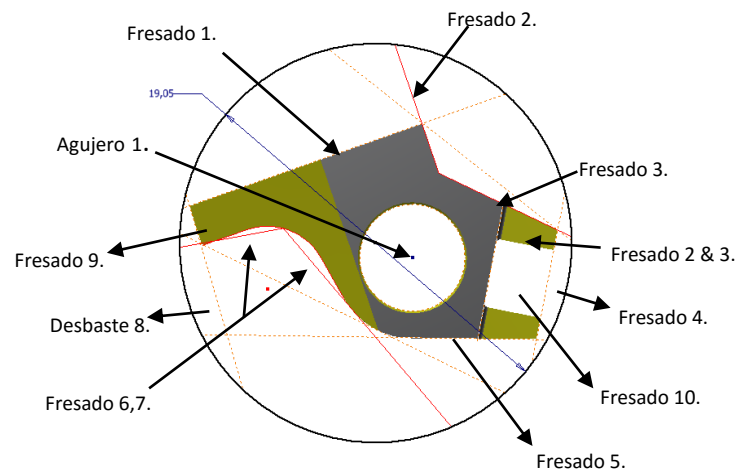
En la **Figura 40**, se muestra el orden en el que es removido el material de acuerdo al método de sus operaciones. El área inicial corresponde al área transversal de una barra con diámetro de  $\frac{3}{4}$ ", la cual por medio de un análisis de remoción de volúmenes y las delimitaciones pertinentes al proceso PC-B.

En estos procedimientos se sacrificó la vida de la herramienta para remover más volumen de material para reducir tiempos muertos. Esto hace más eficiente el proceso de producción, por que promueve un mayor contacto de la herramienta con el material sin la necesidad de hacer movimientos de reposicionamiento del IPW o de la herramienta.

Un indicador importante es la frecuencia con la que el material es removido, para mantener siempre en alto el indicador de productividad [Piezas/día] es necesario enfocar los procedimientos a mantener la mayor cantidad de tiempo la herramienta de corte en funcionamiento, disminuyendo al máximo u obviando los movimientos sin corte además de anular un proceso con más de un montaje.

Esta fase es la de mayor impacto sobre el proceso de producción, aunque no es una pieza terminada, da como resultado un insumo para las próximas fases en donde se producirán piezas de calidad y con un ritmo constante.

**Figura 40. Diagrama basado en modelos MRSEV orientado a procesos en serie.**



La longitud del fresado no tiene la necesidad de ser precisa, esta cota debe contener un conjunto de 8 selectores más el sobre-material destinado para la fase de tronzado, en caso de que esta longitud se extienda de lo recomendado en los planos y las hojas de proceso no se presentaran fallos durante los próximos procesos.

La **Figura 41**, muestra los mecanizados de contorno para el procedimiento orientado a la producción en serie en donde la periferia del selector es extruida una longitud de 60 mm. La longitud de la extrusión está pensada en el espesor de las piezas sumado a la cota del espesor de la herramienta de corte usada en la separación de la misma.

Figura 41. IPW de una serie de selectores.

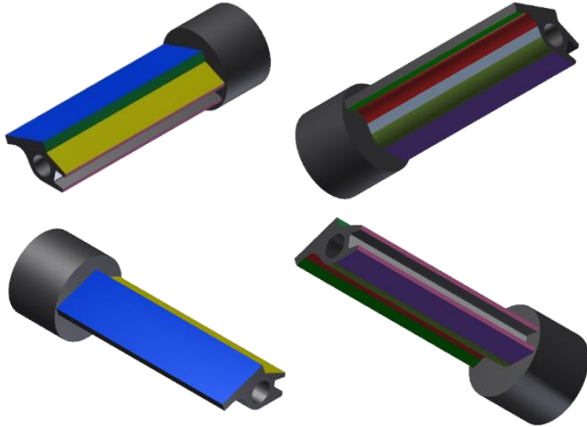


Figura 42. Mecanizado de contorno PC-B.



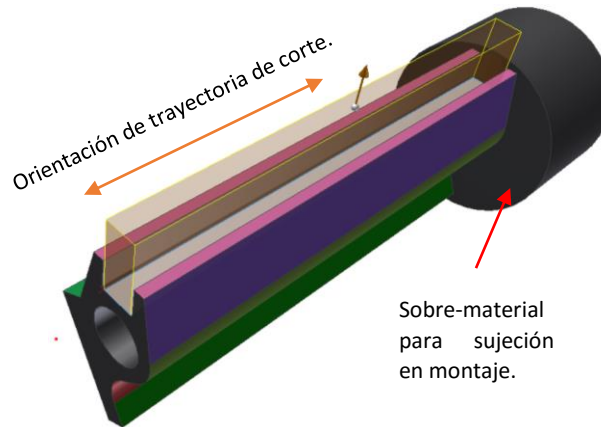
Esto puede significar que la inversión de recursos aumente y que una fracción de estos no genere ninguna utilidad. En este caso, el fresado de contorno de los selectores se hizo en conjunto, en donde también fueron fresadas zonas que no aportan ningún valor agregado a la pieza, pero, si agiliza el proceso de producción permitiendo ahorrar tiempo (por medio de sacrificar recursos: Potencia consumida, tiempo de vida de herramienta).

Esta sub-fase también está favorecida por ser ejecutada bajo el mismo montaje del procedimiento anterior (Fresado de contorno), en donde se mecanizó una ranura a lo largo del IPW (un volumen compartido si se superponen los MRSEV) que se basa en el mismo objetivo de sacrificar recursos para mejorar el proceso en función del tiempo de producción.

Se consideró una sub-fase por el hecho que solo se hizo un cambio de herramienta manteniendo el montaje sin alguna alteración. El procedimiento solo ajusta el eje de rotación una vez para alinear la herramienta con el plano en el que se mecaniza la ranura.

Según el análisis por volúmenes para la remoción de material como se muestra en la **Figura 43**, la orientación de la herramienta es perpendicular a la superficie de la operación, y las trayectorias de corte están guiadas sobre el eje X de la máquina.

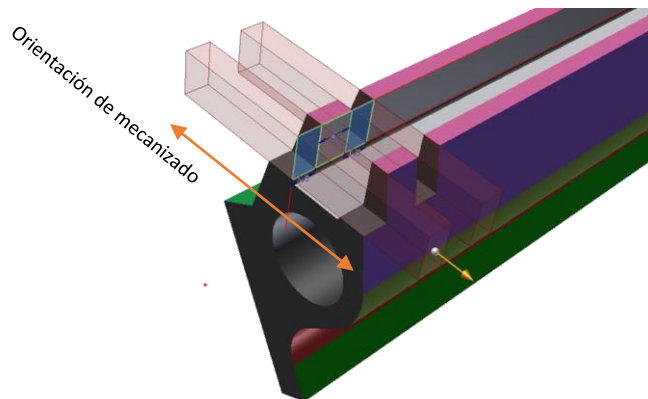
Figura 43. Volumen de material removido y orientación de corte para fresado de cajeras.



Se usó una herramienta fresadora de diámetro 3 mm de punta plana para efectuar un mecanizado con corte a favor o concordante con el giro de la herramienta en las paredes de la geometría (manteniendo el material a la izquierda de la herramienta), sin embargo es natural que durante el desbaste de la ranura la herramienta corte con el 100% del diámetro.

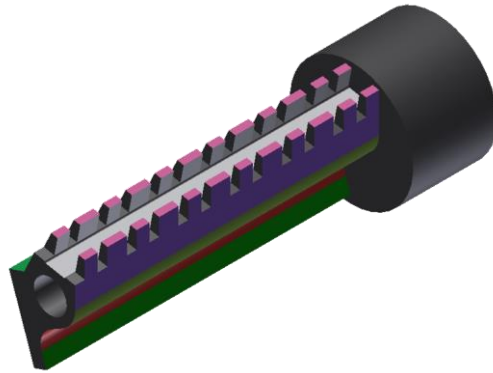
Para la terminación de esta sub-fase cuyas trayectorias orientadas con el eje Y de la máquina en donde se mecanizaron ranuras como se muestra en la **Figura 44**. Este mecanizado se efectuó con el 100% del diámetro de la herramienta y los parámetros de corte establecidos en la hoja de proceso referente a este sistema de producción.

Figura 44. Volumen de material removido y orientación de corte para fresado de cajeras.



Por medio de este procedimiento se talla la geometría del selector de acuerdo a lo diseñado según el MRSEV, orientado a la producción en serie y aprovechando un montaje para la ejecución de una operación que influye sobre varias piezas. Como resultado se obtiene el volumen que se ilustra en la **Figura 45**.

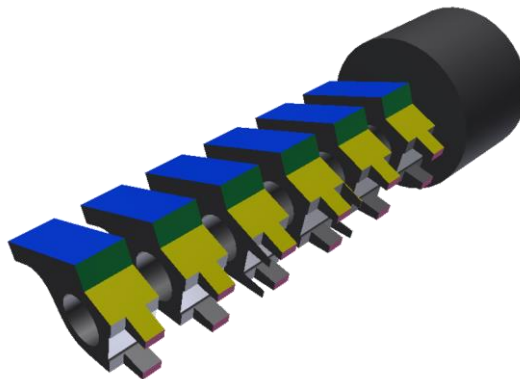
Figura 45. Geometría resultante de la fase de fresado de cajas.



#### 5.2.1.4 Tronzado

Se considera otra fase del proceso porque el inicio del mismo parte de la materia en bruto ya mecanizado con anterioridad, este procedimiento, además de separar los selectores y convertirlos en piezas individuales deja la pieza en un estado próximo a la terminación.

Figura 46. IPW de selectores en proceso de separación.



Esta es una fase en la cual la precisión del mecanizado debe estar controlado continuamente, el producto de esta fase es la tolerancia geometría y dimensional sobre el espesor del selector, el cual tiene una tolerancia de más o menos una centésima y la cara posterior de la pieza paralela a la frontal.

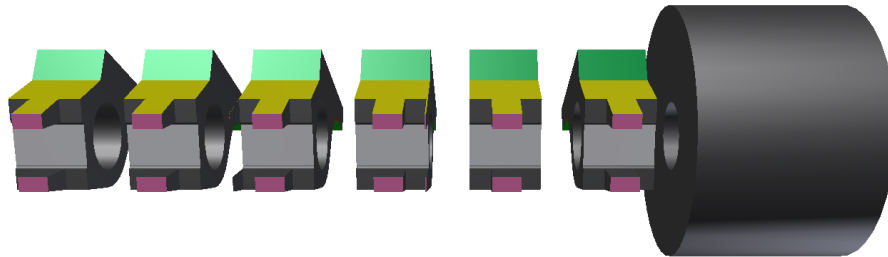
Los procedimientos usados en la fase de tronzado responden a un cambio sustancial dentro del sistema de producción debido al uso del torno paralelo para hacer más eficiente la operación. Normalmente una operación de torneado se ejecuta sobre piezas simétricas con respecto a un eje, pero en este caso y haciendo uso del sobre-material del IPW pensado para la sujeción del elemento como se muestra en la **Figura 47**, se ejecutó una operación de tronzado para separar las piezas.

**Figura 47. Tronzado de material en Bruto con contorno de mecanizado.**



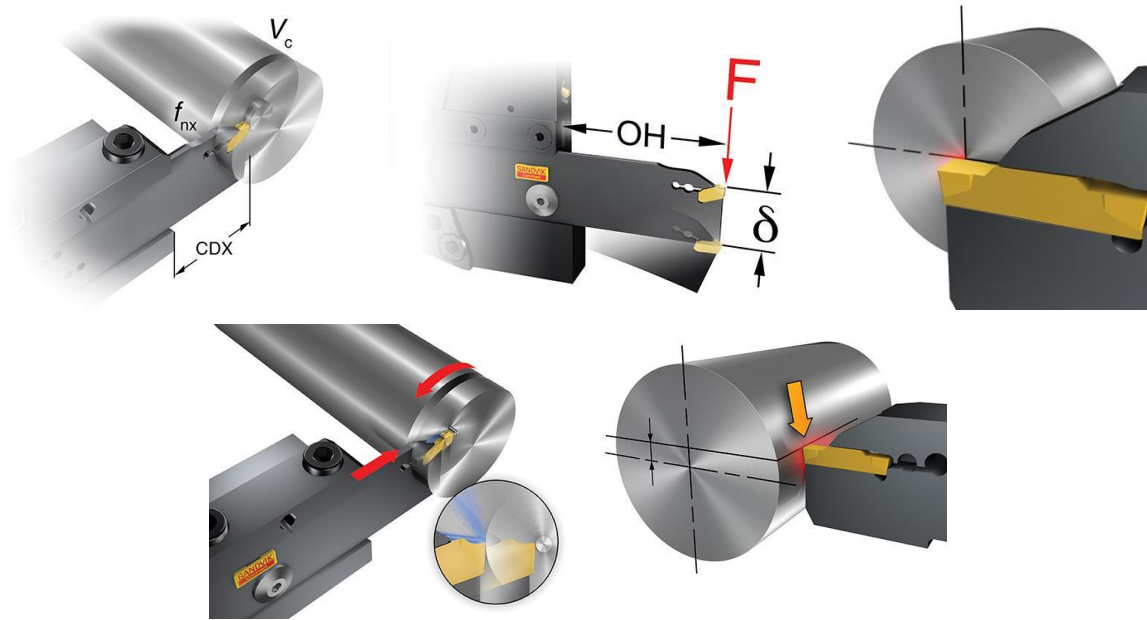
El montaje se realizó de manera simple para favorecer la rápida ejecución del mecanizado por medio de una copa auto-centrante de 3 mordazas en donde fue importante centrar el elemento. Es importante efectuar un buen montaje, de lo contrario el espesor del selector puede variar y dañar su calidad.

**Figura 48. Holgura de tronzado para mantener espesores.**



Una vez realizado el montaje y con los parámetros de corte referenciado en la hoja de procesos (PC-B) se procedió a la separación de las piezas como se muestra en la **Figura 48**, teniendo especial cuidado para conservar el espesor de los selectores.

Figura 49. Condiciones eficientes de corte para operación de tronzado.



Para una buena ejecución de la operación de tronzado se tuvo en cuenta el reducir el avance cuando la punta de la herramienta se acercó al punto cero y no sobrepasar este punto, cortar el flujo de refrigerante luego de que la herramienta inicio el corte, mantener una altura razonable de la lama de tronzado (0.1 mm) para evitar el material característico dejado por este tipo de mecanizado y mantener un voladizo de la herramienta corto [18]. Estos parámetros son mostrados en la **Figura 49**.

#### 5.2.1.5 Fresado Frontal

Este fresado requiere de una configuración distinta en la máquina fresadora, esto con el propósito de alinear la cara a mecanizar con uno de los ejes para poder efectuar el proceso, además de garantizar un método fácil de sujeción del elemento, garantizando un mecanizado de calidad y tallando la geometría precisa del selector.

Durante la ejecución de esta fase, los selectores están muy próximos a su geometría definitiva, con su características de prisma es un pieza difícil de sujetar el elemento por medio de herramientas convencionales, una prensa o una copa no funcionan de manera efectiva en estos casos.

Existen alternativas de sujeción como prensas magnéticas, pero, debido al poco volumen de la pieza trabajada y lo exigente del proceso no sería un método efectivo; las fuerzas ejercidas durante el proceso de mecanizado podrían mover el material causando desbastes de material erróneos con tolerancias y acabados no deseados.

En casos como este lo más conveniente es fabricar dispositivos que se ajusten a la pieza y que garantice que el elemento conserva su alineación con las trayectorias de mecanizado a realizar. Los dispositivos pueden llegar a ser mordazas con el negativo de la pieza o un sub-montaje que aproveche algunas operaciones preliminares para ubicar y fijar los selectores.

Por la forma en que se distribuyen los elementos a lo largo de la barra es muy difícil ejecutar una operación que tenga la capacidad de fresar los planos inclinados de todas las piezas. Para que este procedimiento pueda considerarse parte de la producción en serie, es necesario fabricar un dispositivo con la capacidad de sujetar de manera rápida y precisa el selector.

El procedimiento es el mismo que el ejecutado en el proceso de fabricación de selectores PC-A.

### 5.2.2 DISPOSITIVOS

Durante el procedimiento PC-B, también son usadas las pinzas o boquillas convencionales del mismo modo que se usaron en el anterior procedimiento (PC-A). Uno de los limitantes en los montajes sobre MHCH son el uso de tecnologías comunes en la industria actual de este modo es posible mantener otras variables constantes para mantener el enfoque del proyecto.

El componente que más resalta en el procedimiento PC-B es un cabezal divisor Vertex BS-2 **Figura 50**, el cual permite la ejecución de la hoja de procesos PC-B, por medio de este dispositivo anclado sobre la mesa del taladro fresador se suman 2 ejes a la máquina herramienta.

Figura 50. Cabezal divisor Vertex BS-2.



Aunque es un dispositivo común, su uso restringe enormemente el volumen de cualquier máquina herramienta, lo cual representa una pérdida en las características de flexibilidad sobre los métodos

de producción. Un cabezal divisor permite posicionar un elemento de manera precisa con respecto a un eje de rotación, el cual puede variar con respecto al plano horizontal de la máquina.

### 5.2.3 TIEMPOS DE MANUFACTURA

#### 5.2.3.1 *Tiempos Generales:*

El tiempo promedio de fabricación de un selector por medio de la ejecución del procedimiento PC-B mostrado en la Tabla 41, es de 68,49 minutos (1,14 horas), la principal reducción se enfoca en minimizar el número de montajes por medio de un dispositivo que permita el reposicionamiento de la pieza sin la necesidad de que esta sea desmontada de la fresadora.

En los tiempos de montaje y configuración de la máquina los cuales son casi nulos en comparación al tiempo de fabricación se percibe una ganancia considerable. El inconveniente con este sistema de producción se enfoca en los tiempos de movimiento sin corte  $T_s$ , los cuales representan un gran reto para las tecnologías convencionales MHCH.

**Tabla 41. Tiempos Generales en PC-B.**

Selector N°	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU
1	111,9	23,01	8,36	65,5	17,08	90,14
2	57,29	24,92	0	0	16,77	32,7
3	58,98	26,1	0	0	16,72	32,24
4	58,5	26,56	0	0	16,55	32,37
5	55,78	23,01	0	0	16,9	32,55

#### 5.2.3.1.1 Corte de Barras, Fase #1:

Proponer una fase en la cual no es crucial la precisión en las operaciones resulta ser rentable debido a que por medio de una operación que no requiere invertir mucho tiempo se puede generar valor agregado.

El procedimiento PC-B aunque es pensado para una producción en serie de selectores, mantiene una connotación de producción discreta. El modo de la alimentación de la materia prima no puede ser continuo en las máquinas convencionales por ende siempre existirán lapsos de tiempos muertos.

Por esta razón se planeó tronzar barras de una longitud establecida para la ejecución de las fases siguientes sobre grupos de selectores. Las Tabla 42 Tabla 46, muestran los tiempos de proceso para la preparación de 5 barras.

A comparación del anterior procedimiento (PC-A), fue necesario solamente de una fase para la preparación del material en bruto, lo cual reduce considerablemente los tiempos de manufactura y los costos de producción, los cuales serán analizados en el capítulo 4 y 5.

**Tabla 42. Tiempos parciales B1F1 (Barra 1 – Fase 1).**

Barra #1	Corte de barras					
Fase #1	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Corte	5,1	0,2	1,4	3,5	0,6	5,6
Refrentado	0,5	0,2	0,0	0,3	0,6	0,9
Totales	5,6	0,4	1,4	3,8	1,3	6,5

**Tabla 43. Tiempos parciales B2F1 (Barra 2 – Fase 1).**

Barra #2	Corte de barras					
Fase #1	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Corte	5,7	0,2	1,3	4,2	0,5	6,1
Refrentado	0,4	0,2	0,0	0,2	0,6	0,8
Totales	6,1	0,3	1,3	4,5	1,1	6,9

**Tabla 44. Tiempos parciales B3F1 (Barra 3 – Fase 1).**

Barra #3	Corte de barras					
Fase #1	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Corte	5,5	0,2	1,7	3,6	0,6	6,0
Refrentado	0,4	0,2	0,0	0,2	0,6	0,8
Totales	5,9	0,3	1,7	3,8	1,2	6,8

**Tabla 45. Tiempos parciales B4F1 (Barra 4 – Fase 1).**

Barra #4	Corte de barras					
Fase #1	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Corte	5,7	0,2	1,4	4,2	0,6	6,1
Refrentado	0,4	0,2	0,0	0,2	0,5	0,7
Totales	6,1	0,4	1,4	4,4	1,1	6,9

**Tabla 46. Tiempos parciales B5F1 (Barra 5 – Fase 1).**

Barra #5	Corte de barras					
Fase #1	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Corte	5,5	0,1	1,6	3,7	0,6	6,0
Refrentado	0,5	0,2	0,0	0,3	0,5	0,8
Totales	5,9	0,3	1,6	4,0	1,1	6,8

#### 5.2.3.1.2 Fresado de contorno, Fase #2:

El objetivo de esta fase se basa en el modo de anular al máximo los tiempos de montaje y configuración de la máquina herramienta, además de que los tiempos consignados en las Tabla 47 y Tabla 51, hacen referencia a una serie de 5 selectores.

Otra mejoría con respecto al anterior procedimiento en MHCH, es la reducción de tiempos de corte, esto se debe al mejoramiento en las condiciones en el montaje. Al garantizar un montaje más rígido la remoción de material es más eficiente, además de salvaguardar la vida de la herramienta.

**Tabla 47. Tiempos parciales B1F2 (Barra 1 – Fase 2).**

<b>Barra # 1</b>	<b>Fresado de Contorno</b>					
<b>Fase # 2</b>	<b>To [min]</b>	<b>Tc [min]</b>	<b>TM [min]</b>	<b>Tf [min]</b>	<b>Ts [min]</b>	<b>TMU [min]</b>
<b>Fresado 1.</b>	8,81	1,92	2,87	3,08	0,94	6,89
<b>Acabado 1.</b>	1,27	0,28	0	0	0,99	0,99
<b>Fresado 2.</b>	3,49	2,4	0	0	1,09	1,09
<b>Acabado 2.</b>	1,45	0,25	0	0	1,2	1,2
<b>Acabado 3.</b>	1,28	0,29	0	0	0,99	0,99
<b>Fresado 3.</b>	1,7	0,76	0	0	0,94	0,94
<b>Fresado 4.</b>	1,93	0,94	0	0	0,99	0,99
<b>Acabado 4.</b>	1,07	0,32	0	0	0,75	0,75
<b>Fresado 5.</b>	1,25	0,21	0	0	1,04	1,04
<b>Acabado 5.</b>	1,26	0,23	0	0	1,03	1,03
<b>Fresado 6.</b>	1,45	0,51	0	0	0,94	0,94
<b>Totales</b>	24,96	8,11	2,87	3,08	10,9	16,85

**Tabla 48. Tiempos parciales B2F2 (Barra 2 – Fase 2).**

<b>Barra # 2</b>	<b>Fresado de Contorno</b>					
<b>Fase # 2</b>	<b>To [min]</b>	<b>Tc [min]</b>	<b>TM [min]</b>	<b>Tf [min]</b>	<b>Ts [min]</b>	<b>TMU [min]</b>
<b>Fresado 1.</b>	10,52	3,02	3,67	2,99	0,84	7,5
<b>Acabado 1.</b>	1,13	0,2	0	0	0,93	0,93
<b>Fresado 2.</b>	2,9	1,74	0	0	1,16	1,16
<b>Acabado 2.</b>	1,2	0,3	0	0	0,9	0,9
<b>Acabado 3.</b>	1,01	0,24	0	0	0,77	0,77
<b>Fresado 3.</b>	1,68	0,76	0	0	0,92	0,92
<b>Fresado 4.</b>	1,88	0,98	0	0	0,9	0,9
<b>Acabado 4.</b>	1,17	0,38	0	0	0,79	0,79
<b>Fresado 5.</b>	1,07	0,23	0	0	0,84	0,84
<b>Acabado 5.</b>	1,24	0,21	0	0	1,03	1,03
<b>Fresado 6.</b>	1,51	0,52	0	0	0,99	0,99
<b>Totales</b>	25,31	8,58	3,67	2,99	10,07	16,73

Tabla 49. Tiempos parciales B3F2 (Barra 3 – Fase 2).

Barra # 3	Fresado de Contorno					
Fase # 2	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado 1.	10,51	2,46	3,78	3,55	0,72	8,05
Acabado 1.	1,17	0,4	0	0	0,77	0,77
Fresado 2.	3,88	3,05	0	0	0,83	0,83
Acabado 2.	1,05	0,27	0	0	0,78	0,78
Acabado 3.	1,42	0,28	0	0	1,14	1,14
Fresado 3.	1,46	0,75	0	0	0,71	0,71
Fresado 4.	1,93	0,9	0	0	1,03	1,03
Acabado 4.	1,29	0,39	0	0	0,9	0,9
Fresado 5.	1,25	0,37	0	0	0,88	0,88
Acabado 5.	1,08	0,21	0	0	0,87	0,87
Fresado 6.	1,66	0,61	0	0	1,05	1,05
Totales	26,7	9,69	3,78	3,55	9,68	17,01

Tabla 50. Tiempos parciales B4F2 (Barra 4 – Fase 2).

Barra # 4	Fresado de Contorno					
Fase # 2	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado 1.	9,8	2,1	3,67	3,27	0,76	7,7
Acabado 1.	1,12	0,38	0	0	0,74	0,74
Fresado 2.	3,88	2,85	0	0	1,03	1,03
Acabado 2.	1,37	0,28	0	0	1,09	1,09
Acabado 3.	0,95	0,24	0	0	0,71	0,71
Fresado 3.	1,51	0,77	0	0	0,74	0,74
Fresado 4.	1,79	0,93	0	0	0,86	0,86
Acabado 4.	1,34	0,39	0	0	0,95	0,95
Fresado 5.	1,67	0,47	0	0	1,2	1,2
Acabado 5.	1,05	0,23	0	0	0,82	0,82
Fresado 6.	1,39	0,58	0	0	0,81	0,81
Totales	25,87	9,22	3,67	3,27	9,71	16,65

Tabla 51. Tiempos parciales B5F2 (Barra 5 – Fase 2).

Barra # 5	Fresado de Contorno					
Fase # 2	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado 1.	9,68	2,02	3,24	3,35	1,07	7,66
Acabado 1.	1,45	0,34	0	0	1,11	1,11
Fresado 2.	3,97	3,06	0	0	0,91	0,91
Acabado 2.	1,1	0,24	0	0	0,86	0,86
Acabado 3.	0,96	0,2	0	0	0,76	0,76
Fresado 3.	1,88	0,9	0	0	0,98	0,98
Fresado 4.	1,95	0,89	0	0	1,06	1,06
Acabado 4.	1,42	0,36	0	0	1,06	1,06
Fresado 5.	1,32	0,46	0	0	0,86	0,86
Acabado 5.	1,4	0,2	0	0	1,2	1,2
Fresado 6.	1,4	0,61	0	0	0,79	0,79
Totales	26,53	9,28	3,24	3,35	10,66	17,25

#### 5.2.3.1.3 Fresado de cajas, Fase #3:

Aunque conserva la misma dinámica de la fase anterior, este procedimiento es considerado otra fase por ejecutar 3 operaciones tecnológicas sin variar la posición del selector. Por esta razón los tiempos de montaje permanecen nulos.

El tiempo de configuración de la maquina  $T_F$  hace referencia únicamente al trabajo de reposicionamiento inicial del IPW, mientras el tiempo de movimientos en vacío se mantienen similares durante la fase. Estos tiempos son difíciles de minimizar puesto que dependen de la habilidad del operario.

En las Tabla 52 a Tabla 56, se encuentran consignados los tiempos de operación de la fase #3 ejecutada sobre 5 barras.

Tabla 52. Tiempos parciales B1F3 (Barra 1 – Fase 1).

Barra #1	Fresado de cajas					
Fase #3	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU [min]
Fresado 10	4,9	1,17	0	2,94	0,79	3,73
Fresado 2	5,61	4,77	0	0	0,84	0,84
Fresado 3	4,86	4,05	0	0	0,81	0,81
Totales	15,37	9,99	0	2,94	2,44	5,38

**Tabla 53. Tiempos parciales B2F3 (Barra 2 – Fase 1).**

Barra #2	Fresado de cajas					
Fase #3	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Fresado 10	5,15	1,26	0	2,91	0,98	3,89
Fresado 2	5,66	4,59	0	0	1,07	1,07
Fresado 3	6,83	5,94	0	0	0,89	0,89
Totales	17,64	11,79	0	2,91	2,94	5,85

**Tabla 54. Tiempos parciales B3F3 (Barra 3 – Fase 1).**

Barra #3	Fresado de cajas					
Fase #3	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Fresado 10	5,64	1,08	0	3,56	1	4,56
Fresado 2	5,64	4,59	0	0	1,05	1,05
Fresado 3	7,05	5,85	0	0	1,2	1,2
Totales	18,33	11,52	0	3,56	3,25	6,81

**Tabla 55. Tiempos parciales B4F3 (Barra 4 – Fase 1).**

Barra #4	Fresado de cajas					
Fase #3	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Fresado 10	6,01	1,62	0	3,5	0,89	4,39
Fresado 2	6,69	5,85	0	0	0,84	0,84
Fresado 3	5,86	5,04	0	0	0,82	0,82
Totales	18,56	12,51	0	3,5	2,55	6,05

**Tabla 56. Tiempos parciales B5F3 (Barra 5 – Fase 1).**

Barra #5	Fresado de cajas					
Fase #3	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Fresado 10	5,62	1,62	0	2,93	1,07	4
Fresado 2	4,54	3,78	0	0	0,76	0,76
Fresado 3	4,57	3,69	0	0	0,88	0,88
Totales	14,73	9,09	0	2,93	2,71	5,64

#### 5.2.3.1.4 Tronzado de selectores, Fase #4:

Esta fase depende en mayor medida del desplazamiento del personal, el cual está ligado a la distribución de la planta. Para omitir el impacto de este factor, las maquinas herramientas (Torno paralelo y Taladro fresador) están a una distancia de 2 metros.

En las Tabla 57Tabla 61 están consignados los tiempos referentes a la operación de tronzado para 5 selectores sobre un IPW. A pesar de ser una operación sencilla, la configuración de la máquina que garantiza la precisión sobre el espesor del selector es fundamental.

**Tabla 57. Tiempos parciales S1F4 (Selector 1 – Fase 4).**

Selector #1	Tronzado de selector					
Fase #4	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Tronzado	7,81	0,83	1,8	4,91	0,27	6,98
Refrentado	0,43	0,21	0	0	0,22	0,22
Totales	8,24	1,04	1,8	4,91	0,49	7,2

**Tabla 58. Tiempos parciales S2F4 (Selector 2 – Fase 4).**

Selector #2	Tronzado de selector					
Fase #4	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Tronzado	1	0,77	0	0	0,23	0,23
Refrentado	0,4	0,2	0	0	0,2	0,2
Totales	1,4	0,97	0	0	0,43	0,43

**Tabla 59. Tiempos parciales S3F4 (Selector 3 – Fase 4).**

Selector #3	Tronzado de selector					
Fase #4	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Tronzado	0,97	0,71	0	0	0,26	0,26
Refrentado	0,47	0,24	0	0	0,23	0,23
Totales	1,44	0,95	0	0	0,49	0,49

**Tabla 60. Tiempos parciales S4F4 (Selector 4 – Fase 4).**

Selector #4	Tronzado de selector					
Fase #4	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Tronzado	0,94	0,72	0	0	0,22	0,22
Refrentado	0,46	0,24	0	0	0,22	0,22
Totales	1,4	0,96	0	0	0,44	0,44

**Tabla 61. Tiempos parciales S5F4 (Selector 5 – Fase 4).**

Selector #5	Tronzado de selector					
Fase #4	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Tronzado	0,94	0,67	0	0	0,27	0,27
Refrentado	0,56	0,28	0	0	0,28	0,28
Totales	1,5	0,95	0	0	0,55	0,55

#### 5.2.3.1.5 Fresado de plano inclinado, Fase #5:

La operación de la fase 5, es la más especializada en el proceso PC-B, debido a que es necesario personalizar el montaje para facilitar el modo de sujeción del material en bruto. Por ende el tiempo total de operación depende en mayor medida de la configuración de la máquina.

Se puede percibir fácilmente que en las máquinas convencionales a mayor complejidad en una operación o montaje es más dispendioso la ejecución. En las Tabla 62 Tabla 66 se enumera el tiempo de operación de fresado de plano inclinado, en donde el tiempo de configuración de la máquina es aproximadamente un 82% del tiempo total de la operación.

**Tabla 62. Tiempos parciales S1F5 (Selector 1 – Fase 5).**

Selector #1	Fresado de Plano inclinado					
Fase # 5	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Fresado 9	57,74	3,5	1,46	50,78	2	54,24
Totales	57,74	3,5	1,46	50,78	2	54,24

**Tabla 63. Tiempos parciales S2F5 (Selector 2 – Fase 5).**

Selector #2	Fresado de Plano inclinado					
Fase # 5	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Fresado 9	6,81	3,24	1,82	0	1,75	3,57
Totales	6,81	3,24	1,82	0	1,75	3,57

**Tabla 64 Tiempos parciales S3F5 (Selector 3 – Fase 5).**

Selector #3	Fresado de Plano inclinado					
Fase # 5	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Fresado 9	6,65	3,6	1,41	0	1,64	3,05
Totales	6,65	3,6	1,41	0	1,64	3,05

**Tabla 65. Tiempos parciales S4F5 (Selector 4 – Fase 5).**

Selector #4	Fresado de Plano inclinado					
Fase # 5	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Fresado 9	6,74	3,51	1,71	0	1,52	3,23
Totales	6,74	3,51	1,71	0	1,52	3,23

**Tabla 66. Tiempos parciales S5F5 (Selector 5 – Fase 5).**

Selector #5	Fresado de Plano inclinado					
Fase # 5	TO [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Fresado 9	7,09	3,79	1,54	0	1,76	3,3
Totales	7,09	3,79	1,54	0	1,76	3,3

#### 5.2.4 ANALISIS DE MONTAJE

Por medio de este análisis se muestran las desventajas que tiene la tecnología convencional, mediante al proceso PC-B, el montaje es menos rígido debido al voladizo del material, el cual se planeó de esta forma para disminuir el número de montajes.

Aunque se considera un sistema de producción en cadena y continuo, se ve limitado por el número de elementos que pueden ser tratados de forma simultánea. Esta limitación esta denotada por el máximo voladizo al que se someten las operaciones de fresado, lo cual impacta de manera directa sobre la calidad del selector.

Los parámetros de corte para estudiar la rigidez del montaje para la operación PC-B son los mostrados en la Figura 51. Por medio de estas constantes fue posible determinar la fuerza de corte resultante.

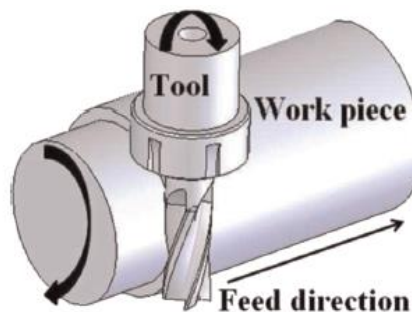
Figura 51. Parámetros de corte en PC-B.

Vc	r <sub>t</sub>	n <sub>t</sub>	f	a <sub>e</sub>	F	K <sub>tc</sub>	K <sub>rc</sub>	K <sub>ac</sub>	K <sub>te</sub>	K <sub>re</sub>	K <sub>ae</sub>
270	3	2000	190	0	177	1537	507	460	150	150	6,7

La fuerza resultante en un proceso de fresado axial es calculada de la misma manera que el procedimiento anterior, la diferencia radica en la cinemática del proceso, puesto que en este caso la distribución de esfuerzos es más eficiente a lo largo del filo de la herramienta.

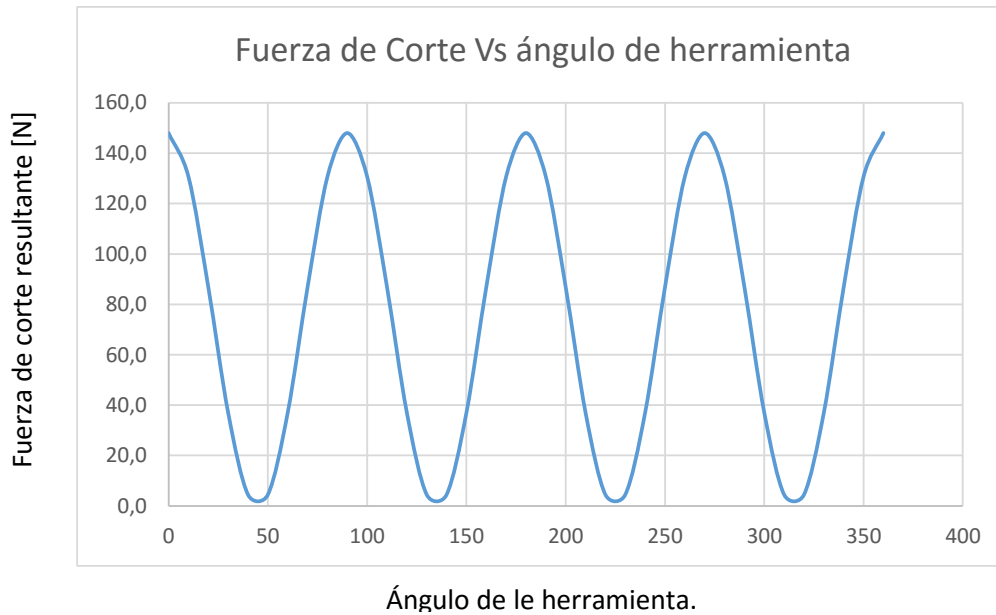
En la **Figura 52**, se muestra la configuración del montaje, en donde es apreciable un mejor uso de la herramienta, pero, que sobrecarga el voladizo del material en bruto. En consecuencia los mecanizados que se encuentran más alejados del apoyo tienden a presentar inconvenientes en temas de acabado y precisión.

Figura 52. Proceso de Fresado tangencial o radial.



El comportamiento de la fuerza resultante, es alternante y tiene su punto máximo cuando el filo de la herramienta inicia el proceso de corte. En la **Figura 53**, se muestra el comportamiento de la fuerza de corte resultante con respecto a la posición de los filos de corte.

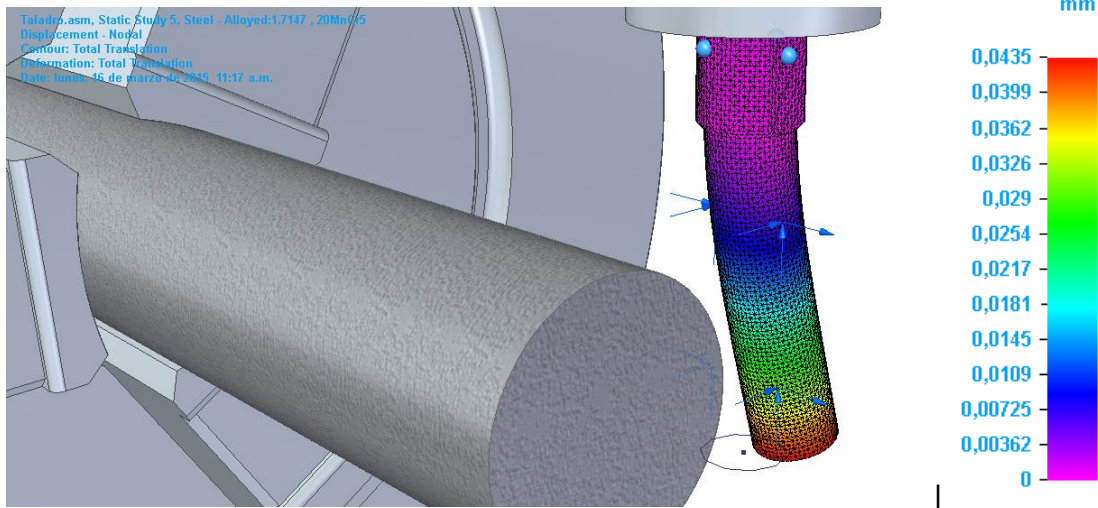
Figura 53. Fuerza de corte Vs ángulo de la herramienta.



Por medio de la simulación de la deformación de la herramienta y el material en bruto durante el proceso de corte, es posible determinar la rigidez del montaje. La deformación máxima de la herramienta se da cuando un filo de la herramienta entra en contacto con el material, sin embargo en este caso, la envolvente de la herramienta permite que los filos anterior y posterior tengan un contacto mínimo con el material.

Este caso en particular no tiene mayor efecto sobre la herramienta, puesto que la se aplica una fuerza distribuida a lo largo de la herramienta, sobre la extensión de corte de la operación. En la **Figura 54** se muestra la deformación de la herramienta, cuando se somete a un fresado radial, en donde la deformación de la herramienta es menor a comparación de la operación de fresado axial.

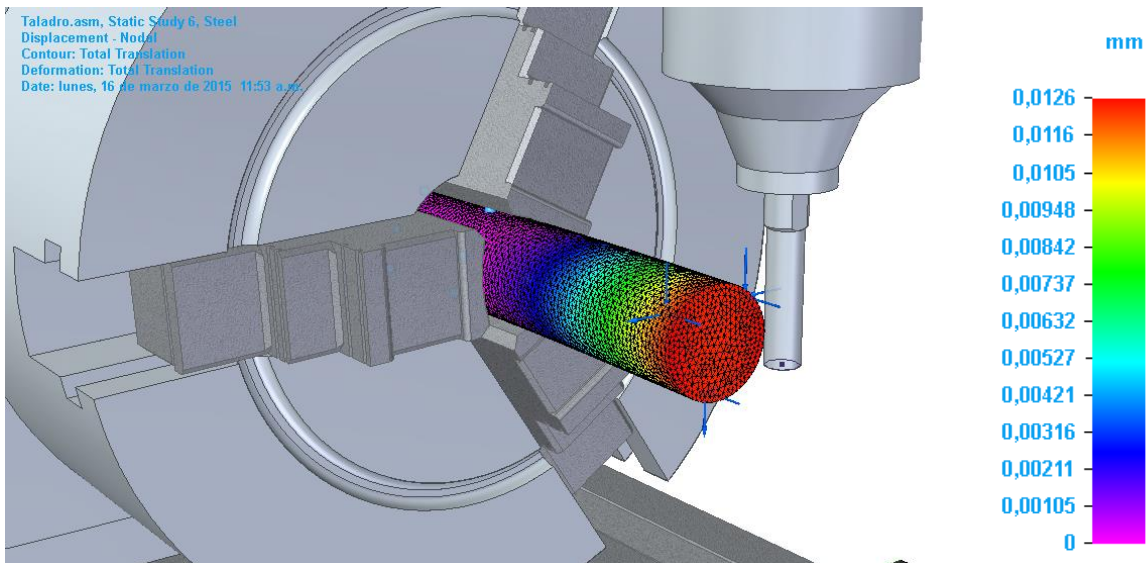
Figura 54. Deformación de la herramienta en fresado radial.



En cuanto a la deformación del material, si es visible un desmejoramiento en la calidad de las operaciones. El voladizo entre las mordazas de la copa y el extremo del material genera condiciones desfavorables para el proceso, como resultado, la vibración en la operación aumenta y el acabado es más rugoso.

En la **Figura 55**, se aprecia la deformación del material, en donde la fuerza resultante del proceso es aplicada sobre el centroide del área proyectada de la herramienta. La deformación máxima en la punta es de 0,01286 mm, lo cual sumado con la deformación de la herramienta y la frecuencia con la que estas fuerzas se alternan, da como resultado un montaje poco rígido.

Figura 55. Deformación de material en proceso de fresado radial.



El cambio en la configuración de la máquina, añadiendo el cabezal divisor y orientando la operación a ejecutar un corte radial con la herramienta, es visible la pérdida de rigidez del montaje. Las deflexiones tanto en la herramienta como en el material son muy similares a las obtenidas en el montaje PC-A.

**Tabla 67. Factor de rigidez PC-B.**

Error de maquina [mm]	Error de herramienta [mm]	$\Delta l$ [mm]	$F_r$ [N]	$K$
0,03	0,03048	0,0561	145	1243,78

Por otro lado la fuerza resultante de corte en este proceso es mayor, lo que incrementa el factor de rigidez en un 30%. Por la configuración de este montaje, el primer selector es el que tendrá la deformación máxima, como se muestra en la Figura 55, los 4 selectores consiguientes disminuirán su factor de rigidez hasta valores que garantizan una mejor terminación del elemento, como se muestra en la Tabla 68. Factor de rigidez final PC-B. Tabla 68.

**Tabla 68. Factor de rigidez final PC-B.**

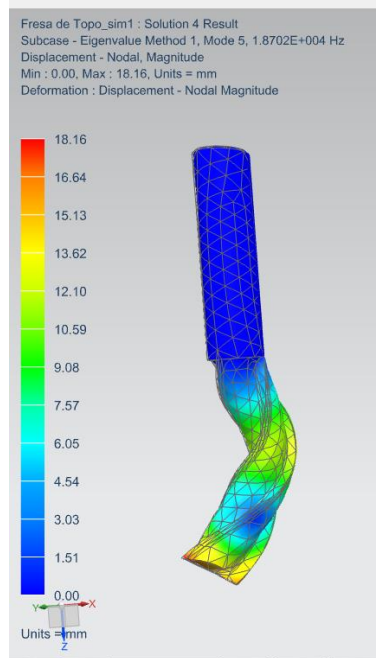
Error de maquina [mm]	Error de herramienta [mm]	$\Delta l$ [mm]	$F_r$ [N]	$K$
0,03	0,03048	0,04877	145	1327,23

#### 5.2.5 ANÁLISIS DE VIBRACION DE HERRAMIENTA EN MONTAJE PC-B.

El comportamiento de la herramienta durante un fresado radial o con el canto de la misma, como los usados en los procedimientos del montaje PC-B y PA-A, es más eficiente en términos de vibración. En la Figura 56, se muestra el caso crítico en el que la herramienta está en una condición de la frecuencia natural. Para este caso la herramienta sometida a 86,66 Hz garantiza una buena estabilidad durante el proceso.

Otro punto favorable para el procedimiento PC-B es la masa que se incluye en el montaje, puesto que el material en bruto sumado al cabezal divisor sumado a distancias mínimas de voladizo, minimizan la vibración producida durante el corte de material.

**Figura 56. Frecuencia Natural de herramienta en fresado radial.**



En este caso, las deformaciones se distribuyen de manera homogénea a lo largo de los filos de la herramienta y por ende son menores a comparación de las deformaciones presentadas durante el montaje PC-A.

#### 5.2.6 ANALISIS DE COSTOS

El procedimiento PC-B en función del tiempo, es más eficiente en un 57% aproximadamente con respecto al procedimiento PC-A, sin embargo, comparando este resultado con un análisis de costos es apreciable que la inversión es más del doble y por ende no justifica del todo la ampliación de métodos convencionales para la fabricación de selectores.

En las tablas 54 a 57, se especifican los costos asociados a la producción de selectores con la participación repartida según se lo define el proceso convencional PC-B. En este caso el valor de la hora máquina varía con respecto a la participación de las máquinas en los procedimientos ejecutados.

Para evaluar la participación de las máquinas herramientas se relaciona el tiempo total de fabricación promedio de un selector con el tiempo en el que cada máquina

**Tabla 69. Depreciación de Máquinas herramientas.**

Maquina	Torno Paralelo									
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Saldo	\$ 38.500.000	\$ 31.955.000	\$ 25.564.000	\$ 20.451.200	\$ 16.360.960	\$ 13.088.768	\$ 10.471.014	\$ 8.376.812	\$ 6.701.449	\$ 5.361.159
Depreciación	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000	\$ 5.775.000
Valor de salvamento.			\$ 5.775.000							

Maquina	Taladro Fresador									
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Saldo	\$ 15.000.000	\$ 12.450.000	\$ 9.960.000	\$ 7.968.000	\$ 6.374.400	\$ 5.099.520	\$ 4.079.616	\$ 3.263.693	\$ 2.610.954	\$ 2.088.763
Depreciación	\$ 2.250.000	\$ 2.250.000	\$ 2.250.000	\$ 2.250.000	\$ 2.250.000	\$ 2.250.000	\$ 2.250.000	\$ 2.250.000	\$ 2.250.000	\$ 2.250.000
Valor de salvamento.			\$ 2.250.000							

Maquina	Cabezal Divisor									
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Saldo	\$ 4.000.000	\$ 3.320.000	\$ 2.656.000	\$ 2.124.800	\$ 1.699.840	\$ 1.359.872	\$ 1.087.898	\$ 870.318	\$ 696.254	\$ 557.004
Depreciación	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 600.000	\$ 600.000
Valor de salvamento.			\$ 600.000							

**Tabla 70. Costo de mantenimiento Estimado PC-B.**

Maquinas	Horas Mantenimiento	Participacion	Costo al año por maquina
Taladro Fresador	42	39%	\$ 491.400
Torno	42	22%	\$ 277.200
Cabezal divisor	10	39%	\$ 117.000

En la Tabla 71, la mayor participación dentro del procedimiento es intervenida por el taladro fresador y el cabezal divisor, dejando solo el 22% del procedimiento para el torno paralelo, lo cual en relación con el costo de hora máquina denota la factibilidad de adquisición de más maquinas convencionales que aporten al procedimiento.

**Tabla 71. Costo estimado de consumo energético.**

Maquina	Horas Trabajadas al año	Potencia Maquina [KW]	Consumo al año Maquina	Participacion	Costo al año por maquina
Taladro Fresador	2099	1,5	3148,5	39%	\$ 1.101.975
Torno Paralelo	2099	6	12594	22%	\$ 4.407.900
Cabezal Divisor	2099	0	0	39%	\$ 0
<b>Total consumo</b>	<b>\$ 5.509.875</b>				

Tabla 72. Arriendo estimado anual.

Maquina	Area [m <sup>2</sup> ]	Factor	Costo x año
Taladro Fresador	3	0,15	\$ 4.500.000
Torno Paralelo	9	0,45	\$ 13.500.000
<b>Total área</b>	<b>12</b>	<b>0,6</b>	
<b>Costo total</b>			<b>\$ 18.000.000</b>

En la Tabla 73, Tabla 74 y Tabla 75, se muestra el cálculo del costo de la hora máquina dependiendo del número de horas efectivas de servicio. Es visible la diferencia entre los costos de hora máquina entre el torno y el taladro fresador, los cuales son inversamente proporcionales a su participación en la producción de selectores.

Tabla 73. Hora máquina T. Fresador PC-B

Maquina	Taladro Fresado	Horas habiles al año	2920
Vida Util	10	Horas domingos y festivos	560
Area ocupada	3 m <sup>2</sup>	Capacidad Maquina	80%
Costo máquina	\$ 15.000.000	Horas productivas al año	2360
		Horas productivas al año-capacidad	1888
Costo Hora-Máquina			
<b>Costos Fijos</b>		Costo al Año	
Depreciación máquina		\$ 2.250.000	
Arriendo		\$ 4.500.000	
Mantenimiento		\$ 491.400	
Total Costo Fijo			<b>\$ 7.241.400</b>
<b>Costos Variables</b>			
S. de Energia Electrica		\$ 1.101.975	
Total Costo Variable			<b>\$ 1.101.975</b>
<b>Costo total al año</b>			<b>\$ 8.343.375</b>
<b>Costo Hora Maquina</b>			<b>\$ 4.419</b>

Tabla 74. Hora Máquina Torno Paralelo PC-B

Maquina	Torno Paralelo	Horas habiles al año	2920
Vida Util	10	Horas domingos y festivos	560
Area ocupada	9 m <sup>2</sup>	Capacidad Maquina	80%
Costo máquina	\$ 38.500.000	Horas productivas al año	2360
		Horas productivas al año-capacidad	1888
Costo Hora-Máquina			
<b>Costos Fijos</b>		Costo al Año	
Depreciación máquina		\$ 5.775.000	
Arriendo		\$ 13.500.000	
Mantenimiento		\$ 277.200	
Total Costo Fijo			<b>\$ 19.552.200</b>
<b>Costos Variables</b>			
S. de Energia Electrica		\$ 4.407.900	
Total Costo Variable			<b>\$ 4.407.900</b>
<b>Costo total al año</b>			<b>\$ 23.960.100</b>
<b>Costo Hora Maquina</b>			<b>\$ 12.691</b>

Un aspecto positivo sobre la implementación del procedimiento PC-B, es el bajo costo por hora del cabezal divisor, el cual reduce el tiempo total de operación del elemento en un 60% aproximadamente, en la Figura 57. Comparación de tiempos totales de operación. Se muestra el comparativo entre los tiempos totales de operación de los procedimientos convencionales.

Figura 57. Comparación de tiempos totales de operación.

PC-A	Selector N°	To [min]	Tc	Selector N°	To [min]	Tc	PC-B
	1	189,19	7	1	123,76	2	
	2	196,03	7	2	118,59	2	
	3	204,01	8	3	115,4	2	
	4	194,24	7	4	120,64	2	
	5	195,92	7	5	116,52	2	

Tiempo de diferencia Promedio = 68,55 minutos

Tabla 75. Hora máquina Cabezal Divisor PC-B

Maquina	Cabezal Divisor	Horas habiles al año	2920
Vida Util	10	Horas domingos y festivos	560
Area ocupada	0 m^2	Capacidad Maquina	80%
Costo máquina	\$ 4.000.000	Horas productivas al año	2360
		Horas productivas al año-capacidad	1888
Costo Hora-Máquina			
<b>Costos Fijos</b>		Costo al Año	
Depreciación máquina		\$ 600.000	
Arriendo		\$ 0	
Mantenimiento		\$ 117.000	
Total Costo Fijo			<b>\$ 717.000</b>
<b>Costos Variables</b>			
S. de Energia Electrica		\$ 0	
Total Costo Variable			<b>\$ 0</b>
<b>Costo total al año</b>			<b>\$ 717.000</b>
<b>Costo Hora Maquina</b>			<b>\$ 380</b>

#### 5.2.6.1 Capacidad estimada de producción.

El costo de hora máquina está conformado por la combinación de los costos de hora máquina independientes, esto es posible gracias a que los costos están basados en su participación con respecto al procedimiento en general.

Para este caso el costo de producción de un selector por medio del procedimiento PC-B es de 17.490 COP, los valores asociados al costo en relación el tiempo de fabricación de un lote de selectores se muestran en la Tabla 76.

Tabla 76. Relación capacidad de producción y tiempo de fabricación.

Tiempo Fabricacion	Distribucion en Semanas	Costo de producción	Costo Unitario
1,98	0,04	\$ 699.586	\$ 17.490

## 6 PROCESO AVANZADO – A (PA-A)

### 6.1.1 PLANIFICACION DE OPERACIONES |

Por medio de un proceso en el cual se mantenga la restricción de no usar procesos que involucren la interpolación de dos o más ejes, es posible apreciar las ventajas de una máquina automatizada que permite mayor flexibilidad y estabilidad en los procesos y de este modo filtrar los factores que repercuten de manera negativa sobre los procesos convencionales.

Para una comparación eficiente de tecnologías, en donde se hagan visibles los aspectos técnicos y tecnológicos más relevantes de las máquinas convencionales y de control numérico, se efectuó el montaje experimental descrito en la hoja de procesos PA-A Tabla 77, orientada a mostrar las ventajas de un torno de cabezal móvil operado por medio de control numérico.

Tabla 77. Hoja de Proceso PA-A.

ELEMENTO:		Selector 2RL														
PROYECTO:		Evaluación de implementación de torno de cabezal móvil para fabricación de selectores.														
HOJA DE PROCESO																
Fase	N° de Operación	Operación	Herramienta	Parámetros de corte												T de proceso [min]
				Vc [mm/min]	n [rpm]	L [mm]	ae [mm]	ap [mm]	Pc [KW]	f [mm/min]	fz [mm/diente]	Kc	$\eta$	z	# pases	
1	2	Tronzado 1	T1	150	2508	9,53	N/A	3	0,03	0,3	N/A	2200	99%	1	1	0,04
1	3	agujero 1	T2	55	2919	6	5,00	2,00	2,59	80	0,02	2200	99%	2	3	0,16
2	4	Fresado 1	T4	55	2919	6	0,70	2,00	3,89	120	0,03	2200	99%	4	3	1
2	5	Fresado 2	T4	55	2919	6	0,70	2,00	3,89	120	0,03	2200	99%	4	3	1,85
2	6	Fresado 3	T4	55	2919	6	0,70	3,50	6,81	120	0,03	2200	99%	4	2	1,85
2	7	Fresado 4	T4	55	2919	6	0,70	1,00	1,95	120	0,03	2200	99%	4	4	1,23
2	8	Fresado 5	T4	55	2919	6	0,70	2,00	3,89	120	0,03	2200	99%	4	3	2,46
2	9	Fresado 6	T4	55	2919	6	0,70	0,30	0,68	140	0,03	2200	99%	4	1	1,85
2	10	Fresado 7	T4	55	2919	6	0,70	0,30	0,68	140	0,03	2200	99%	4	1	0,72
2	11	Fresado 8	T4	55	2919	6	0,70	0,60	1,17	120	0,03	2200	99%	4	2	0,72
2	12	Fresado 9	T4	55	2919	6	0,70	2,00	3,89	120	0,03	2200	99%	4	3	1,23
2	13	Fresado 10	T4	55	2919	6	0,70	1,00	1,70	105	0,03	2200	99%	4	1	1,85
3	14	Tronzado 2	T1	150	2508	9,53	N/A	3	0,03	0,3	N/A	2200	99%	1	1	1,62
Total tiempo Estimado de Corte x unidad										16,56						

Este procedimiento no usa la capacidad tecnológica máxima de la máquina herramienta, ya que el objetivo principal de este montaje fue mostrar las ventajas de los procesos automatizados y la evolución en los modos de operar las máquinas.

La necesidad de operar maquinas herramientas por medio de control numérico se basa en el flujo de información que se controla hoy en día en los medios industriales y es de vital importancia conservar al máximo los índices de flexibilidad en un sistema de producción.

Todas las operaciones ejecutadas fueron planares, al igual que en el montaje anterior (PC-B) en donde cada plano del selector fue mecanizado por una operación independiente (con trayectorias de entrada, corte y salida de la herramienta). De este modo se garantizó que las piezas se mecanizaron bajo las mismas condiciones y las mismas operaciones.

En cuanto a las fases de este sistema de producción es considerada solamente una, debido a que todas las operaciones se ejecutaron en un solo montaje. La posibilidad de tener a disposición todas las herramientas solicitadas para la ejecución de las operaciones permite que reduzcan los tiempos de preparación y configuración de la maquinaria, además de proveer continuidad de la producción.

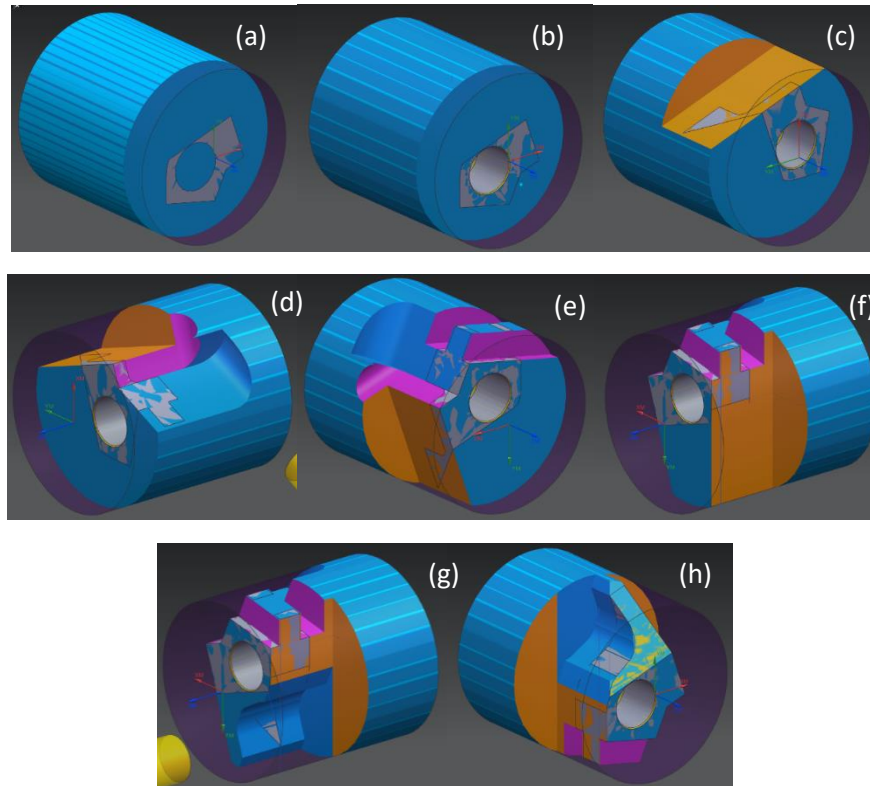
La reducción en los tiempos de fabricación de los selectores por medio de esta metodología se debe en gran medida al uso de un solo montaje; la máquina está tiene la capacidad de rotar el materia y posicionarlo de manera tal que sea posible el fresado de otra cara, de este modo se cumple la condición en la que la herramienta debe permanecer perpendicular a la superficie.

Se ejecutaron fresados usando el canto de la herramienta para distribuir las fuerzas de corte a lo largo de sus filos. En donde la condición de posición del escariador cambia a, paralelo a la cara a mecanizar. Al usar la herramienta de este modo es posible aumentar el indicador de volumen de material removido por minuto, además de alargar la vida útil de las herramientas.

Al buscar precisión en los mecanizados no basta con adaptar las estrategias de mecanizado a la configuración de la máquina, también es muy necesario adaptar las estrategias al uso eficiente de las herramientas, como consecuencia se mejora en los indicadores que favorecen el sistema de producción.

El procedimiento planteado en la hoja de procesos PA-A se puede visualizar en la **Figura 58**, la cual corresponde a la simulación del proceso ayudado por herramientas CAM; la sustracción de volúmenes de material mostrado en la secuencia tiene como resultado la definición de la geometría definitiva del selector.

Figura 58. Operaciones de desbaste y acabado según PA-A.



Según la hoja de proceso, en la figura (a) se muestra el resultado de la operación de refrentado, para proceder con operaciones de perforado mostrado en la figura (b), de las figuras (c) a (g) se muestran los resultados de los fresados lineales sin interpolación, por último en la figura (h) se ilustra el resultado del fresado de la rampa con la interpolación lineal entre los ejes (Z1) y (C1).

Para el desarrollo de este proceso de mecanizado se ejecutaron las mismas operaciones descritas en la hoja de proceso PC-B. Aunque para las máquinas convencionales representa un sistema de producción en serie que sacrificaba la flexibilidad de las máquinas, esta es una característica que se revierte cuando se adapta al torno tipo suizo, puesto que se subutiliza el verdadero potencial de la máquina.

Como parte de la apropiación eficiente de la tecnología, es importante tener en cuenta el talento humano dedicado a la parte operativa dentro de una organización. El personal debe estar capacitado no solamente para usar la tecnología si no para combinarla con conceptos técnicos y de ingeniería para favorecer la producción.

Sin embargo al comparar los resultados obtenidos, es claramente previsible la mejoría en la calidad y el tiempo de fabricación de los selectores.

Analizando estos procedimientos desde el punto de vista económico, las cifras pueda que no sean tan alentadoras, el costo de inversión de una MHCN es mucho mayor en comparación de las MHCH, por ende el uso de esta tecnología debe estar perfectamente fundamentada; el uso de otras herramientas como los software de diseño y manufactura junto con la capacitación del talento humano involucrado con la producción.

## 6.1.2 TIEMPOS DE MANUFACTURA

### 6.1.2.1 *Tiempos generales*

En la Tabla 78. Tiempos Generales en PA-A. **Tabla 78**, se encuentran consignados los tiempos generales del proceso de manufactura PC-A, en donde las cualidades más relevante son la completa nulidad de los tiempos de montaje y tiempos de configuración de la máquina, además del el tiempo de operación constante sobre cada selector.

**Tabla 78. Tiempos Generales en PA-A.**

Selector N°	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	Ts [min]	TMU
1	17,19	16,72	0,00	0,00	0,47	0,47
2	17,19	16,72	0,00	0,00	0,47	0,47
3	17,19	16,72	0,00	0,00	0,47	0,47
4	17,19	16,72	0,00	0,00	0,47	0,47
5	17,19	16,72	0,00	0,00	0,47	0,47

El objetivo de este montaje fue anular los factores que alteran un sistema de producción y que nacen del hecho de controlar una máquina manualmente. Transformar los modos de operación de las herramientas a maneras automatizadas que establezcan los sistemas de producción y que a su vez mantengan la flexibilidad de las máquinas es vital para el mejoramiento de la industria.

En promedio, el tiempo total de fabricación de un selector por medio del procedimiento PA-A es de 22,32 minutos (0,372 Horas). A diferencia de los métodos convencionales por medio de la tecnología CNC es posible desarrollar una producción discreta, en donde es posible desarrollar elementos asociados a costos bajos.

Un grave problema de los métodos convencionales se basa en la imposibilidad de fabricar un elemento único sin tener que desplegar todo un desarrollo de ingeniería, con la dificultad de no poder reciclar información. Por otra parte, el uso de MHCN permite manufacturar varios tipos de piezas por medio del reciclaje de códigos NC, sin la necesidad de reconfigurar la máquina; lo que se traduce como, la nulidad de un despliegue de ingeniería durante la fase inicial de un sistema de producción.

Lo que permite la eficiencia superior sobre la implementación del proceso PA-A, a comparación de los métodos convencionales, es la eliminación de fases que son dadas por la arquitectura del torno de cabezal móvil. A continuación se muestran los tiempos de proceso ejecutados en una sola fase a excepción de la preparación del material.

Normalmente las máquinas de este tipo, son alimentadas por dispositivos especialmente diseñados para que la materia prima no sea intervenida y minimizar procesos de preparación. En este caso no se dispone de un alimentador de barras, por ende se contabiliza el tiempo de corte de barras para alimentar la máquina herramienta.

#### 6.1.2.1.1 Preparación de materia prima.

Este procedimiento se llevó a cabo para la hacer visible la necesidad de dispositivos extra que ayudan a mejorar los indicadores de un sistema de producción seriado. Sin embargo los alimentadores de barras no intervienen de manera contundente sobre los procesos que generar valor agregado a los elementos manufacturados.

En la **Tabla 79**, se muestran los tiempos correspondientes al corte de 5 secciones de barra, este proceso al no contar con herramientas automatizadas tiende a ser inestable.

Tabla 79. Tiempos parciales - Preparación de materia prima.

Barra #1		Corte de barras				
Proceso	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Corte	0,6	0,6	0,0	0,0	0,05	0,1
Refrentado	0,2	0,2	0,0	0,0	0,01	0,0
<b>Totales</b>	0,8	0,8	0,0	0,0	0,06	0,1

Barra #2		Corte de barras				
Proceso	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Corte	0,6	0,6	0,0	0,0	0,05	0,1
Refrentado	0,2	0,2	0,0	0,0	0,01	0,0
<b>Totales</b>	0,8	0,8	0,0	0,0	0,06	0,1

Barra #3		Corte de barras				
Proceso	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
Corte	0,6	0,6	0,0	0,0	0,05	0,1
Refrentado	0,2	0,2	0,0	0,0	0,01	0,0
<b>Totales</b>	0,8	0,8	0,0	0,0	0,06	0,1

<b>Barra #4</b>		Corte de barras				
<b>Proceso</b>	<b>TO [min]</b>	<b>Tc [min]</b>	<b>TM [min]</b>	<b>TF [min]</b>	<b>TS [min]</b>	<b>TMU [min]</b>
<b>Corte</b>	0,6	0,6	0,0	0,0	0,05	0,1
<b>Refrentado</b>	0,2	0,2	0,0	0,0	0,01	0,0
<b>Totales</b>	0,8	0,8	0,0	0,0	0,06	0,1

<b>Barra #5</b>		Corte de barras				
<b>Proceso</b>	<b>TO [min]</b>	<b>Tc [min]</b>	<b>TM [min]</b>	<b>TF [min]</b>	<b>TS [min]</b>	<b>TMU [min]</b>
<b>Corte</b>	0,6	0,6	0,0	0,0	0,05	0,1
<b>Refrentado</b>	0,2	0,2	0,0	0,0	0,01	0,0
<b>Totales</b>	0,8	0,8	0,0	0,0	0,06	0,1

#### 6.1.2.1.2 Ejecución de Procedimiento PA-A.

Una vez alimentado el torno tipos Suizo se ejecuta el código NC correspondiente a la hoja de proceso homologa PC-B, en donde es visible un aumento sustancial en la eficiencia de la fabricación de un selector.

En la Tabla 80, son visibles las cualidades del procedimiento ejecutado. Solamente hubo la necesidad de plasmar una tabla de datos con respecto a un selector, puesto que este procedimiento garantiza un control total sobre las operaciones tecnológicas realizadas.

Por medio de la implementación de una MHCN es posible controlar de manera satisfactoria cualquier tipo de operación, sin que en esta intervengan factores externos como los que influyen sobre el operario.

Tabla 80. Tiempos de proceso para un selector.

Selector n						
Operación	To [min]	Tc [min]	TM [min]	TF [min]	TS [min]	TMU [min]
refrentado	0,07	0,04	0,00	0,00	0,03	0,03
Tronzado 1	0,19	0,16	0,00	0,00	0,03	0,03
agujero 1	1,03	1,00	0,00	0,00	0,03	0,03
Fresado 1	1,88	1,85	0,00	0,00	0,03	0,03
Fresado 2	1,88	1,85	0,00	0,00	0,03	0,03
Fresado 3	1,26	1,23	0,00	0,00	0,03	0,03
Fresado 4	2,49	2,46	0,00	0,00	0,03	0,03
Fresado 5	1,88	1,85	0,00	0,00	0,03	0,03
Fresado 6	0,75	0,72	0,00	0,00	0,03	0,03
Fresado 7	0,75	0,72	0,00	0,00	0,03	0,03
Fresado 8	1,26	1,23	0,00	0,00	0,03	0,03
Fresado 9	1,90	1,85	0,00	0,00	0,05	0,05
Fresado 10	1,65	1,62	0,00	0,00	0,03	0,03
Tronzado 2	0,19	0,16	0,00	0,00	0,03	0,03
Totales	17,19	16,72	0,00	0,00	0,47	0,47

Aunque la reducción de tiempos de producción es notable en la aplicación de este montaje, existe la posibilidad de mejorar la manera en la que la tecnología impacta sobre el modo de operación de una organización. Es contraproducente tratar una máquina de control numérico como si se fuese una convencional, es decir; el punto de apropiación efectiva de una tecnología se encuentra cuando se llega al tope en las limitaciones de la misma.

### 6.1.3 ANALISIS DE MONTAJE

Para el montaje correspondiente al procedimiento PA-A, se analiza una operación de fresado radial, en donde se cuenta una configuración eficiente lo que se deba a la simplificación de los procesos por medio de la automatización de los mismos.

Para determinar la eficiencia del montaje con relación a la rigidez del mismo se disponen de los parámetros de corte consignados en la Figura 59. Parámetros de corte para ejecución de PA-A., con los cuales se efectuó un análisis estructural de la herramienta, cuyas cargas se distribuye a lo largo del canto de la herramienta.

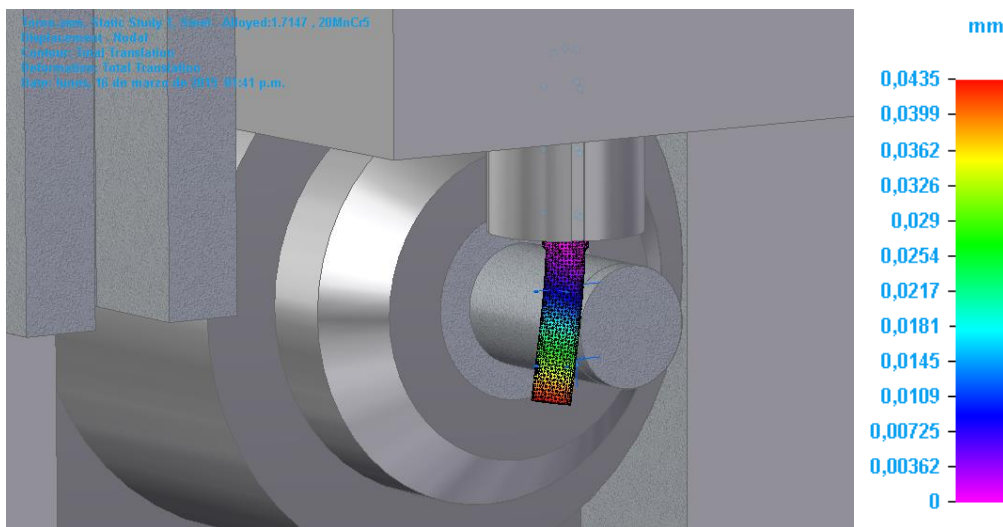
Figura 59. Parámetros de corte para ejecución de PA-A.

Vc	r <sub>t</sub>	n <sub>t</sub>	f	a <sub>e</sub>	F	K <sub>tc</sub>	K <sub>rc</sub>	K <sub>ac</sub>	K <sub>te</sub>	K <sub>re</sub>	K <sub>ae</sub>
270	3	2000	190	0	177	1537	507	460	150	150	6,7

La arquitectura del torno de cabezal móvil permite que las operaciones tecnológicas desarrolladas se efectúen manteniendo constante el voladizo del material en todo momento, lo cual permite tallar elementos usando condiciones de corte que permiten mayor remoción de material por unidad de tiempo.

En la Figura 60, se muestra la deformación de la herramienta, en donde el máximo desplazamiento es de apenas 0,018 mm. Esta deformación en relación con la forma en la que se ejecuta la operación (fresado radial) presenta una mejora significativa en el proceso. Aunque las fuerzas de corte son mayores por el contacto de varios filos de la herramienta la deformación es mínima y por ende el acabado superficial no se ve afectado por la vibración presente.

Figura 60. Deformación de la herramienta de corte.

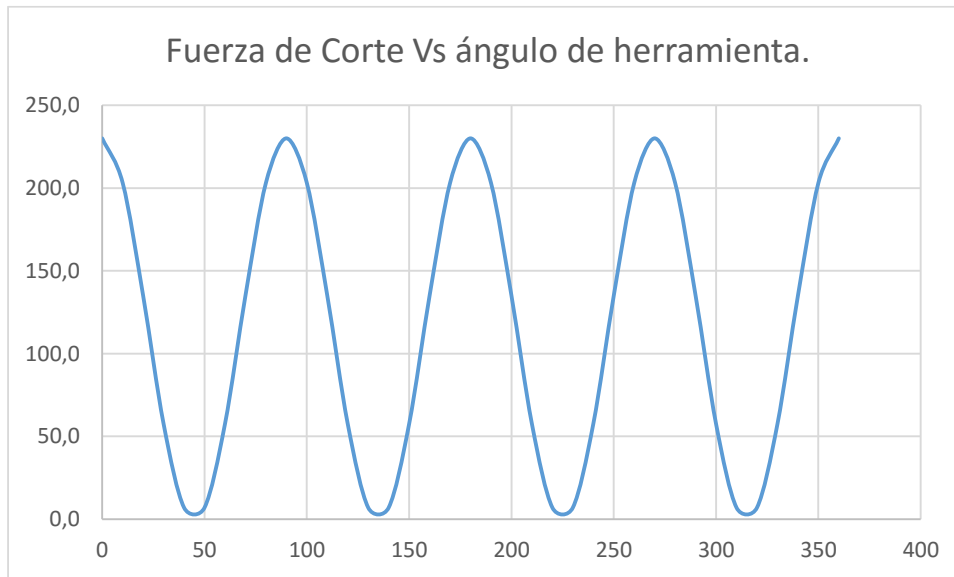


Con respecto a la fuerza estimada de corte para un fresado radial, los resultados muestran una fuerza resultante mayor a la de los demás procedimientos, esto es el resultado de usar en mayor proporción los filos de la herramienta. Sin embargo estas cargas se distribuyen a lo largo de la herramienta lo cual disminuye la deformación en la punta de la misma.

Mientras se utiliza una operación tecnológica de este tipo, se genera una alternancia en la fuerza de corte, debido al contacto y separación del inicio del corte. Al igual que en los

análisis anteriores la herramienta seleccionada con 4 filos produce un pico en la fuerza resultante cada 90° tal y como se muestra en la Figura 61.

**Figura 61. Fuerza alternante de corte.**



Para el caso del montaje del proceso PA-A, es necesario analizar el comportamiento de la herramienta. La deformación del material es despreciable debido a la arquitectura del torno de cabezal móvil. Este montaje tiene condiciones muy similares a las del montaje PC-B en su etapa final, en donde el voladizo del material es mínimo, lo cual favorece la rigidez del montaje y por último, la calidad del elemento mecanizado.

En la Tabla 81, se muestra el factor de rigidez que corresponde al montaje PA-A con un desplazamiento máximo de la punta de la herramienta de 0,04 mm y una fuerza alternante de 225 N.

**Tabla 81. Factor de Rigidez PA-A.**

Error de maquina [mm]	Error de herramienta [mm]	$\Delta l$ [mm]	$F_r$ [N]	$K$
0,01 mm	0,03048 mm	0,04184	225	5377,63

#### 6.1.4 ANALISIS DE COSTOS.

Con respecto a los costos asociados a la producción de selectores por medio de la ejecución del procedimiento PA-A, se observa un costo mayor que se atribuye principalmente al costo inicial de la máquina. Los demás costos asociados como el mantenimiento la operación y el consumo energético de la máquina también son factores influyentes en los costos que permiten el funcionamiento eficaz de la máquina herramienta implementada.

En la Tabla 82, se estima una depreciación del 15% anual el cual al cabo de 10 años tiene un valor de salvamento de 22,5 millones COP, al igual que en los anteriores análisis, se ha fijado un horizonte de 10 años, que corresponde al promedio de vida útil de un máquina herramienta del sector industrial metalmeccánico.

La depreciación anual del torno influye de manera directa en el costo de hora máquina, puesto que es un recargo fijo que se carga al valor de la hora máquina al interior de la organización.

**Tabla 82. Depreciación de Torno tipo Suizo.**

Maquina	Torno de cabezal móvil									
	Año 1	Año 2	Año 3	Año 4	Año 5	Año 6	Año 7	Año 8	Año 9	Año 10
Saldo	\$ 150.000.000	\$ 124.500.000	\$ 99.600.000	\$ 79.680.000	\$ 63.744.000	\$ 50.995.200	\$ 40.796.160	\$ 32.636.928	\$ 26.109.542	\$ 20.887.634
Depreciación	\$ 22.500.000	\$ 22.500.000	\$ 22.500.000	\$ 22.500.000	\$ 22.500.000	\$ 22.500.000	\$ 22.500.000	\$ 22.500.000	\$ 22.500.000	\$ 22.500.000
Valor de salvamento.			\$ 22.500.000							

Debido a que la participación de la máquina es del 100%, puesto que la materia prima jamás es intervenida por otra máquina, representa un alto costo de mantenimiento el cual puede mitigarse por medio de la calidad y confiabilidad de la máquina.

Al reducir el riesgo de errores humanos que puedan dañar la herramienta, debido a la menor interacción entre la operación tecnológica y el operario no habrá la necesidad de intervenir la máquina para reparaciones o mantenimientos programados. En la Tabla 83, se muestra el costo estimado de mantenimiento anual, basado en los catálogos de mantenimiento del torno Poligym Diamond 20 CSB.

**Tabla 83. Mantenimiento estimado de torno tipo Suizo.**

Maquinas	Horas Mantenimiento	Participacion	Costo al año por maquina
Torno Tipo Suizo	10	100%	\$ 600.000

Aunque el torno de cabezal móvil es una máquina herramienta pequeña a comparación de las convencionales usada en este estudio, posee varios servomotores de la misma potencia que los motores del torno paralelo y el taladro fresador, los cuales suman todas unas potencias aproximadas a las 15 KW. Suponiendo que el KW/hora en una locación industrial tiene un costo de 350 COP.

En la Tabla 84 se muestra el costo estimado anual del consumo energético de un torno de cabezal móvil Poligym 20 CSB.

Tabla 84. Costo apreciado de consumo de energía.

Maquina	Horas Trabajadas al año	Potencia Maquina [KW]	Consumo al año Maquina	Participacion	Costo al año por maquina
Torno Tipo Suizo	2099	15	31485	100%	\$ 11.019.750
<b>Total consumo</b>	\$ 11.019.750				

Al igual que en los procedimientos anteriores se estima el costo de arrendamiento por el espacio que ocupa la herramienta, el cual, a comparación con las MHCH es más viable puesto que el volumen ocupado normalmente se mantiene constante, debido a que no hay riesgo de elementos móviles fuera en la periferia de la máquina.

Tabla 85. Costo estimado por arrendamiento.

Maquina	Area [m^2]	Factor	Costo x año
Torno Tipo Suizo	8	0,4	\$ 12.000.000
<b>Total área</b>	<b>8</b>	<b>0,4</b>	
<b>Costo total</b>			\$ 12.000.000

Con respecto a los costos establecidos en las tablas anteriores podemos determinar el valor de la hora máquina con respecto a la participación en el procedimiento para fabricar selectores. En la Tabla 86, se muestra el costo de hora máquina en relación con los parámetros de tiempo y costos asociados.

Tabla 86. Costo estimado de hora máquina PA-A.

Maquina	Torno Tipo Suizo	Horas habiles al año	2920
Vida Util	10	Horas domingos y festivos	560
Area ocupada	8 m <sup>2</sup>	Capacidad Maquina	80%
Costo máquina	\$ 150.000.000	Horas productivas al año	2360
		Horas productivas al año-capacidad	1888
Costo Hora-Máquina			
<b>Costos Fijos</b>		<b>Costo al Año</b>	
Depreciación máquina		\$ 22.500.000	
Arriendo		\$ 12.000.000	
Mantenimiento		\$ 600.000	
Total Costo Fijo			<b>\$ 35.100.000</b>
<b>Costos Variables</b>			
S. de Energia Electrica		\$ 11.019.750	
Total Costo Variable			<b>\$ 11.019.750</b>
<b>Costo total al año</b>			<b>\$ 46.119.750</b>
<b>Costo Hora Maquina</b>			<b>\$ 24.428</b>

#### 6.1.4.1 Capacidad estimada de producción.

Aunque el costo de hora máquina sea el mayor en comparación con los anteriores métodos de producción, es posible determinar la ganancia en términos de tiempo, al permitir producir un juego de selectores en menos tiempo y por ende la reducción notable de los costes de producción.

En la Tabla 87 , se muestra el tiempo neto de fabricación de 40 elementos y el tiempo en semanas para tener un referente del tiempo que puede invertirse en el desarrollo de otros proyectos y al final el costo de producción del lote inicial de selectores.

Tabla 87. Relación capacidad de producción y tiempo de fabricación.

Tiempo Fabricacion	Distribucion en Semanas	Costo de producción	Costo de producción
14,88	0,31	\$ 363.486	\$ 9.087

Con este análisis es posible determinar que la capacidad de producción mensual puede triplicarse con respecto a los métodos convencionales y mantener una relación de costos constante.

## 7 PROCESO AVANZADO – B (PA-B)

### 7.1.1 PLANIFICACION DE OPERACIONES

Aprovechando las mejores características de una máquina herramienta de control numérico con múltiples ejes, junto con herramientas CAD/CAM y métodos que permitan el uso eficiente de la tecnología se obtienen resultados que sobrepasan por mucho lo mencionado anteriormente.

La posibilidad de hacer desbastes que aproximan la geometría del elemento a una etapa casi definitiva, mecanizar de manera precisa y eludir por completo los tiempos muertos de proceso otorga altos estándares de calidad a las piezas manufacturadas. Para la ejecución de un procedimiento de este tipo el ejercicio es basado en la regla de identificación de MRSEV la cual plantea que cualquier volumen extraído del material en bruto es válida si puede realizarse en el mismo montaje.

El montaje experimental más relevante para la apropiación eficiente de tecnología referente a la manufactura, se basa en la hoja de procesos PA-B Tabla 88. Hoja de procesos PA-B. Y la Tabla 89. Diagrama de flujo PA-B., la cual hace uso de un mayor potencial del torno de cabezal móvil, combinado con la herramienta computacional NX 9.0.

Tabla 88. Hoja de procesos PA-B.



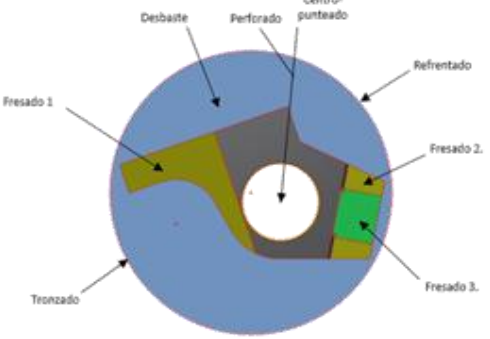
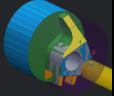

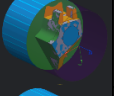



		<b>UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS</b> <b>DIVISION DE INGENIERIAS</b> <b>FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA</b>															
Bosquejo: <div style="display: flex; justify-content: space-around; align-items: center;">  <div style="border: 1px solid black; padding: 5px;"> <p><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #4a7ebb; border: 1px solid black;"></span> Desbaste-Fresado</p> <p><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #e67e22; border: 1px solid black;"></span> Semiacabado-</p> <p><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #f1c40f; border: 1px solid black;"></span> Acabado-Fresado</p> <p><span style="display: inline-block; width: 20px; height: 10px; background-color: #2ecc71; border: 1px solid black;"></span> Agujero-Taladrado</p> </div> </div>																	
ELEMENTO:		Selector 2RL															
PROYECTO:		Evaluacion de implementacion de torno de cabezal movil para fabricacion de selectores.															
HOJA DE PROCESO																	
Metodo	Figura	N° de Operación	Operación	Herramienta	Parametros de corte												
					Vc [m/min]	n [rpm]	L [mm]	ae [mm]	ap [mm]	Pc [KW]	f [m/min]	fz [mm/diente]	Kc	$\eta$	z	# pases	T estimado [min]
Taladrado		2	Agujero 1	T2	80	4246	6	5	6	0,00	80	0,01	2200	99%	2	1	0,08
Desbaste		3	Desbaste	T3	45	2866	300	5	1	0,25	140	0,01	2200	99%	4	5	10,71
Desbaste		4	Fresado 2	T3	45	2866	14	1	1	0,04	120	0,01	2200	99%	4	1	0,12
Desbaste		5	Fresado 3	T3	45	2866	2	3	1	0,09	80	0,01	2200	99%	4	2	0,05
Desbaste		6	Fresado 1	T3	45	2866	10	3	1	0,15	140	0,01	2200	99%	4	1	0,07
Torneado		7	Tronzado	T4	160	2675	9,53	3	N/A	0,58	0,5	N/A	2200	99%	2	1	0,25
Total tiempo Estimado de Corte [min]										11,28							

Tabla 89. Diagrama de flujo PA-B.

ACTIVIDAD					Observaciones.
No°	Op.	Trans.	Insp.	Dem.	
2	●	→	■	◐	Programacion en software CAM
3	●	→	■	◐	Validacion de procedimientos (Simulacion en software CAM)
5	●	→	■	◐	Preparacion de maquina herramineta, instalacion de herramientas.
6	●	→	■	◐	Compensacion de herramientas de corte.
7	●	→	■	◐	Ingreso de codigo de control numerico.
8	●	→	■	◐	Validacion de montaje, inspeccion de codigo con maquina en vacio.
9	●	→	■	◐	Corte manual de Barras a longitud de 1 m.
10	●	→	■	◐	Alimentacion de maquina herrmaineta.
11	●	→	■	◐	Iniciar ciclo de maquinado.
12	●	→	■	◐	Refrentado
13	●	→	■	◐	Centropunteado y perforacion.
14	●	→	■	◐	DesbasteControno .
16	●	→	■	◐	Fresado de cajera (Desbaste 3, Fresados 2 y 3)
21	●	→	■	◐	Fresado 1 (Plano Inclinado)
22	●	→	■	◐	Tronzado.

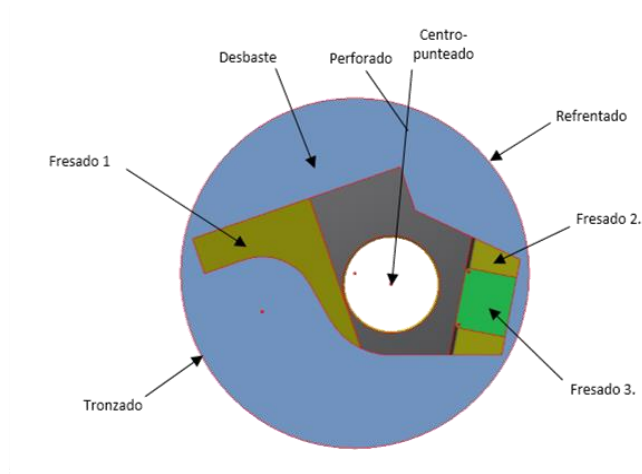
La combinación de tecnologías permite mejorar notablemente en la calidad de los procesos y por ende del producto, aunque en una primera instancia parezca ser poco viable por los costos que representa implementar este tipo de tecnologías en cualquier medio de producción.

En esta sección se pretende mostrar las ventajas de las tecnologías que pueden impactar en la industria Colombiana por medio de las utilidades proporcionadas. Estas utilidades no son siempre de tipo monetario, el hecho de apropiar tecnología tienen como consecuencia el desarrollo tecnológico de la organización lo que implica un aumento en su capacidad tecnológica y de producción.

El procedimiento descrito en esta sección, orientado a la obtención de selectores en tiempos muy cortos cuyo objetivo principal es el aumento del indicador (volumen de material removido / minuto) por medio de la regla en la cual la herramienta debe permanecer en condición de corte la mayor cantidad de tiempo posible.

Por medio de la identificación de modelos MRSEV destinados a mantener la precisión de la pieza y la manufacturabilidad más rápida posible, se obtiene un proceso en el cual se involucran varios ejes de la máquina trabajando de manera cooperativa. Este modelo como se muestra en la **Figura 62**. Ilustra los volúmenes de material que pueden ser removidos por medio de una operación tecnológica e indica los métodos correspondientes en los cuales se ejecuta cada operación.

Figura 62. MRSEV orientado a producción precisa y en serie.



Es necesario remover el área azul del material de manera rápida y precisa, si se analiza el contorno del selector la única manera de realizar el desbaste es manteniendo la herramienta paralela al eje Z de la máquina, la **Figura 63**. Muestra las trayectorias de la herramienta para desbastar el área Azul por medio de un método el cual sigue la periferia del selector, de acuerdo a la configuración de la máquina este proceso puede fabricarse en  $2 \frac{1}{2}$  ejes (C1 + Y / Z1) o (X + Y / Z1) en la cual no hay diferencias considerables para la elecciones de uno u otro método, también puede ejecutarse un procedimiento que involucre los ejes (X + Y + C1 / Z1) aunque esto implica un desperdicio del potencial de la máquina.

Figura 63. Trayectoria para remoción de volumen principal (Azul)

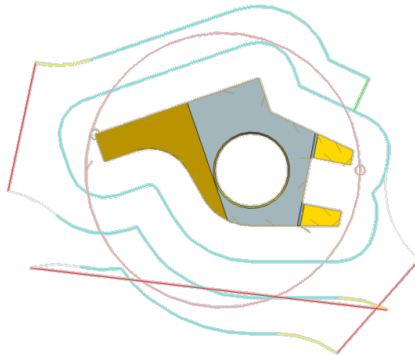
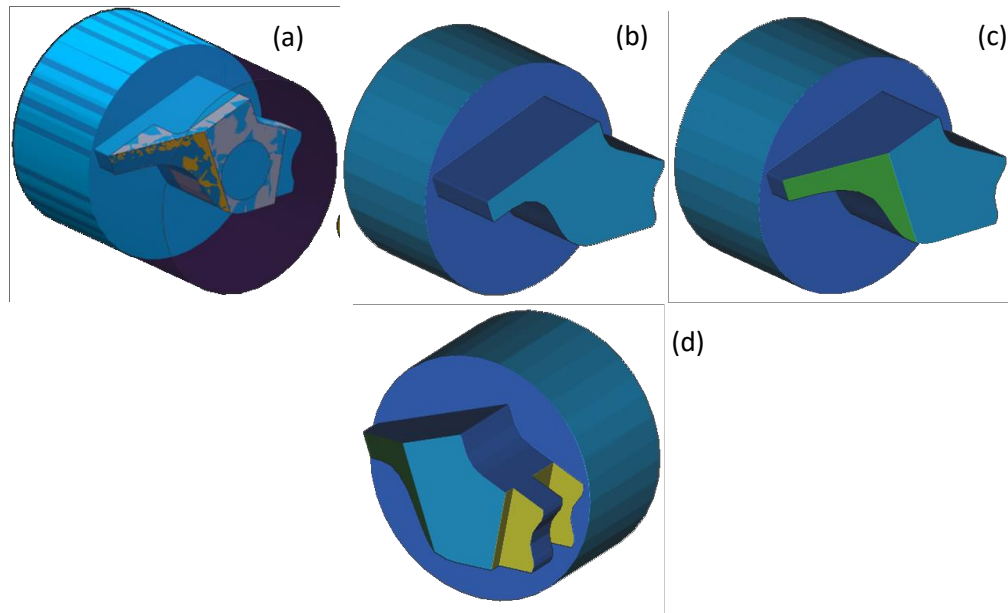


Figura 64. Simulación de Proceso de maquinado en MHCN (Torno tipo suizo 20 CSB II)



Las demás operaciones son fresados de perfiles regulares, los cuales se ejecutan por medio de 2 ½ ejes, ubicando la pieza según los modelos MRSEV orientados a la producción en serie y precisión de la pieza **Figura 64**.

Por medio del uso de tecnología CAM específicamente el módulo de manufactura de NX 9, se programan estrategias a partir de los análisis de remoción de volúmenes, estas estrategias generan líneas de código que en la mayoría de ocasiones representan la trayectoria demarcada a través de coordenadas. Estas coordenadas procesadas por el controlador de la máquina son las que ordenan el movimiento coordinado de los servomotores.

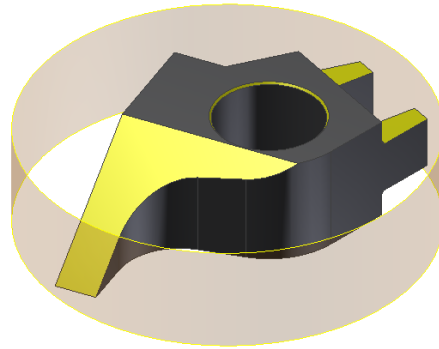
Es necesario que los programas NC tiendan a ser más eficientes. Un programa NC con muchos bloques conlleva a procesamientos de información que llevan más tiempo y por ende aumenta el tiempo de ejecución de los ciclos; mantener al mínimo el número de bloques en un programa constituye un factor importante para hacer de las MHCN una herramienta eficiente.

Un desarrollo fuerte en la implementación de tecnología CNC que tiene como propósito principal el control total de las variables que influyen en los procesos tiene la necesidad de analizar las contingencias que afectan en mayor medida la calidad de los productos y la reducción de las utilidades de las organizaciones.

El flujo continuo de información, el uso de modelos digitales y las buenas prácticas para el planeamiento de los procesos, enmarcan la eficiencia en una producción; para evadir los errores que normalmente se presentan en los procesos por medio de procesos por arranque de viruta son analizados

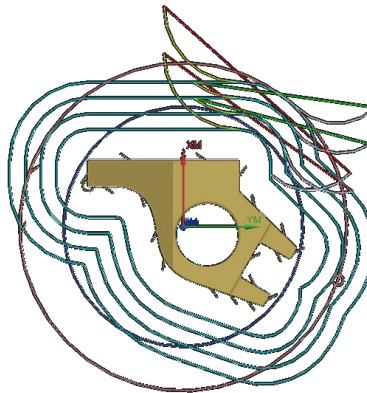
Por medio del análisis de MRSEV practicado sobre el selector, el volumen descrito en la **Figura 65**, debe ser removido por medio de una sola operación tecnológica. Esta operación tecnológica debe estar orientada a minimizar el número de entradas y salidas de la herramienta y mantener siempre el tiempo de corte al máximo. Como resultado, se planteó una estrategia de mecanizado en donde la herramienta debe seguir el contorno del selector tanto para el desbaste como para el acabado, con la diferencia de cambiar los parámetros de corte para mejorar la terminación del mecanizado.

**Figura 65. Intersección de volumen de material a remover para la definición del selector.**



El método por medio del cual se ejecutan las estrategias de mecanizado mostradas en la **Figura 66**, Dependen de la configuración de la máquina. Para el caso de la ejecución del mecanizado en un torno de cabezal móvil fue posible mecanizar interpolando el eje C y el eje X o Y de la máquina lo cual conforma una operación similar a un torneado.

**Figura 66. Trayectorias definitivas para operaciones de desbaste y acabado.**



Otra método por el cual puede ejecutarse esta trayectoria es por medio de la interpolación de los ejes X & Y, manteniendo el IPW (In Process Work piece) en estado estacionario todo el tiempo, esta operación se asemeja a un fresado horizontal.

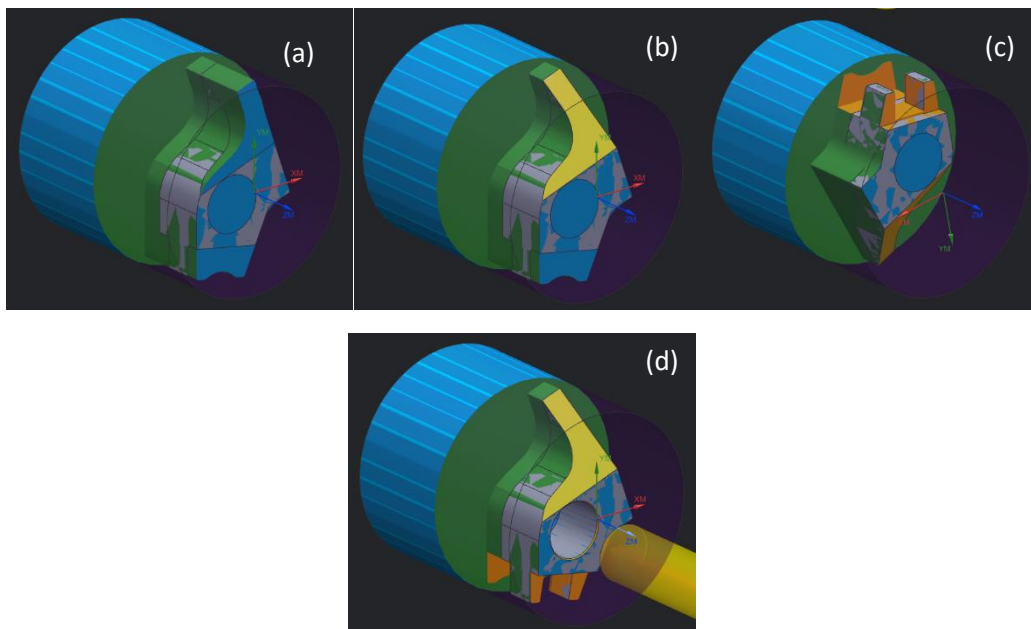
Los dos métodos son válidos para el torno de cabezal móvil Polygim 20 CSB II, sin embargo el cambio en el método puede afectar la precisión o el acabado superficial. En el caso del torno de cabezal móvil no existe una diferencia sustancial debido a su diseño orientado a mantener la rigidez durante el proceso.

Este procedimiento orientado a la producción en serie conservando la flexibilidad del torno de cabezal móvil tal y como se muestra en la hoja de procesos PA-B y basados en la sustracción de volúmenes con las condiciones del método MRSEV en donde se ejecutó un desbaste usando una herramienta orientada con el eje Z en donde por medio de una sola operación tecnológica se logra aproximar la geometría definitiva de la pieza.

La operación inicial de desbaste usando un método en el cual se mantiene la herramienta en contacto con el material durante todo el proceso permite un uso más eficiente de la máquina herramienta. Para poder ejecutar este tipo de proceso, fue necesario interpolar los ejes (C1) y (Y) del torno, sincronizándolos de tal forma que se describió las trayectoria completa del perfil del selector.

El uso de un método u otro puede significar una gran variación en los indicadores que miden la eficiencia del sistema de producción, en este caso el material removido por minuto es mayor en comparación a la anterior hoja de proceso, en donde los desbastes eran lineales y por ende las entradas y salidas de la herramienta aumentaban.

Figura 67. Procesos de Acabado y desbaste según PA-B.



A comparación de las anteriores hojas de proceso, este procedimiento consta solamente de operaciones. En la **Figura 67**, se ilustra la consecución de operaciones para generar la

geometría definitiva del selector antes de ser separado del resto de material. En la figura (a) se ejecuta una operación de desbaste por medio de una interpolación de los ejes (Y) y (C1), dando paso al resultado mostrado en la figura (b), en donde la orientación del material permite el frezado de la rampa por medio de la interpolación de los ejes (Z1) y (X), la siguiente operación de frezado de la cajera es ejecutada por medio de operaciones en 2.5 ejes y por último en la figura (d), se muestra el resultado de las operaciones para la perforación excéntrica.

Un aporte importante de la implementación de este modo de operación es la interpolación C1+Y del torno de cabezal móvil, por medio de la cual se ejecutaron las estrategias de mecanizado. Esta estrategia tiene como objetivo mantener al máximo el tiempo de contacto entre la herramienta y el material.

## 7.1.2 TIEMPOS DE MANUFACTURA

### 7.1.2.1 *Tiempos generales.*

Por medio de la implementación eficiente de tecnología de manufactura asistida se obtuvieron los resultados consignados en la **Tabla 90**, en donde todos los tiempos permanecen constantes. Esto indica la estabilidad de los procedimientos y el total control sobre el sistema de producción.

El tiempo total de fabricación es de 17,2 minutos (0,28 horas), y en relación a los tiempos muertos de 0,31 minutos (0,05 Horas) se aprecia una alta eficiencia de los métodos usados para la fabricación de la pieza.

**Tabla 90. Tiempos Generales PA-B.**

Selector N°	To [min]	Tc [min]	Tm [min]	Tf [min]	Ts [min]	TMU
1	11,52	11,28	0,00	0,00	0,24	0,24
2	11,52	11,28	0,00	0,00	0,24	0,24
3	11,52	11,28	0,00	0,00	0,24	0,24
4	11,52	11,28	0,00	0,00	0,24	0,24
5	11,52	11,28	0,00	0,00	0,24	0,24

### 7.1.2.1.1 Tiempos de proceso.

El resultado más importante de esta sección es la reducción en los tiempos en operaciones de desbaste, 11,29 min en comparación a los desbastes del PA-A (14,74 min)

En la **Tabla 91**, la nulidad de los tiempos de configuración de la máquina y los tiempos muertos, logradas a través de la implementación de un alimentador de barras automatizado y una pre-configuración sobre las herramientas antes de iniciar la ejecución de los procedimientos permiten maximizar la eficiencia del proceso. El objetivo de la implementación del montaje PA-B es disminuir al máximo los procedimientos que no generan valor agregado a las piezas manufacturadas.

**Tabla 91. Tiempos de Proceso PA-B.**

Operación	To [min]	Tc [min]	TM [min]	Tf [min]	Ts [min]	TMU [min]
<b>Agujero 1</b>	0,11	0,08	0,00	0,00	0,03	0,03
<b>Desbaste</b>	10,75	10,71	0,00	0,00	0,03	0,03
<b>Fresado 2</b>	0,17	0,12	0,00	0,00	0,05	0,05
<b>Fresado 3</b>	0,08	0,05	0,00	0,00	0,03	0,03
<b>Fresado 1</b>	0,12	0,07	0,00	0,00	0,05	0,05
<b>Tronzado</b>	0,30	0,25	0,00	0,00	0,05	0,05
<b>Totales</b>	11,52	11,28	0,00	0,00	0,24	0,24

La apropiación de esta tecnología, no solamente se encarga de anular los tiempos que intervienen en las operaciones tecnológicas. Hay procedimientos como, los análisis dimensionales o revisiones periódicas de calidad, que pueden ser omitidas en gran parte gracias a la confiabilidad de las operaciones ejecutas en MHCN.

En síntesis, la calidad de los procesos, tiende a mejorar gracias a la implementación de tecnologías que permiten un mejor control sobre las operaciones tecnológicas.

### 5.1.1 ANALISIS DE MONTAJE

El torno de cabezal móvil, al ser una máquina concebida para mantener la estabilidad en los procesos, debido a que su arquitectura mantiene siempre la misma rigidez en todos los montajes y procesos. Sin embargo, la estabilidad de los procesos puede verse afectada dependiendo de la operación tecnológica aplicada.

En el caso del proceso PA-B, la operación más característica es un torno-fresado axial, con la herramienta orientada con el eje Z de la máquina. Esta operación a pesar de cargar la punta de la herramienta, se mantiene estable a lo largo del corte, inclusive cuando este cambia su avance o su espesor de pasada ( $a_p$ ).

Las condiciones de corte para el posterior análisis de deformaciones sobre la herramienta y el material en bruto, son mostrados en la Figura 68. En donde las constantes de corte tangencial, radial y axial son extraídas de la literatura disponible.

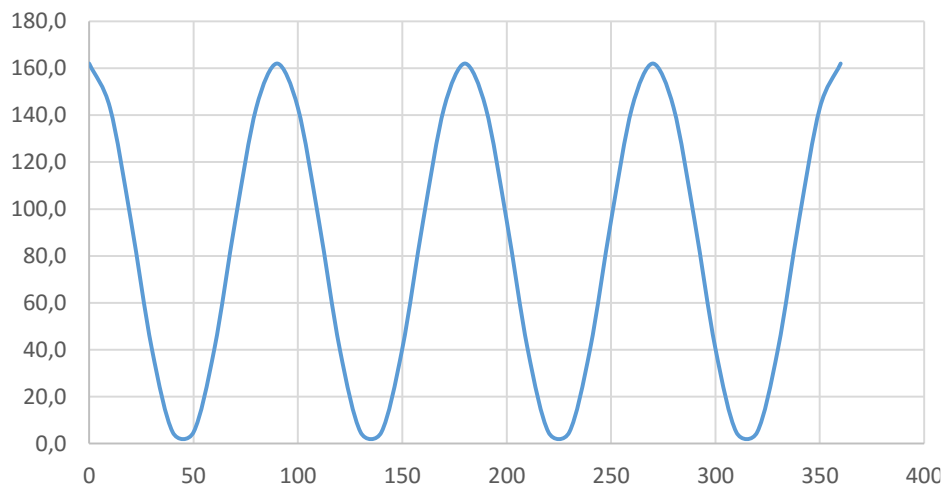
Figura 68. Parámetros de corte de fresado.

Vc	r <sub>t</sub>	n <sub>t</sub>	f	a <sub>e</sub>	F	K <sub>tc</sub>	K <sub>rc</sub>	K <sub>ac</sub>	K <sub>te</sub>	K <sub>re</sub>	K <sub>ae</sub>
270	3	2000	190	0	177	1537	507	460	150	150	6,7

Para facilitar la comparación entre montajes y operaciones de los distintos procedimientos, se mantienen los parámetros de corte constantes en los distintos procedimientos. De la misma manera la herramienta utilizada, es la misma que en los procedimientos anteriores, por ende la frecuencia de la fuerza alternante durante el proceso es de cada 90°, como se muestra en la **Figura 69**.

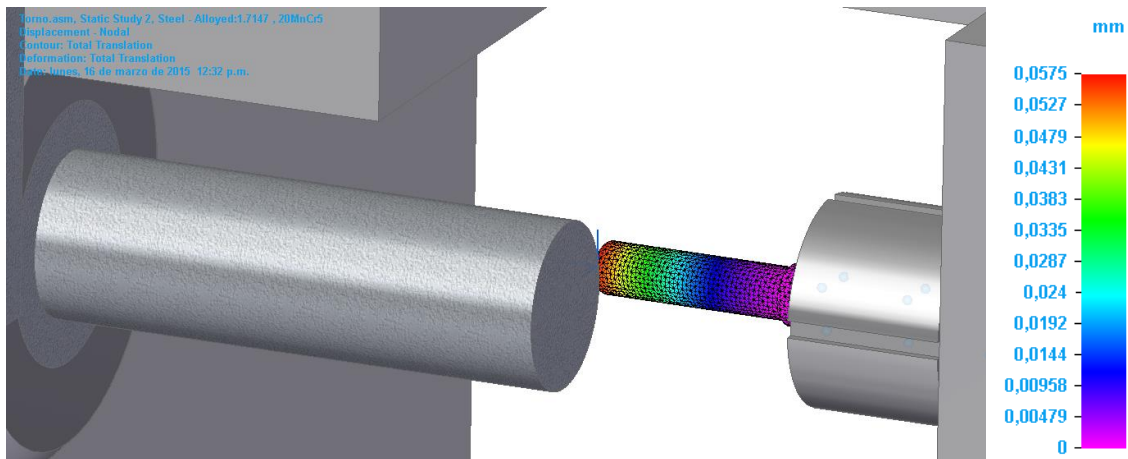
Figura 69. Fuerza alternante de corte en Trono-fresado axial.

Fuerza de Corte Vs ángulo de herramienta.



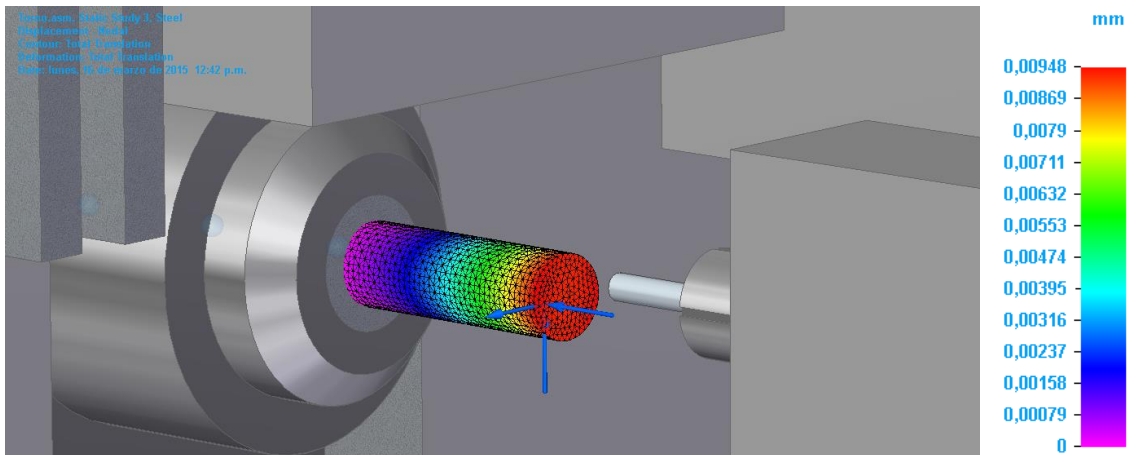
Por medio de un análisis de elementos finitos para determinar la deformación máxima en la herramienta y el material en bruto, en donde la fuerza resultante se ubica en el centroide del área transversal de la herramienta. En la **Figura 70** se visualiza un desplazamiento máximo de la punta de la herramienta de 0,0575 mm, que en comparación a los anteriores análisis no representa ningún cambio sustancial.

Figura 70. Deformación de la herramienta en proceso de torno-fresado axial.



El comportamiento de la herramienta es independiente de la máquina pero si depende del modo de uso o de la operación tecnológica que se utilice. Por otra parte la deformación del material en su punto máximo es de 0,00948 mm que a comparación de los anteriores montajes es una magnitud despreciable, tal y como se muestra en la **Figura 71**.

Figura 71. Deformación de material en proceso de torno-fresado axial.



Debido a la flexibilidad de la máquina, es posible ejecutar mecanizados por medio de un ataque axial de la herramienta. Sin embargo la rigidez en las operaciones es menor a comparación del montaje PA-A.

El motivo por el cual se efectúa una parte del análisis sobre el material en bruto, se debe a que el voladizo del mismo aumenta, esto ocurre al sacar el material de la boquilla para permitir que la herramienta pueda cortar. Una condición favorable es que la distancia del voladizo se mantiene constante para cualquier operación.

En la Tabla 92, está consignados la información correspondiente al factor de rigidez del montaje, aunque es menor que la rigidez del procedimiento PA-A se mantiene por encima de la rigidez que puede ofrecer una máquina herramienta convencional.

**Tabla 92. Factor de rigidez PA-B.**

Error de maquina [mm]	Error de herramienta [mm]	$\Delta l$ [mm]	$F_r$ [N]	$K$
0,01 mm	0,03048 mm	0,06698	162	2418,63

### 7.1.3 ANÁLISIS DE COSTOS.

Con respecto al procedimiento PA-B, el mejoramiento en la ejecución de las operaciones y el flujo de la información denota una reducción en los costos, esta reducción se presenta al reducir los tiempos de producción por medio del mejoramiento de los procesos. Para una implementación eficiente de una máquina herramienta como el torno de cabezal móvil es necesario el uso de un software especializado para manipular de manera flexible las prestaciones de la tecnología.

En este caso se utilizó una licencia cuyo costo estimado es de 48'200.000 COP y un mantenimiento mensual de 803.000 COP, debido al alto valor de la inversión, se determinó incluir en los costos de producción un servicio de programación CAD-CAM, por valor de 1'000.000 COP. El modo en el que se estiman el aumento en el costo total de producción es distribuyendo el valor del servicio en la producción de 40 elementos.

Como resultado se obtiene un aumento en la productividad y un mejoramiento en la calidad de los procesos que se ve reflejado en la calidad del producto terminado, esto sumado a los bajos costos de producción representan una significativa mejora en la utilidades que puede percibir una empresa.

En la Tabla 93, se encuentra consignado la información correspondiente al costo estimado de hora máquina incluyendo el costo del software. La participación del 26% del software sobre el proceso es resultado del tiempo de programación con relación al tiempo total de fabricación de 40 unidades de selectores.

**Tabla 93. Costo estimado de hora máquina PA-B.**

Servicio	Programacion CAD-CAM	Horas habiles al año	2920
Vida Util	N/A	Horas domingos y festivos	560
Area ocupada	N/A	Participacion	26,0%
Costo Servicio	\$ 1.000.000	Horas productivas al año	2360
		Horas productivas al año-capacidad	613,6
<b>Costo Hora-Máquina</b>			
<b>Costos Fijos</b>		<b>Costo al Año</b>	
Costo Servicio		\$ 0	
Total Costo			<b>\$ 0</b>
<b>Costos Variables</b>			
Total Costo Variable			<b>\$ 1.000.000</b>
<b>Costo total al año</b>			<b>\$ 1.000.000</b>
<b>Costo Hora Software</b>			<b>\$ 1.630</b>
<b>Costo Hora Maquina</b>			<b>\$ 26.058</b>

*7.1.3.1 Capacidad estimada de producción.*

Debido a la inversión del software CAM y mejorar el control de información para reducir reproceso y maximizar las prestaciones de la máquina el tiempo total de fabricación se ve reducido en un 77%.

En la Tabla 94, se muestra el tiempo neto de fabricación de un lote de selectores y el tiempo en semanas para tener para visualizar el tiempo que dura ocupada la máquina al mes.

**Tabla 94. Relación capacidad de producción y tiempo de fabricación**

Tiempo Fabricacion	Distribucion en Semanas	Costo de producción	Costo Unitario
11,47	0,24	\$ 298.793	\$ 7.470

Aunque se ha incluido el costo asociado con un software de gama alta, la reducción del costo de producción en relación al tiempo en el que es posible fabricar 40 piezas es un beneficio tangible, esto permite el uso de la máquina con un 90% de eficiencia, además de

que la combinación de tecnologías permite el desarrollo tecnológico de cualquier organización.

## 8 RESULTADOS.

Siendo la productividad, un indicador que permite establecer cuanto más se puede producir con otra tecnología, y el cual tiene como referencia el Tiempo mayor de maquinado, sobre el tiempo nuevo de maquinado (**Ecuación 8**), se puede percibir un notorio cambio en entre los diferentes procedimientos ejecutados.

Aunque los costos de implementación de una tecnología como la de control numérico computarizado enlazado con software CAM sean altos, bien vale la inversión. La posibilidad de expansión gracias a la apropiación de nuevas técnicas que favorecen la calidad de los procesos y el rendimiento en un sistema de producción, hacen que la inversión para apropiar tecnología sea viable en la mayoría de los escenarios.

En la Tabla 95, se encuentran los datos pertinentes a la comparación de los 4 procedimientos ejecutados, para determinar el aumento de la productividad asociado con los costos de producción. Es notable que a mayor implementación de recursos el costo para producir cada elemento tiene a bajar, lo cual se debe a la facilidad de lograr con las especificaciones en un menor tiempo.

Los procedimientos PA-A y PA-B, aunque usan la misma máquina herramienta para ejecutar las operaciones tecnológicas tienen diferencias sustanciales en la productividad. La apropiación efectiva de la tecnología agrupada por el proceso PA-B en el cual, además de usar el torno de cabezal móvil, cuenta con la tecnología CAM y las técnicas propias para una ejecución más limpia de los procesos como, la programación de estrategias más eficientes por medio de métodos MRSEV.

**Ecuación 8. Índice de productividad.**

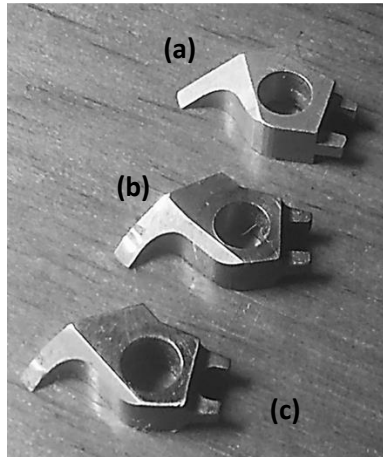
$$T_{wr} = \frac{T_w}{T_{wn}}$$

**Tabla 95. Comparación entre Procedimientos**

	Tiempo de Operación [min]	Tiempo de Corte [min]	Tiempo Muerto [min]	Rigidez [N/mm]	Costo Unitario COP	Costo x 40 und COP	Productividad Relativa [TW <sub>r</sub> ]	Productividad [TW]
PC-A	195,98	74,23	121,76	1241,23	\$ 15.927	\$ 637.080	1,00	1,00
PC-B	118,98	26,35	92,75	1647,30	\$ 17.490	\$ 699.600	1,65	1,65
PA-A	22,32	21,72	0,60	5377,62	\$ 9.087	\$ 363.480	5,33	8,78
PA-B	17,20	16,85	0,31	2418,60	\$ 7.470	\$ 298.793	1,30	11,39

En la Figura 72, se muestran los elementos fabricados en donde el selector (a), muestra el resultado de los procedimientos PA-A y PA-B, se ha mostrado solo una pieza, puesto que ambos procesos fueron programados sobre el mismo prototipo digital. Por otra parte las figuras (b) y (c) corresponden a los procesos PC-A y PC-B respectivamente.

**Figura 72. Selectores Resultantes.**



En cuanto a los costos de producción, es notable que a mayor implementación tecnológica mayor son los costos de adquirir nueva tecnología, sin embargo por medio de un análisis como este es posible determinar que una serie de tecnologías alineadas con un mismo propósito es capaz de reducir los costos de operación hasta en un 60%.

Aunque en la actualidad muchos elemento con características similares a los selectores se sigan fabricando con tecnología convencional es posible migrar hacia herramientas y flujos de trabajo más eficientes; esto no quiere decir que sea posible fabricar más selectores en menos tiempo, por el contrario se trata de disponer de herramientas con más capacidad y más tiempo de operación con bajos costos de operación en relación a lo que es posible producir.

## 9 ANALISIS ECONOMICO FINANCIERO.

Para tomar una decisión viable en cuanto a la adquisición de MHCN con respecto a las MHCH existentes, es necesario establecer el escenario en el cual se podría ejercer la migración de tecnologías.

### 9.1 Generalidades.

- Se considera una pequeña empresa productora de repuestos del sector textil, la cual quiere reducir sus costos de producción y maximizar su capacidad para adquirir más contrataciones con empresas del sector.
- Los elementos, datos, coeficientes, hipótesis, precios y valores son preparados para este caso, sin revisar si corresponden ó no a la realidad del momento.
- Las MHCN y MHCH analizadas en numerales anteriores prevé trabajar 260 días útiles al año y lo puede hacer en 3 turnos por día de 8 horas cada uno.
- Se estima que la migración de tecnologías, que consta de la instalación de nuevos equipos y herramientas tardaría 24 meses desde el momento de la aprobación e inicio de la ejecución.

### 9.2 MERCADO.

La demanda histórica de selectores Ref. 2RL, se registra en la Tabla 96.

Tabla 96. Historico de demanda.

AÑO	2004	2005	2006	2007	2008	2009	2010	2011	2012
CANTIDAD [UND]	289,6	288,7	282,3	287,7	287,0	283,7	288,2	287,5	289,9

Base afiliados a CC tercer trimestre 2003

Los valores actuales de venta de los selectores son de 60.000 COP por unidad. La empresa puede participar con el 25% del mismo para el primer año de producción con la nueva planta e incrementar, anualmente en el 5% su participación, hasta llegar máximo al 50% del total de este.

### 9.2.1 MATERIAS PRIMAS E INSUMOS.

La disponibilidad de materias primas y de los insumos es lo suficientemente amplia como para atender la demanda total del proyecto, sin restricción alguna. Y las requisiciones son listadas a continuación en la Tabla 97, con sus respectivos precios de adquisición hoy, y su requerimiento y rendimiento correspondiente.

**Tabla 97. Materiales e insumos.**

PRODUCTO	COSTO	UNIDAD	RENDIMIENTO
Platina e=1/4" SAE 4140	\$ 12.000	130 x 90 mm	1 platina x 40 unds
Barra 3/4" SAE 4140	\$ 38.000	6 m	1 barra x 730 unds
Refrigerante	\$ 13.000	Galon	1 galon x 1000
EMD58008 Fresa 6 mm	\$ 44.000	Unidad	1 hta x 20 und
Broca 6 mm	\$ 9.000	Unidad	1 hta x 20 und
931201 EM208 Fresa 3 mm	\$ 36.000	Unidad	1 hta x 20 und

### 9.2.2 OPCIONES SOBRE TECNOLOGIA Y COSTO GLOBAL.

Las tecnologías convencionales y de control numérico que se analizaron en este trabajo hacen referencia a las máquinas y otras herramientas descritas en la Tabla 98.

**Tabla 98. Opciones de tecnología.**

TECNOLOGIA	PRODUCCION	COSTO GLOBAL	VIDA UTIL
Poligym 20 CSB II + NX CAM	3,5 unidades/hora	\$ 198.200.000	10
Poligym 20 CSB II	2,7 unidades/hora	\$ 150.000.000	10
Fresador QW-32+Divisor Vertex BS2+Torno paralelo	0,3 unidades/hora	\$ 57.500.000	10

### 9.2.3 PLAN DE FINANCIAMIENTO.

Teniendo como referente el costo global de las tecnologías planteadas en la Tabla 98, es necesario plantear un plan de financiamiento, para evaluar una posible forma de inversión. Se pretende cubrir el valor del proyecto por medio de la amortización de la deuda a partir del segundo año de operación con un interés del 20% anual, como se muestra a continuación en la Tabla 99, Tabla 100 y Tabla 101.

Tabla 99. Tabla de financiamiento (CNC+CAM)

n [Años]	SALDO	AMORTIZACIÓN DEUDA	INTERÉS 20% A	PAGO TOTAL	INTERÉS DEFLACTADO
0	\$ 99.180.000	0,00	0,00	0,00	0,00
1	\$ 99.180.000	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
2	\$ 79.344.000	\$ 19.836.000,00	\$ 19.836.000,00	\$ 39.672.000,00	\$ 19.054.755,04
3	\$ 59.508.000	\$ 19.836.000,00	\$ 15.868.800,00	\$ 35.704.800,00	\$ 14.643.423,66
4	\$ 39.672.000	\$ 19.836.000,00	\$ 11.901.600,00	\$ 31.737.600,00	\$ 10.550.017,05
5	\$ 19.836.000	\$ 19.836.000,00	\$ 7.934.400,00	\$ 27.770.400,00	\$ 6.756.334,97
6	\$ 0	\$ 19.836.000,00	\$ 3.967.200,00	\$ 23.803.200,00	\$ 3.245.117,66
7	\$ 0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
8	\$ 0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
9	\$ 0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
10	0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Total amortizacion deuda=		<b>99.180.000,00</b>			

Tabla 100. Tabla de financiamiento (CNC)

n [Años]	SALDO	AMORTIZACIÓN DEUDA	INTERÉS 20% A	PAGO TOTAL	INTERÉS DEFLACTADO
0	\$ 79.900.000	0,00	0,00	0,00	0,00
1	\$ 79.900.000	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
2	\$ 63.920.000	\$ 15.980.000,00	\$ 15.980.000,00	\$ 31.960.000,00	\$ 15.350.624,40
3	\$ 47.940.000	\$ 15.980.000,00	\$ 12.784.000,00	\$ 28.764.000,00	\$ 11.796.829,51
4	\$ 31.960.000	\$ 15.980.000,00	\$ 9.588.000,00	\$ 25.568.000,00	\$ 8.499.156,71
5	\$ 15.980.000	\$ 15.980.000,00	\$ 6.392.000,00	\$ 22.372.000,00	\$ 5.442.943,78
6	\$ 0	\$ 15.980.000,00	\$ 3.196.000,00	\$ 19.176.000,00	\$ 2.614.286,16
7	\$ 0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
8	\$ 0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
9	\$ 0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
10	0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Total amortizacion deuda=		<b>79.900.000,00</b>			

Tabla 101. Tabla de financiamiento (Convencional)

n [Años]	SALDO	AMORTIZACIÓN DEUDA	INTERÉS 20% A	PAGO TOTAL	INTERÉS DEFLACTADO
0	\$ 48.500.000	0,00	0,00	0,00	0,00
1	\$ 48.500.000	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
2	\$ 38.800.000	\$ 9.700.000,00	\$ 9.700.000,00	\$ 19.400.000,00	\$ 9.317.963,50
3	\$ 29.100.000	\$ 9.700.000,00	\$ 7.760.000,00	\$ 17.460.000,00	\$ 7.160.778,86
4	\$ 19.400.000	\$ 9.700.000,00	\$ 5.820.000,00	\$ 15.520.000,00	\$ 5.159.062,58
5	\$ 9.700.000	\$ 9.700.000,00	\$ 3.880.000,00	\$ 13.580.000,00	\$ 3.303.914,56
6	\$ 0	\$ 9.700.000,00	\$ 1.940.000,00	\$ 11.640.000,00	\$ 1.586.894,60
7	\$ 0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
8	\$ 0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
9	\$ 0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
10	0	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Total amortizacion deuda=		<b>48.500.000,00</b>			

#### 9.2.4 MANO DE OBRE FIJA Y VARIABLE DE PRODUCCION.

En cuanto a las estimación de los costos referentes a la mano de obra Tabla 102, necesaria para la producción de selectores, se estipularon los siguientes cargos con una carga prestacional de 52,5%.

**Tabla 102. Nomina fija y variable de produccion.**

NOMINA FIJA DE PRODUCCION			
Personas	Costo mensual	Costo anual	Costo total
1	\$ 2.500.000,00	\$ 30.000.000,00	\$ 45.750.000,00
NOMINA VARIABLE DE PRODUCCION			
Personas	Costo mensual	Costo anual	Costo hora
1 Operarios	\$ 600.000,00	\$ 14.400.000,00	\$ 3.461,54
1 Supervisor	\$ 1.000.000,00	\$ 24.000.000,00	\$ 5.769,23

Como resultado, los costos relacionados con la nomina, necesaria para la operación de las máquinas herramientas esta descrita en la Tabla 103

**Tabla 103. Costo Total nomina.**

Fresador QW-32+Divisor Vertex BS2+Torno paralelo Poligym 20 CSB II Poligym 20 CSB II + NX CAM	
Total trabajado mes individual	Costo total
\$ 1.200.000,00	\$ 21.960.000,00
\$ 2.000.000,00	\$ 36.600.000,00
Total pagado	\$ 58.560.000,00

#### 9.2.5 FLUJOS NETOS DE CAJA.

El flujo de caja correspondiente a la tecnología de control numérico combinada con tecnología CAM, cuya capacidad instalada de 364 conjuntos de selectores al año, es la mayor con respecto a las demás tecnologías. Es apartir de los flujos de cajas que se puede indagar sobre la viabilidad financiera del proyecto de acuerdo del analisis de la producción vs. Los gastos.

En la Tabla 104, se muestra una capacidad instalada de 364 juegos de selectores al año, lo cual supera inclusive la demanda total de 292 juegos al año, sin embargo haciendo la suposición en la que se cubre la demanda total con ventas por un valor de 700.800.000 COP; el análisis financiero mostrado en la Tabla 105, permite visualizar el flujo de caja de la inversión.

Tabla 104. Factor de proyeccion (CNC+CAM)

CALCULO DEL FACTOR DE PROYECCION				
CAPACIDAD INSTALADA	364	[UND]		
AÑO	DEMANDA	PRODUCCION REAL	"FP"	ventas
	292,00	292,00	0,80	\$ 700.800.000,00

Tabla 105. Flujo neto de caja (CNC+CAM)

FLUJO NETO DE CAJA	PERÍODOS			
	0	1	2	3
Utilidad neta del ejercicio "UNE"		\$ 384.752.676,92	\$ 371.872.563,78	\$ 284.273.878,91
Inversión	(\$ 247.950.000,00)	\$ 59.460.000,00	\$ 59.460.000,00	\$ 0,00
Capital trabajo	\$ 0,00			
Depreciación		\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 17.838.000,00
Valor de salvamento				
RAFND				
Amortización de diferidos		\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Amortización a la deuda	\$ 0,00	\$ 0,00	(\$ 19.836.000,00)	(\$ 19.836.000,00)
<b>FNC</b>	<b>(\$ 247.950.000)</b>	<b>\$ 444.212.677</b>	<b>\$ 411.496.564</b>	<b>\$ 282.275.879</b>

PERÍODOS						
4	5	6	7	8	9	10
\$ 296.039.649,67	\$ 300.301.402,65	\$ 297.119.525,69	\$ 296.528.975,74	\$ 303.581.656,20	\$ 302.531.000,04	\$ 298.751.053,15
\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
						\$ 200.000.000,00
\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00
						\$ 19.820.000,00
						\$ 4.000.000,00
\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
(\$ 19.836.000,00)	(\$ 19.836.000,00)	(\$ 19.836.000,00)	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>\$ 294.041.650</b>	<b>\$ 298.303.403</b>	<b>\$ 295.121.526</b>	<b>\$ 314.366.976</b>	<b>\$ 321.419.656</b>	<b>\$ 320.369.000</b>	<b>\$ 540.409.053</b>

Por otro lado, en el calculo del factor de proyección para la aplicación de la tecnología CNC sin apoyo de herramientas CAM, es posible determinar que la capacidad instalada de 280,9 juegos de selectores al año, esta por debajo de la demanda y tiene un valor de ventas estimado en 673.920.000 COP, tal y como se muestra en la Tabla 106.

Tabla 106. Calculo de factor de proyeccion (CNC)

CALCULO DEL FACTOR DE PROYECCION				
CAPACIDAD INSTALADA	280,8	[UND]		
AÑO	DEMANDA	PRODUCCION REAL	"FP"	ventas
	292,00	280,80	1,00	\$ 673.920.000,00

Teniendo en cuenta el factor de proyección de la tecnología CNC y con el plan de inversión se genera el flujo de caja de la Tabla 107, en donde es posible visualizar el punto de equilibrio de la inversión sobre el periodo 7.

**Tabla 107. Flujo neto de caja (CNC)**

FLUJO NETO DE CAJA				
	0	1	2	3
Utilidad neta del ejercicio "UNE"		\$ 471.744.000,00	\$ 460.998.562,92	\$ 368.255.670,49
Inversión	(\$ 199.750.000,00)	\$ 45.000.000,00	\$ 45.000.000,00	\$ 0,00
Capital trabajo	\$ 0,00			
Depreciación		\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 17.838.000,00
Valor de salvamento				
RAFN				
Amortización de diferidos		\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Amortización a la deuda		\$ 0,00	(\$ 15.980.000,00)	(\$ 15.980.000,00)
<b>FNC</b>	<b>(\$ 199.750.000)</b>	<b>\$ 516.744.000</b>	<b>\$ 490.018.563</b>	<b>\$ 370.113.670</b>

PERÍODOS						
4	5	6	7	8	9	10
\$ 370.654.023,30	\$ 372.793.372,35	\$ 374.773.432,68	\$ 376.603.432,99	\$ 376.603.432,99	\$ 376.603.432,99	\$ 376.603.432,99
\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
						\$ 200.000.000,00
\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00
						\$ 15.000.000,00
						\$ 4.000.000,00
\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
(\$ 15.980.000,00)	(\$ 15.980.000,00)	(\$ 15.980.000,00)	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
<b>\$ 372.512.023</b>	<b>\$ 374.651.372</b>	<b>\$ 376.631.433</b>	<b>\$ 394.441.433</b>	<b>\$ 394.441.433</b>	<b>\$ 394.441.433</b>	<b>\$ 613.441.433</b>

En cuanto a la tecnología convencional, su factor de proyección muestra una capacidad instalada de 31,2 juegos al año; muy por debajo de la demanda de los 292 juegos que se estiman al año.

CALCULO DEL FACTOR DE PROYECCION				
CAPACIDAD INSTALADA	31,2	[UND]		
AÑO	DEMANDA	PRODUCCION REAL	"FP"	ventas
	292,00	31,20	1,00	\$ 74.880.000,00

Sin embargo con un valor en las ventas de 74.880.000 COP en relación al costo de inversión sobre la tecnología convencional se mantiene un flujo de caja estable y resulta ser una inversión tentadora y rentable tal y como se muestra en la Tabla 108.

Tabla 108. Flujo neto de caja (Convencional).

FLUJO NETO DE CAJA	PERÍODOS			
	0	1	2	3
Utilidad neta del ejercicio "UNE"		\$ 122.304.000,00	\$ 116.372.088,38	\$ 60.052.015,89
Inversión	(\$ 110.270.000,00)	\$ 17.250.000,00	\$ 17.250.000,00	\$ 0,00
Capital trabajo	\$ 0,00			
Depreciación		\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 17.838.000,00
Valor de salvamento				
RAFND				
Amortización de diferidos		\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
Amortización a la deuda		\$ 0,00	(\$ 8.821.600,00)	(\$ 8.821.600,00)
<b>FNC</b>	<b>(\$ 110.270.000)</b>	<b>\$ 139.554.000</b>	<b>\$ 124.800.488</b>	<b>\$ 69.068.416</b>

PERÍODOS						
4	5	6	7	8	9	10
\$ 61.326.329,11	\$ 62.507.335,47	\$ 63.600.408,08	\$ 64.610.641,54	\$ 64.610.641,54	\$ 64.610.641,54	\$ 64.610.641,54
\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
						\$ 200.000.000,00
\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00	\$ 17.838.000,00
						\$ 5.750.000,00
						\$ 18.000.000,00
\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
(\$ 8.821.600,00)	(\$ 8.821.600,00)	(\$ 8.821.600,00)	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00	\$ 0,00
\$ 70.342.729	\$ 71.523.735	\$ 72.616.808	\$ 82.448.642	\$ 82.448.642	\$ 82.448.642	\$ 306.198.642

### 9.3 COMPARACION FINANCIERA.

Contando con las consideraciones necesarias en la evaluación del mercado y el análisis de los flujos de caja para la implementación de tecnologías, se obtendrán los resultados plasmados en la Tabla 109, en donde se encuentran los indicadores TIR (Taza Interna de Retorno, VPN (valor Presente Neto) y la relación B/C (Beneficio – Costo).

**Tabla 109. Evaluacion Financiera.**

	A	B	C
	<b>CONVERSION DE TASAS</b>		
ÍTEM	VALOR	VALOR	VALOR
Tasa costo de oportunidad corriente	16,00%	16,00%	16,00%
Tasa de tendencia inflacionaria	4,10%	4,10%	4,10%
Tasa costo de oportunidad constante	11,43%	11,43%	11,43%
	<b>INDICADORES FINANCIEROS</b>		
INDICADOR	VALOR	VALOR	VALOR
TIR	176%	266%	109%
VPN	1.837.623.222,50	2.336.504.649,77	498.773.444,38
B/C	8,75	13,38	5,52

Nota:

A	Poligym 20 CSB II + NX CAM
B	Poligym 20 CSB II
C	Fresador QW-32+Divisor Vertex

La selección de la tecnología, según el escenario planteado no solo se basa en la TIR o la relación beneficio costo, debido a que los valores iniciales de la inversión son lejanos unos de otros. Sin lugar a duda la tecnología CNC apoyada por la tecnología CAM es la opción menos viable, puesto a su elevado costo y su sobredimensionada capacidad instalada en relación a la demanda de selectores.

Por otro lado las opciones C (Tecnología Convencional) y B (Tecnología CNC) son las mas viables para pequeñas y medianas empresas respectivamente, puesto a que son capaces de retornar la inversión de manera eficaz.

## 10 RECOMENDACIONES.

De acuerdo al montaje experimental y al modo de ejecución de los procedimientos convencionales y en máquinas de control numérico computarizado, se dedujo que la mejor manera de planear una estrategia de mecanizado a través de MRSEV es basarse en las características inherentes de las máquinas que intervienen en el proceso de producción del elemento en cuestión.

Los MRSEV no solamente deben estar basados en la eficiencia de la remoción de volumen de material; estos deben tener el montaje de los IPW para mantener la rigidez de los montajes durante todas las operaciones; esto, para salvaguardar la calidad de las piezas.

En cuanto a los parámetros de corte, además de estar basados en las características de la herrmainetas, también es necesario relacionarlos con el desarrollo de la operación tecnológica. Aunque los parámetros de corte para una herramienta de fresado simulen ser lo mismo debe tenerse en cuenta el modo de uso de la misma. (No trabaja en iguales condiciones un escariador en un fresado axial que radial).

La selección de una tecnología no debe estar basada en análisis técnicos o económicos por separado, es necesario combinar ambos aspectos para tomar una decisión. Si se toma un análisis económico sin tener en cuenta aspectos técnicos de cualquier tecnología es probable que se fracase en la implementación, por esta razón es de vital importancia conocer a fondo la tecnología.

La implementación de tecnología por lo general cambia de manera radical el modo de trabajo en una organización por eso es importante tener en cuenta que no solo se trata de adquirir equipos nuevos, también es indispensable adquirir conocimiento para que la implementación sea llevada con éxito.

## 11 CONCLUSIONES.

Para apropiarse de nuevas tecnologías de manera eficiente, no basta con hacer una inversión para adquirir algunos activos en una organización, es de vital importancia cambiar la estructura de la organización y la mentalidad de la parte técnica, lo que equivale a integrar diversos tipos de herramientas basados en la experiencia del talento de las personas.

Las herramientas como las máquinas de control numérico y los software CAM, no se concibieron para eliminar al operario manual de una máquina o al programador de tarjetas, la razón de su existencia es el resultado de la evolución de los procesos orientados a mitigar las pérdidas de tiempo e información en el transcurso de un sistema de producción, con lo cual se logra una disminución considerable en los costos asociados a la producción de cualquier elemento.

Para la implementación efectiva de tecnología son necesarios 3 factores. El primero se basa en el recurso humano, en donde el talento de las personas debe ser acorde a la tecnología que pretende instalarse. No se trata de reemplazar profesionales experimentados por gente joven, se trata de implementar cultura de desarrollo e investigación para que las organizaciones no se queden estancadas en el desarrollo de la calidad de sus productos. Muchas de las técnicas no son necesariamente desarrollos actuales, las técnicas de planeación de procesos basadas en MRSEV, permite orientar un sistema de producción a un factor en específico. Este método solo necesita ser apropiado por el programador de los elementos, por ende no depende del software o de la máquina.

El segundo factor son las máquinas herramientas que en este caso funcionan como una extensión del operario para darle forma al material por medio de las operaciones tecnológicas preestablecidas. Es un error común en la industria, cuando se piensa que una máquina por sí sola puede ayudar a mejorar los procesos en una organización, sin embargo esta implementación siempre debe estar acompañada de su respectivo entrenamiento.

El tercer factor es el uso de sistemas informáticos que permitan controlar y editar el flujo de información al interior de la organización, lo que permite el uso eficiente de las máquinas herramientas, en este caso los software CAD-CAM-CAE, permiten un lanzamiento de producto más eficiente. El uso de un software CAM de gama alta, permite implementar estrategias que mejoran de manera contundente la producción de elementos.

Dentro de la tecnología CAM, un componente importante es la simulación y verificación de los procesos en un entorno digital, lo cual plantea una reducción de costos al reducir las iteraciones en los flujos de trabajo, que se deben en gran medida al retrabajo por fallos en el flujo de información de ingeniería.

Como resultado principal, el procedimiento PA-B obtiene un aumento en la productividad y un mejoramiento en la calidad de los procesos que se ve reflejado en la calidad del

producto terminado, esto sumado a los bajos costos de producción representan una significativa mejora en la utilidades que puede percibir una empresa.

La selección de una máquina herramienta de control numérico no debe estar limitada a los costos que puedan incurrir en la producción de un elemento. La selección de herramientas de control numérico debe hacerse desde el ámbito de la ingeniería y por medio de un análisis de la arquitectura y la flexibilidad de la máquina.

La tecnología no se ha desarrollado para nichos o áreas específicas, la tecnología es una combinación de herramientas que se adaptan a cualquier tipo de organización. La mejor manera de seleccionar las herramientas que correspondan a una empresa es por medio de un análisis minucioso de los procesos y variables que impactan de manera directa sobre los procesos.

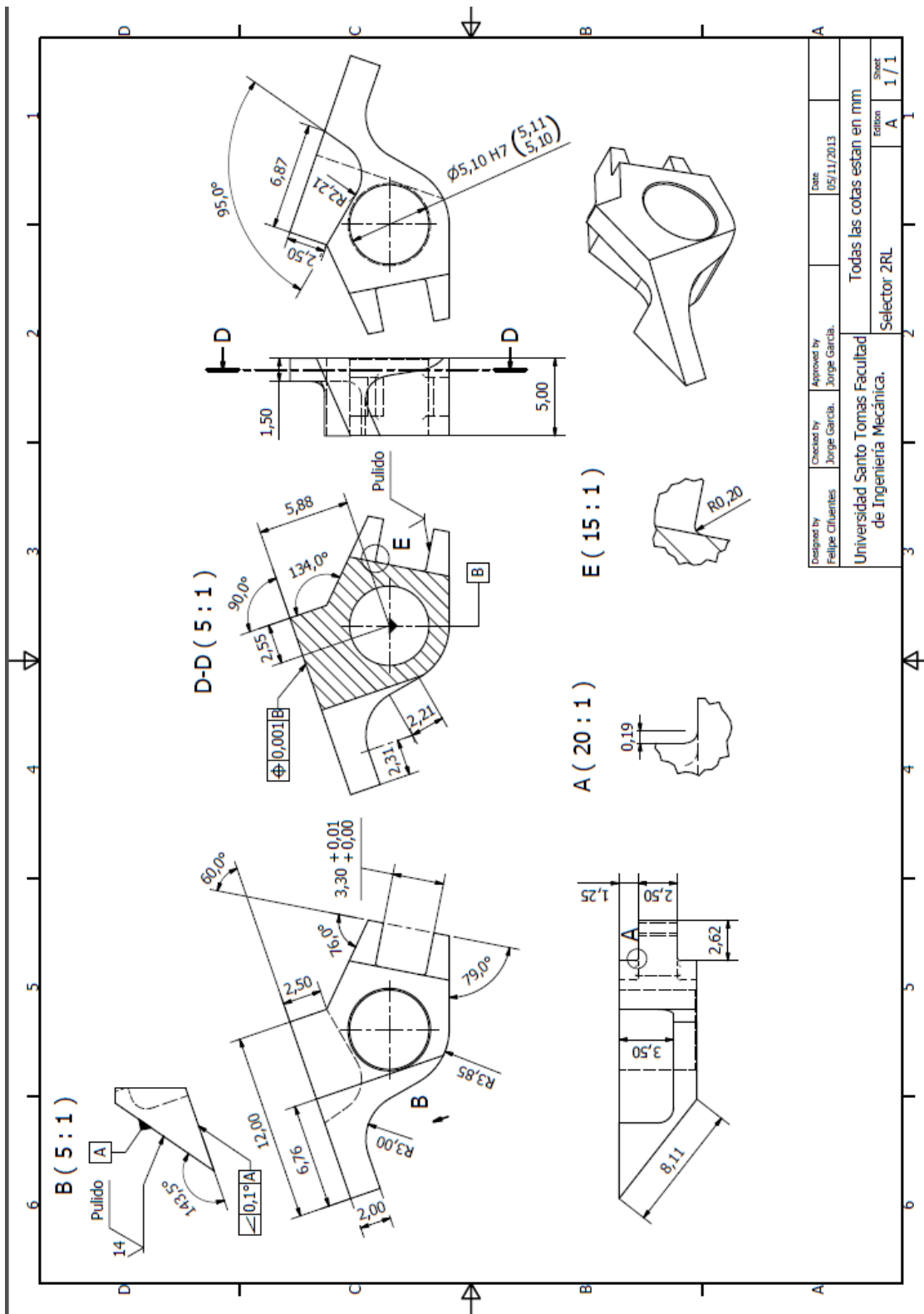
Tomar decisiones para adquirir tecnología no debe limitarse a análisis económicos, basados en comparaciones sin fundamentos de ingeniería, puesto que se limitaría la capacidad tecnológica esperada. Cualquier desarrollo tiene como objetivo mejorar el producto y los procesos por los cuales se fabrican.

Cuando se determina un análisis económico basado en estudios técnicos de ingeniería, es posible determinar con mayor precisión la viabilidad de inversión sobre una o varias tecnologías. De acuerdo al análisis económico realizado, la tecnología que mas se acerca a las condiciones de mercado se basa en la apropiación de las maquinas herramientas de control numérico sin el uso específico de software CAM.

Los selectores son geometrías regulares que no requieren la programación de trayectorias complejas de superficies, por lo tanto no es vital el uso de la tecnología CAM, a menos que la demanda aumentara y se generara la necesidad de optimizar lo procesos.

ANEXOS.

A.1 Plano de Selector.



## A.2 Códigos NC.

### PA-A

DESBASTE 1	N0070 G1 Z1.2962 F250. M08	N0010 G40 G17 G94 G90 G70
N0010 G40 G17 G94 G90 G70	N0080 X3.	N0020 G91 G28 Z0.0
N0020 G91 G28 Z0.0	N0090 X8.	N0030 T11 M06
N0030 T12 M06	N0100 X13.	N0040 G0 G90 X-4.0142 Y13.8968
N0040 G0 G90 X10.2289 Y17.5629	N0110 Z4.2962	B0.0 S2000 M03
B0.0 S1700 M03	N0120 G0 Z18.9012	N0050 G43 Z7. H11
N0050 G43 Z7. H12	N0130 M02	N0060 Z-8.
N0060 Z-8.		N0070 G1 Z-11. F250. M08
N0070 G1 Z-11. F250. M08	DESBASTE 5	N0080 X-1.7731 Y7.3881
N0080 Y7.5629	N0010 G40 G17 G94 G90 G70	N0090 X-1.0205 Y5.2026
N0090 Y-4.4371	N0020 G91 G28 Z0.0	N0100 Z-8.5
N0100 Y-16.5607	N0030 T12 M06	N0110 G0 Z7.
N0110 Z-8.	N0040 G0 G90 X8.85 Y18.0261 B0.0	N0120 M02
N0120 G0 Z7.	S1800 M03	
N0130 M02	N0050 G43 Z7. H12	TRONZADO
	N0060 Z-8.	N0010 G94 G90 G20
DESBASTE 2	N0070 G1 Z-11. F250. M08	N0020 G50 X0.0 Z0.0
N0010 G40 G17 G94 G90 G70	N0080 Y8.0261	N0030 T01 H00 M06
N0020 G91 G28 Z0.0	N0090 Y-9.2679	N0040 G97 S20000 M03
N0030 T10 M06	N0100 Y-19.2679	N0050 G94 G00 X16.5 Z6.5
N0040 G0 G90 X0.0 Y-5.9371 B90.	N0110 Z-8.	N0060 X13.6374 Z-.75
S1700 M03	N0120 G0 Z7.	N0070 G92 S2000
N0050 G43 Z15.2289 H10	N0130 M02	N0080 G96 M03
N0060 Z5.7289		N0090 G95 G01 X12.4374 F.004
N0070 G1 Z2.7289 F250. M08	DESBASTE 6	N0100 X-1.2
N0080 X3.	N0010 G40 G17 G94 G90 G70	N0110 X-2.4 F.7
N0090 X8.	N0020 G91 G28 Z0.0	N0120 G94 G00 Z2.25
N0100 X11.	N0030 T11 M06	N0130 X13.725
N0110 Z5.7289	N0040 G0 G90 X-14.1138 Y-3.1679	N0140 Z-1.5
N0120 G0 Z15.2289	B0.0 S1700 M03	N0150 G95 G01 X12.525 F.004
N0130 M02	N0050 G43 Z7. H11	N0160 X-1.2
	N0060 Z-8.	N0170 X-2.4 F.7
PLANO INCLINADO	N0070 G1 Z-11. F250. M08	N0180 G94 G00 Z1.5
N0010 G40 G17 G94 G90 G70	N0080 X-6.8076 Y-1.528	N0190 X13.725
N0020 G91 G28 Z0.0	N0090 X-5.7335 Y.7295	N0200 Z-2.25
N0030 T11 M06	N0100 X-1.6668 Y9.2762	N0210 G95 G01 X12.525 F.004
N0040 G0 G90 X-1.9838 Y-1.7265	N0110 X.7918 Y14.4433	N0220 X-1.2
B90. S1800 M03	N0120 Z-8.	N0230 X-2.4 F.7
N0050 G43 Z15.2289 H11	N0130 G0 Z7.	N0240 G94 G00 Z.75
N0060 Z-.7711	N0140 M02	N0250 X13.725
N0070 G1 Z-3.7711 F250. M08		N0260 Z-3.
N0080 X.9904 Y2.2928	DESBASTE 7	N0270 G95 G01 X12.525 F.004
N0090 X5.9904 Y9.0499	N0010 G40 G17 G94 G90 G70	N0280 X-1.2
N0100 X8.9645 Y13.0692	N0020 G91 G28 Z0.0	N0290 X-2.4 F.7
N0110 Z-.7711	N0030 T11 M06	N0300 G94 G00 X16.5 Z6.5
N0120 G0 Z15.2289	N0040 G0 G90 X-3.1583 Y3.5089 B0.0	N0310 M02
N0130 M02	S1800 M03	
	N0050 G43 Z7. H11	
DESBASTE 4	N0060 Z0.0	
N0010 G40 G17 G94 G90 G70	N0070 G1 Z-11. F250. M08	
N0020 G91 G28 Z0.0	N0080 X-1.2446 Y4.606	
N0030 T11 M06	N0090 Z-9.5	
N0040 G0 G90 X-2. Y7.5453 B90.	N0100 G0 Z7.	
S1800 M03	N0110 M02	
N0050 G43 Z18.9012 H11		
N0060 Z4.2962	DESBASTE 8	

PA-B.

%

DESBASTE\_Y\_ACABADO\_PERFIL

N4 G54 G40 G98 G50 S3=2000

N6 G43.1

N7 M92

N8 G28 U0

N9 G28 V0

N0010 M5

N0020 M90

N0030 T1919

N32 G97 S3=1000 M104

N0050 G0 Y19.0449 X0.0 C42.398

N0070 Z-3.

N0080 G1 Z-5 F170.

N0090 Y18.5633 C42.852 F120.

N0100 Y18.0919 C43.322

N0110 Y17.6338 C43.803

N0120 Y17.5489 C43.895

N0130 Y16.3255 C44.075

N0140 Y15.9762 C44.131

N0150 Y15.4566 C43.709

N0160 Y14.9491 C43.267

N0170 Y14.4604 C42.811

N0180 Y14.4426 C42.794

N0190 Y14.1312 C42.1

N0200 Y13.8298 C41.394

N0210 Y13.5348 C40.667

N0220 Y13.2484 C39.925

N0230 Y13.0837 C39.481

N0240 Y12.8818 C38.508

N0250 Y12.6853 C37.513

N0260 Y12.4952 C36.5

N0270 Y12.3103 C35.463

N0280 Y12.1312 C34.405

N0290 Y12.0657 C34.004

N0300 Y11.9618 C32.697

N0310 Y11.8643 C31.369

N0320 Y11.7732 C30.018

N0330 Y11.6887 C28.647

N0340 Y11.6109 C27.256

N0350 Y11.5848 C26.753

N0360 Y11.5482 C25.283 F170.

N0370 Y11.5193 C23.803

N0380 Y11.4981 C22.315

N0390 Y11.4847 C20.821

N0400 Y11.479 C19.324

N0410 Y11.4813 C17.827

N0420 Y11.4913 C16.332

N0430 Y11.5092 C14.841

N0440 Y11.5347 C13.358

N0450 Y11.568 C11.883

N0460 Y11.6088 C10.42

N0470 Y11.657 C8.971

N0480 Y11.7131 C7.521

N0490 Y11.7759 C6.103

N0500 Y11.8457 C4.703

N0510 Y11.9224 C3.322

N0520 Y12.0059 C1.96

N0530 Y12.096 C.618

N0540 Y12.1927 C359.298

N0550 Y12.2957 C357.998

N0560 Y12.3066 C357.866

N0570 Y12.3872 C356.516 F283.3

N0580 Y12.4745 C355.185

N0590 Y12.5685 C353.874

N0600 Y12.6688 C352.583

N0610 Y12.7756 C351.313

N0620 Y12.8131 C350.888

N0630 Y12.8497 C349.491

N0640 Y12.8938 C348.104

N0650 Y12.9453 C346.729

N0660 Y13.0041 C345.368

N0670 Y13.0702 C344.022

N0680 Y13.0797 C343.84

N0690 Y13.0738 C342.437

N0700 Y13.0759 C341.02

N0710 Y13.0858 C339.619

N0720 Y13.1035 C338.221

N0730 Y13.1289 C336.829

N0740 Y13.1299 C336.784

N0750 Y13.0815 C335.413

N0760 Y13.0407 C334.032

N0770 Y13.0074 C332.641

N0780 Y12.9818 C331.243

N0790 Y12.9639 C329.839

N0800 Y12.9629 C329.73

N0810 Y12.8754 C328.421

N0820 Y12.7946 C327.093

N0830 Y12.7207 C325.748

N0840 Y12.6538 C324.386

N0850 Y12.5941 C323.008

N0860 Y12.5815 C322.691

N0870 Y12.4551 C321.47

N0880 Y12.3347 C320.226

N0890 Y12.2204 C318.96

N0900 Y12.1123 C317.672

N0910 Y12.0104 C316.362

N0920 Y11.9648 C315.741

N0930 Y12.0649 C314.424 F170.

N0940 Y12.1713 C313.129

N0950 Y12.2839 C311.855

N0960 Y12.4026 C310.604

N0970 Y12.5274 C309.376

N0980 Y12.6582 C308.168

N0990 Y12.7948 C306.982

N1000 Y12.9373 C305.818

N1010 Y13.0854 C304.677

N1020 Y13.2396 C303.555

N1030 Y13.3992 C302.456

N1040 Y13.5647 C301.377

N1050 Y13.6247 C300.999

N1060 Y13.7755 C299.883 F283.3

N1070 Y13.9322 C298.786

N1080 Y14.0945 C297.709

N1090 Y14.2626 C296.652

N1100 Y14.3441 C296.159

N1110 Y14.4562 C294.962

N1120 Y14.5746 C293.783

N1130 Y14.6992 C292.622

N1140 Y14.8299 C291.481

N1150 Y14.8716 C291.131

N1160 Y14.9458 C289.878

N1170 Y15.0271 C288.639

N1180 Y15.1152 C287.415

N1190 Y15.21 C286.207

N1200 Y15.2248 C286.028

N1210 Y15.2567 C284.731

N1220 Y15.296 C283.45

N1230 Y15.343 C282.178

N1240 Y15.3973 C280.915

N1250 Y15.3988 C280.883

N1260 Y15.3853 C279.591

N1270 Y15.3796 C278.298

N1280 Y15.3817 C277.005

N1290 Y15.3915 C275.725

N1300 Y15.3264 C274.475

N1310 Y15.2685 C273.213

N1320 Y15.218 C271.941

N1330 Y15.1751 C270.66

N1340 Y15.1734 C270.604

N1350 Y15.1089 C269.345 F170.

N1360 Y15.0516 C268.074

N1370 Y15.0043 C266.861

N1380 Y14.9646 C265.568 F283.3

N1390 Y14.9432 C264.737

N1400 Y14.8693 C263.482

N1410 Y14.8237 C262.634

N1420 Y14.718 C261.434

N1430 Y14.647 C260.573

N1440 Y14.7318 C259.33

N1450 Y14.7945 C258.476

N1460 Y14.8462 C257.189

N1470 Y14.8843 C256.346

N1480 Y14.9009 C255.034

N1490 Y14.9155 C254.201

N1500 Y14.9479 C252.9 F170.

N1510 Y14.9878 C251.607

N1520 Y15.0323 C250.4

N1530 Y15.0553 C249.098 F283.3

N1540 Y15.0861 C247.802

N1550 Y15.1245 C246.513

N1560 Y15.1704 C245.233

N1570 Y15.1805 C244.977

N1580 Y15.1501 C243.685

N1590 Y15.1274 C242.386

N1600 Y15.1125 C241.084

N1610 Y15.1054 C239.779

N1620 Y15.1049 C239.534

N1630 Y15.0303 C238.288

N1640 Y14.9627 C237.027

N1650 Y14.9024 C235.754

N1660 Y14.8494 C234.47

N1670 Y14.8362 C234.118

N1680 Y14.7218 C232.938

N1690 Y14.6137 C231.741

N1700 Y14.512 C230.526

N1710 Y14.417 C229.293

N1720 Y14.3783 C228.76

N1730 Y14.2289 C227.656

N1740 Y14.0854 C226.533

N1750 Y13.9476 C225.39

N1760 Y13.8159 C224.227

N1770 Y13.7378 C223.501

N1780 Y13.552 C222.488

N1790 Y13.3724 C221.458

N1800 Y13.198 C220.405  
N1810 Y13.0295 C219.333  
N1820 Y12.9007 C218.473  
N1830 Y12.7193 C217.433 F170.  
N1840 Y12.5435 C216.371  
N1850 Y12.3734 C215.287  
N1860 Y12.2088 C214.181  
N1870 Y12.0499 C213.052  
N1880 Y11.8965 C211.898  
N1890 Y11.7492 C210.725  
N1900 Y11.6076 C209.527  
N1910 Y11.4716 C208.305  
N1920 Y11.3414 C207.059  
N1930 Y11.217 C205.787  
N1940 Y11.0986 C204.491  
N1950 Y10.9861 C203.169  
N1960 Y10.8797 C201.823  
N1970 Y10.7795 C200.452  
N1980 Y10.6856 C199.056  
N1990 Y10.5981 C197.636  
N2000 Y10.5173 C196.193  
N2010 Y10.4431 C194.727  
N2020 Y10.3757 C193.239  
N2030 Y10.3154 C191.73  
N2040 Y10.2961 C191.201  
N2050 Y10.2312 C189.697 F225.9  
N2060 Y10.1734 C188.174  
N2070 Y10.1227 C186.631  
N2080 Y10.0794 C185.072  
N2090 Y10.0436 C183.498  
N2100 Y10.0317 C182.884  
N2110 Y9.9619 C181.376  
N2120 Y9.899 C179.845  
N2130 Y9.8431 C178.293  
N2140 Y9.7945 C176.723  
N2150 Y9.7532 C175.135  
N2160 Y9.7358 C174.354  
N2170 Y9.6623 C172.836  
N2180 Y9.5956 C171.295  
N2190 Y9.5359 C169.729  
N2200 Y9.4833 C168.144  
N2210 Y9.4379 C166.538  
N2220 Y9.4149 C165.593  
N2230 Y9.3791 C163.966 F283.3  
N2240 Y9.3653 C163.221  
N2250 Y9.2861 C161.695  
N2260 Y9.2488 C160.918  
N2270 Y9.1908 C159.322 F170.  
N2280 Y9.14 C157.705  
N2290 Y9.0964 C156.068  
N2300 Y9.0602 C154.414  
N2310 Y9.0317 C152.746  
N2320 Y9.0108 C151.067  
N2330 Y9.0033 C150.236  
N2340 Y8.9482 C148.614  
N2350 Y8.9002 C146.969  
N2360 Y8.8596 C145.306  
N2370 Y8.8264 C143.627  
N2380 Y8.8167 C143.041  
N2390 Y8.7496 C141.437  
N2400 Y8.6893 C139.807  
N2410 Y8.6361 C138.153  
N2420 Y8.5901 C136.476

N2430 Y8.5515 C134.781  
N2440 Y8.5204 C133.068  
N2450 Y8.5031 C131.857  
N2460 Y8.4789 C130.131 F283.3  
N2470 Y8.4752 C129.809  
N2480 Y8.7143 C128.896  
N2490 Y8.9607 C128.014  
N2500 Y9.2175 C127.153  
N2510 Y9.4812 C126.323  
N2520 Y9.7544 C125.516  
N2530 Y9.8688 C125.194  
N2540 Y10.074 C124.181  
N2550 Y10.2852 C123.195  
N2560 Y10.5041 C122.229  
N2570 Y10.7286 C121.291  
N2580 Y10.9606 C120.375  
N2590 Y11.1067 C119.822  
N2600 Y11.2861 C118.739  
N2610 Y11.4711 C117.681  
N2620 Y11.6626 C116.643  
N2630 Y11.8594 C115.631  
N2640 Y12.0624 C114.639  
N2650 Y12.1776 C114.098  
N2660 Y12.3292 C112.946  
N2670 Y12.4864 C111.818  
N2680 Y12.6496 C110.709  
N2690 Y12.8182 C109.624  
N2700 Y12.9926 C108.56  
N2710 Y13.0622 C108.15  
N2720 Y13.1817 C106.929  
N2730 Y13.3073 C105.728  
N2740 Y13.4389 C104.548  
N2750 Y13.5764 C103.389  
N2760 Y13.7198 C102.25  
N2770 Y13.745 C102.056  
N2780 Y13.8212 C100.761  
N2790 Y13.9042 C99.483  
N2800 Y13.994 C98.221  
N2810 Y14.0904 C96.976  
N2820 Y14.1853 C95.843  
N2830 Y14.2629 C94.569 F170.  
N2840 Y14.3475 C93.31  
N2850 Y14.4388 C92.068  
N2860 Y14.5367 C90.843  
N2870 Y14.6412 C89.635  
N2880 Y14.7521 C88.444  
N2890 Y14.7695 C88.266  
N2900 Y14.8546 C87.027 F283.3  
N2910 Y14.9465 C85.805  
N2920 Y15.0451 C84.599  
N2930 Y15.1503 C83.409  
N2940 Y15.2554 C82.301  
N2950 Y15.2845 C81.012  
N2960 Y15.3213 C79.73  
N2970 Y15.3656 C78.457  
N2980 Y15.4174 C77.192  
N2990 Y15.4621 C76.231  
N3000 Y15.4374 C74.947  
N3010 Y15.4204 C73.658  
N3020 Y15.4112 C72.367  
N3030 Y15.4099 C71.075  
N3040 Y15.4137 C70.147  
N3050 Y15.3372 C68.914

N3060 Y15.2677 C67.667  
N3070 Y15.2054 C66.409  
N3080 Y15.1505 C65.138  
N3090 Y15.1112 C64.095  
N3100 Y14.9887 C62.942  
N3110 Y14.8719 C61.765  
N3120 Y14.762 C60.576  
N3130 Y14.6577 C59.361  
N3140 Y14.5602 C58.128  
N3150 Y14.3932 C57.077  
N3160 Y14.2319 C56.005  
N3170 Y14.0765 C54.916  
N3180 Y13.9266 C53.805  
N3190 Y13.7826 C52.675  
N3200 Y13.7463 C52.379  
N3210 Y13.5811 C51.306 F170.  
N3220 Y13.4215 C50.212  
N3230 Y13.2676 C49.097  
N3240 Y13.1194 C47.961  
N3250 Y12.9771 C46.804  
N3260 Y12.8407 C45.627  
N3270 Y12.7101 C44.427  
N3280 Y12.5854 C43.206  
N3290 Y12.4667 C41.962  
N3300 Y12.3541 C40.696  
N3310 Y12.2477 C39.409  
N3320 Y12.1476 C38.1  
N3330 Y12.0539 C36.769  
N3340 Y11.9668 C35.418  
N3350 Y11.8864 C34.046  
N3360 Y11.8128 C32.655  
N3370 Y11.7462 C31.246  
N3380 Y11.6866 C29.82  
N3390 Y11.6343 C28.378  
N3400 Y11.5894 C26.921  
N3410 Y11.5848 C26.753  
N3420 Y11.5482 C25.283  
N3430 Y11.5193 C23.802  
N3440 Y11.4981 C22.314  
N3450 Y11.4847 C20.82  
N3460 Y11.479 C19.323  
N3470 Y11.4813 C17.826  
N3480 Y11.4913 C16.331  
N3490 Y11.5092 C14.84  
N3500 Y11.5348 C13.356  
N3510 Y11.568 C11.883  
N3520 Y11.6088 C10.42  
N3530 Y11.657 C8.971  
N3540 Y11.7125 C7.536  
N3550 Y11.7752 C6.118  
N3560 Y11.845 C4.717  
N3570 Y11.9216 C3.336  
N3580 Y11.9824 C2.331  
N3590 Y12.0978 C1.059 F109.3  
N3600 Y12.2194 C359.809  
N3610 Y12.3469 C358.582  
N3620 Y12.4802 C357.378  
N3630 Y12.4853 C357.334  
N3640 Y12.6951 C356.367  
N3650 Y12.9102 C355.425  
N3660 Y13.1321 C354.5  
N3670 Y13.3363 C353.687  
N3680 Y13.6568 C352.998

N3690 Y13.9845 C352.331  
N3700 Y14.3217 C351.68  
N3710 Y14.3983 C351.536  
N3720 Y14.9735 C351.147  
N3730 Y15.5641 C350.778  
N3740 Y16.3641 C351.058  
N3750 Y16.7412 C351.181  
N3760 Y17.1497 C351.725  
N3770 Y17.5705 C352.257

CENTRO\_PUNTO  
G54G40G98G50S3=2000  
G43.1  
M92  
G28U0  
G28V0  
M5  
M90  
T1717  
S3=700 M104  
N0050 G00 X-.6511 Y-1.891  
N0060 Z-2.  
N0070 G01 Z3. F40.  
G0 Z-30  
M2  
M92

PERFORACION  
G54G40G98G50S3=2000  
G43.1  
M92  
G28U0  
G28V0  
M5  
M90  
T1818  
S3=700 M103  
N0050 G00 X-.6511 Y-1.891  
N0060 Z-2.  
N0070 G01 Z8. F40.  
G0 Z-30  
M2  
M92  
  
CAJERA  
N4 G54 G40 G98 G50 S3=2000  
N6 G43.1  
N7 M92  
N8 G28 U0  
N9 G28 V0  
N0010 M5  
N0020 M90  
N0030 T0808  
N32 G97 S3=1600 M104  
N0040 G00 Y-7.2921 Z-2.5986  
N0050 X23.025

N0060 X8.8133  
N0070 G01 X5.8133 F190.  
N0080 Y-4.2921  
N0090 Y5.2503  
N0100 Y8.2503  
N0110 X8.8133  
N0120 G00 X23.025  
N0130 Z-8.4014  
N0140 X8.8133  
N0150 G01 X5.8133  
N0160 Y5.2503  
N0170 Y-4.2921  
N0180 Y-7.2921  
N0190 X8.8133  
N0200 G00 X23.025  
N0210 G00 Y.4791 Z-.06  
N0220 X18.8133  
N0230 X8.8133  
N0240 G01 X5.8133 F250.  
N0250 Z-3.  
N0260 Z-8.  
N0270 Z-10.94  
N0280 X8.8133  
N282 G00 Z-5  
N0290 X30  
N0300 M02  
N302 M92  
%

## 12 BIBLIOGRAFÍA

- [1] S. Genchev y G. Willis, «A note on manufacturing flexibility as a firm-specific,» *SME*, 2014.
- [2] M. Velasco y E. Córdoba , «OPTIMIZACIÓN DE LOS PARÁMETROS DE MECANIZADO EN OPERACIONES DE TORNEADO METALMECÁNICO CNC».
- [3] T. Moriwaki, «Multi-functional machine tool,» *CIRP*, 2008.
- [4] M. E. Amestoy, «Apuntes de Ingeniería de Fabricación,» *Universidad Politécnica de Cartagena*, 2004.
- [5] S. Gupta, «interpreting Product Desings For Manufacturability Evaluation,» *Technical Research Report*, 2012.
- [6] S. Gupta, T. Kramer, D. Nau y Regli William, «Building MRSEV Models for CAM Applications.,» *Advances in Engineering Software*, 2013.
- [7] D. Yixian, T. Qihua , D. Xuan y H. Kongde, *CAD/CAM courses integration of theorical teaching and practical training*, China, 2014.
- [8] P. Vichare , A. Nassehi, K. Sanjeev y S. Newman , «A UnifiedManufacturingResourceModelforrepresentingCNC,» *RoboticsandComputer-IntegratedManufacturing*, 2009.
- [9] W.-C. Chiang, «Designing and manufacturing consumer products for,» *Integrated Manufacturing Systems*, 2000.
- [10] X. Wenlei, Z. Lianyu, H. Ji y L. Pei , «A complete CAD/CAM/CNC solution for STEP-compliant manufacturing,» *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2014.
- [11] R. Dubovska, J. Jambor y J. Majerik , «Implementation of CAD/CAM system CATIA V5 in Simulation of,» *Procedia Engineering*, 2014.
- [12] L. Wang, P. Orban, A. Cuningham y S. Lang, «Remote real-time CNC machining for web-based manufacturing,» *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2004.
- [13] A. Hansel , K. Yamazaki y K. Kyle, «Improving CNC Machine Tool Geometric Precision Using Manufacturing Process,» *CIRP*, 2014.
- [14] Z. Cheng, Z. Dong y G. Vickers, «Automated surface subdivision and tool path generation.,» *Computers in Industry*, 2003.
- [15] U. Karaguzel, E. Uysal y E. Budak, «Analytical modeling of turn-milling process geometry, kinematics and Mechanics,» *InternationalJournalofMachineTools&Manufacture*, 2014.

- [16] K. Umut, U. Emre, B. Erhan y B. Mustafa, «Analytical modeling of turn-milling process geometry, kinematics and mechanics.,» *Machine tool and Manufacture.*, 2015.
- [17] R. Haber, J. Jimenez, A. Jimenez y J. Lopez, «Modelo matemático para la predicción del esfuerzo de corte en el mecanizado.,» *Revista de Metalurgia.*, 2004.
- [18] S. L. E. d. p. y. a. d. S. Coromant, *Cinco consejos de seguridad Proceso Cuando tronzado*, Product Machining, 2014.
- [19] Y. Du , Q. Tian , Du Xuan y K. He , «CAD/CAM courses integration of theoretical teaching and practical,» *Procedia.*, 2014.
- [20] G. Minquiz, V. Borja , M. Lopez, A. Ramirez, M. Dominguez y A. Alcaide , «A comparative study of CNC part programming addressing energy,» *CIRP*, 2014.
- [21] I. Soichi y O. Yosuke , «A machining test to evaluate geometric errors of five-axis machine tools,» *Procedia CIRP*, 2014.
- [22] N. Maniar y D. D. P. Vakharia, «Design & development of rotary fixture for CNC with computer,» *Procedia Technology*, 2014.
- [23] J. Garrindo y L. Rodriguez , «Standard process monitoring and traceability programming in collaborative,» *Computers in Industry*, 2010.
- [24] Newman, «Strategic advantages of interoperability for global manufacturing,» *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 2008.
- [25] N. S. T. y A. Nassehi, «Universal Manufacturing Platform for CNC Machining,» *Department of Mechanical Engineering, University of Bath*.
- [26] P. A. R. Rojas, «Torno de Cabezal Móvil,» *Metalactual*, 2013.
- [27] L. F. C. Patiño, «Máquinas Fresadoras,» *Metal Actual*, 2013.
- [28] C. M. Villar, «Cuidado con el corte inútil,» *Metal Actual*, 2014.
- [29] C. Pedraza, J. Gonzales , Vargas Lisandro y J. Lopez, «Determinación de los factores que influyen en la rugosidad superficial en un proceso de mecanizado para el acero AISI 4140,» *Scientia et Technica*, 2011.
- [30] T. Matsushita, H. Ueno y A. Matsubara, «Elastic Deformation Error Model for Calibration and Compensation of parallel machine,» *Matsushita*, 2011.
- [31] R. Haber, J. Jimenez, A. Jimenez y J. Lopez, «Modelo matemático para la predicción del esfuerzo de corte en el mecanizado.,» *Revista de Metalurgia*, 2013.

- [32] J. García, J. Arroyo y E. Cordoba , «INGENIERÍA EXPERIMENTAL CAM AVANZADA PARA LA EVALUACIÓN DEL PROCESO DE MAQUINADO MULTIEJES CNC,» *First International Conference on Advanced Mechatronics*, 2012.
- [33] R. Matamoros, Haber y J. Pamies, «Modelado y simulación del proceso de fresado a alta velocidad en Matlab.,» *REVISTA DE METALURGIA*, 2008.
- [34] H. Perez, «Influencia de la variacion de las condiciones de mecanizado en el fresado periferico,» *Departamento de ingeniería Mecánica, Politecnica de Madrid*, 2012.
- [35] SENA, «CNC: Aspectos basicos de lo complejo.,» *Metal Actual*, 2010.
- [36] J. Pereira y Romanello Donato, «Determinación experimental de la fuerza de corte de la aleacion AA A356 T6 En operaciones de torneado,» *REVISTA INGENIERÍA UC*, 2007.
- [37] M. Nakaminami, «Optimal Structure Design Methodology I,» *Nakaminami*, 2007.
- [38] O. S. D. M. II, «Masamitsu Nakaminami,» 2007.
- [39] M. Nakaminami, «Optimal Structure Design Methodology II,» *Manufacturing Technology*, 2007.
- [40] M. Nakaminami, «Optimal Structure Design Methodology III,» *Manufacturing Technology*, 2007.