

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

**Desarrollo De Procedimiento Para La Generación, Simulación Y Verificación De
Maquinado En Centro De Mecanizado CNC Multiejes Técnica 4+1 Y Su Aplicación En
Montaje Experimental**

**YAMID GONZALO REYES FLOREZ
COD.2092110**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
DIVISION DE INGENIERIAS
BOGOTÁ D.C.
2014**

PROYECTO DE TRABAJO DE GRADO

Yamid Gonzalo Reyes Florez

**Desarrollo De Procedimiento Para La Generación, Simulación Y Verificación De
Maquinado En Centro De Mecanizado CNC Multiejes Técnica 4+1 Y Su Aplicación En
Montaje Experimental**

Director

Jorge Andrés García Barbosa

Codirector

Carlos Julio Camacho López

**UNIVERSIDAD SANTO TOMÁS
FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA
DIVISIÓN DE INGENIERÍAS
BOGOTÁ D.C.
2014**

TABLA DE CONTENIDO

	Pág.
1 Resumen	8
2 Introducción.....	9
3 Objetivos.....	11
3.1 General	11
3.2 Específicos	11
4 Marco de referencia	12
4.1 Contexto global	12
4.2 Contexto Nacional y Local	12
4.3 Maquinaria CNC.....	12
4.4 Manufactura virtual.....	16
5 Implementación de un centro de mecanizado virtual Finetech GTX-210.....	20
5.1 Modelamiento tridimensional de componentes	20
5.2 Ensamblaje de componentes	22
5.3 Asignación árbol cinemático	27
5.4 Configuración controlador de movimiento.....	32
5.5 Agregar a la librería de máquinas.....	33
6 Planificación proceso de manufactura	35
6.1 Selección geometría a fabricar	35
6.2 Selección de dispositivo de sujeción	35
6.3 Selección herramientas de corte.....	36
6.3.1 Herramientas para desbaste.....	36
6.3.2 Herramientas de acabado.....	37
6.3.3 Herramientas taladrado y roscado	38

6.4	Determinación de parámetros de corte.....	38
6.5	Simulación y verificación integrada.....	39
6.5.1	Primer montaje	39
6.5.2	Segundo montaje	40
7	Ejecución montaje experimental	41
7.1	Montaje y alineación de dispositivo de sujeción	41
7.2	Montaje, alineación y cero de pieza de la materia prima	46
7.3	Montaje y compensación de la herramienta	49
7.4	Ejecución del proceso de maquinado	51
7.4.1	Primer montaje	51
7.4.2	Segundo montaje	53
7.5	Evaluación dimensional de parte fabricada	60
7.6	Análisis de tiempos de manufactura simulados y reales	60
7.6.1	Primer montaje	60
7.6.2	Segundo montaje	61
8	Conclusiones	63
9	Recomendaciones.....	64
10	Bibliografía	65
	Anexos.....	66

LISTA DE FIGURAS

Figura 1. Configuración típica de un centro de mecanizado vertical de 3 ejes	14
Figura 2 CMV de doble columna	14
Figura 3. Configuraciones comunes para las máquinas de 5 ejes.	14
Figura 4. Grados de libertad rotativos, configuración mesa/mesa	15
Figura 5. Grados de libertad rotativos, configuración mesa/herramienta.....	15
Figura 6. Grados de libertad rotativos, configuración herramienta/herramienta	16
Figura 7. Tipos de simulación de procesos de manufactura.....	17
Figura 8. Diagrama de flujo para fabricación de piezas por el método visualización CAM.	18
Figura 9. Diagrama de flujo para fabricación de piezas por el método IS&V avanzado	19
Figura 10. Cotas referencia husillo-mesa X-Y y husillo Copa Eje B	22
Figura 11. Fase 1 de Ensamblaje	23
Figura 12. Fase 2 de Ensamblaje	24
Figura 13. Fase 3 de Ensamblaje	25
Figura 14. Fase 4 de Ensamblaje	26
Figura 15. Diagrama Ruta graphics	27
Figura 16. Creación Componente de Máquina y Cero de máquina.....	28
Figura 17. Configuración junta MACHINE_BASE_JCT	28
Figura 18. Agregar Componente de Máquina.....	29
Figura 19. Configuración ejes rotación y translación.....	29
Figura 20. Estructura Componentes de máquina	31
Figura 21. DOF CMV Finetech GTX-210	31
Figura 22. Diagrama Ruta Controlador de movimiento.....	32
Figura 23. Ubicación Coordenadas Controlador de Movimiento	33

Figura 24. Diagrama Ruta Agregar a Librería de Máquinas	33
Figura 25. Agregar Línea de Comando a la Base de Datos de Máquinas.....	34
Figura 26. Geometría a Fabricar.....	35
Figura 27. Herramientas Para Desbaste.....	37
Figura 28. Herramientas de Acabado.....	37
Figura 29. Herramientas Taladrado y Roscado	38
Figura 30. IS&V Primer Montaje	40
Figura 31. IS&V Segundo Montaje	40
Figura 32. Basculante	42
Figura 33. Izamiento del Basculante	42
Figura 34. Acercamiento Montaje de Basculante	42
Figura 35. Posicionamiento Inicial Basculante.....	43
Figura 36. Conexiones Eléctricas e Hidráulicas	43
Figura 37. Ensamble Comparador de Caratula-Brazo	44
Figura 38. Verificación Paralelismo plano Mesa XY y Copa	44
Figura 39. Verificación Eje B+90.....	45
Figura 40. Verificación Eje B-90	45
Figura 41. Verificación Eje A.....	46
Figura 42. Montaje Materias Primas en Mordazas.....	47
Figura 43. Apriete de Mordazas.....	47
Figura 44. Desbaste Para Garantizar Cara Plana.....	48
Figura 45. Palpado Para Hallar Origen XY	48
Figura 46. Componentes Montaje de Herramientas	49
Figura 47. Medición Compensación Altura Herramientas.....	50
Figura 48. Proceso de Medición en Proyector de Perfiles	60

LISTA DE TABLAS

Tabla 1. Modelos de Componentes CMV GTX-210	20
Tabla 2. Asignación de Componente de Máquina	30
Tabla 3. Dispositivos de Sujeción	36
Tabla 4. Tiempos Simulados Primer Montaje	40
Tabla 5. Tiempos Simulados Segundo Montaje	41
Tabla 6. Comparación Proceso Maquinado Primer Montaje Virtual Vs Real	51
Tabla 7. Comparación Proceso Maquinado Segundo Montaje Virtual Vs Real	53
Tabla 8. Comparación Primer Montaje Tiempos Reales y Simulados	61
Tabla 9. Comparación Segundo Montaje Tiempos Reales y Simulados	61

1 Resumen

Se implementó el proceso de manufactura de un componente que hace parte de un proyecto del grupo de investigación GEAMEC, con características geométricas complejas como agujeros roscados en diversas direcciones y gravado sobre superficies curvas, la implementación se llevó a cabo en el centro de mecanizado vertical de cinco grados de libertad. Se desarrolló el modelo virtual del centro de mecanizado Finetech GTX-210 del laboratorio de mecanizado multiejes de la Universidad Santo Tomás utilizando el software NX de Siemens PLM, se dibujó cada uno de los componentes y se integró su cinemática por medio del módulo machine tool builder, se planificó el proceso de manufactura seleccionando la herramienta para cada una de las operaciones y sus respectivas condiciones de corte, se generaron las trayectorias, por consiguiente se simularon y verificaron integradamente, por último se ejecutó el proceso de manufactura; Para maquinados multiejes se comprobó que es necesario desarrollar un IS&V (Integrated Simulation & Verification) para evitar colisiones entre los distintos componentes que intervienen en el proceso y conocer el tiempo que le llevaría al centro de mecanizado ejecutar el mismo.

2 Introducción

A mediados del siglo XX, hubo una gran aceleración en el diseño y desarrollo de productos aeroespaciales como satélites, vehículos de lanzamiento, aviones civiles. Existía la necesidad de alcanzar los retos de manufactura que se ubicaban básicamente en los complejos diseños aeroespaciales y los ingenieros de manufactura a principios de los años 50's en busca de la mejor manera de automatizar las operaciones de maquinado desarrollaron el control numérico (NC) para suplir los requerimientos de la industria aeroespacial [1]. Durante los siguientes años y hasta la actualidad las geometrías a manufacturar se han tornado más complejas y un número mayor de empresas de diversos sectores industriales requieren control numérico para obtener componentes de turbinas, implantes médicos y superficies aerodinámicas. [2]

Los ejes o grados de libertad de una máquina herramienta se designan individualmente, pero todos asociados a un sistema coordinado con 3 ejes mutuamente perpendiculares y estos ejes rigen el sentido y la dirección de los movimientos lineales o rotacionales que realice la máquina[3], 2 ejes no son suficientes e incluso 3 ejes en ocasiones tampoco son suficientes para manufacturar geometrías complejas, en los años 90's las máquinas evolucionaron a 4 ejes, se adicionan torretas y husillos para mayor velocidad de fabricación y con la llegada del nuevo milenio también llegaron las máquinas de control numérico con 5, 9 y la asombrosa cantidad de 12 ejes. [4]

Las máquinas herramientas de 2 y 3 ejes tuvieron su apertura en la industria Colombiana al final de la década de los 70's, pero tardó alrededor de diez años en tomar fuerza y ser aplicada efectivamente para ayudar al desarrollo de la industria nacional. Hasta aproximadamente el año 2000 se comienza a implementar las máquinas de 4 ejes, finalmente las máquinas de 5 ejes de movimiento llegan en el 2003. La gran mayoría de las empresas de mecanizado tienen tornos biaxiales CNC y centros de mecanizado CNC con 3 ejes y las empresas especializadas en mecanizados complejos son las que se apropiaron de 4 ejes en adelante. [5]

Los retos para la implementación de la manufactura multiejes son los códigos CNC y su nivel de complejidad a medida que el número de ejes aumenta y la complejidad geométrica de la superficie a fabricar, no es difícil suponer la ruta de la herramienta para un torno biaxial y por ende el código CNC puede ser sencillo, aunque por sencillo que sea puede ser extenso y es una tarea ardua introducir manualmente en el tablero del control de la máquina. Con tres ejes el nivel de complejidad aumenta considerablemente, pero con más de 4 ejes en muchas ocasiones es difícil visualizar cual es la posición de la herramienta respecto a la pieza de trabajo, por lo tanto, es necesario usar software CAM.

Estos retos son enfrentados con una simulación y verificación integrada (ISV), que se basa en la utilización de métodos computacionales que calculan de manera precisa ubicación de pieza de trabajo, herramienta y demás accesorios con la gran ventaja de poder visualizar, y

más que visualizar el proceso, hay una simulación y verificación integrada de un proceso de mecanizado. [6]

3 Objetivos

3.1 General

Implementar un proceso de manufactura en el centro de mecanizado vertical con cinco grados de libertad marca Finetech GTX-210, del laboratorio de manufactura multiejes de la Universidad Santo Tomás, utilizando herramientas de simulación y verificación integrada del software PLM NX de Siemens.

3.2 Específicos

- Desarrollar modelo de máquina virtual de centro de mecanizado Finetech GTX-210, en el módulo de simulación y verificación integrada del software NX de Siemens PLM.
- Planificar el proceso de manufactura de un componente con características geométricas a ser generadas en un centro de mecanizado vertical con cinco grados de libertad.
- Comprobar experimentalmente la planificación del proceso, realizada en el modelo virtual, en la máquina real, evaluando el tiempo de manufactura predicho en el simulador.

4 Marco de referencia

4.1 Contexto global

Después de la segunda guerra mundial, hubo una gran aceleración en el diseño y desarrollo de productos aeroespaciales como satélites, vehículos de lanzamiento, aviones civiles. Existía la necesidad de lograr retos de manufactura, que se ubicaban básicamente en los complejos diseños aeroespaciales. A principios de los años 50, los ingenieros de manufactura, en busca de una solución para automatizar los movimientos de las máquinas herramientas, desarrollaron el control numérico (NC) para suplir los requerimientos de la industria aeroespacial [7], una década más tarde, surgieron los controladores CNC operando máquinas herramientas de 4-5-6-12 y más ejes, pero estas máquinas eran robustas y complejas en su programación, es decir, era necesario demasiado tiempo para su configuración, pero estaban perfectamente adaptadas para la producción en masa, lo cual daba solución a las necesidades de la época; muy pronto, los fabricantes de maquinaria añaden memoria interna a sus controladores, y luego agregaron la capacidad de ejecutar macros para llamar rutinas o subrutinas de otros subprogramas. Diferentes fabricantes de maquinaria desarrollaron varias soluciones, lo que creó una serie de lenguajes de programación CNC (control numérico por computadora con una memoria interna). Las empresas con nombres familiares como Fanuc, Acramatic, Heidenhein, Siemens, Mazatrol, todos desarrollaron sus propios lenguajes de programación [8].

4.2 Contexto Nacional y Local

A nivel Colombia, las máquinas-herramientas de 2 y 3 ejes llegan en los años 80's, pero tardó una década en tomar fuerza y ser aplicada efectivamente para ayudar al desarrollo de la industria. Hasta aproximadamente el año 2000 se inicia la implementación de máquinas con 4 ejes, finalmente las máquinas de 5 ejes de movimiento llegan en el 2003. La gran mayoría de las empresas de mecanizado usan tornos biaxiales CNC y centros de mecanizado CNC con 3 ejes y las empresas especializadas en mecanizados complejos son las que se apropiaron de 4 ejes en adelante. *En Bogotá existe un amplio mercado de máquinas CNC debido a la alta demanda de producción. Las máquinas especiales CNC han ido aumentando en importancia como solución a pedidos cada vez más complejos y particulares que máquinas convencionales no llegan a cumplir. Por ello se ha querido mostrar la situación actual de estas máquinas especiales CNC en el mercado local* [5].

4.3 Maquinaria CNC

Los diferentes tipos de máquinas CNC abarcan una variedad muy amplia en el sector industrial. Los tipos de arquitectura de máquinas están aumentando rápidamente y a medida que avanza el desarrollo de la tecnología también se incrementan los diferentes usos en diversos procesos de manufactura. Es imposible identificar todas las utilidades, la siguiente es una lista de algunas aplicaciones:

- Fresadoras y centros de mecanizado

- Tornos y Torno fresador
- Taladradoras
- Mandriladoras y perfiladoras
- Máquinas de electroerosión EDM
- Punzaduras y cizallas
- Ruteadoras
- Corte por agua y laser, máquinas de oxicorte
- Rectificadoras
- Máquinas soldaduras, dobladoras, máquinas de coser, etc.[3]

De esta lista se hace enfoque en los centros de mecanizado. Un centro de mecanizado es una máquina herramienta con la capacidad de fabricar componentes prismáticos de maquinaria o herramientas como lo son troqueles, moldes, matrices, soportes, etc. Usan operaciones como fresado, mandrinado, taladrado, roscado, torneado, alesado, rectificado y en general operaciones de mecanizado necesarias; antes de la introducción de centros de mecanizado, estas operaciones tenían que ser llevadas a cabo en diferentes máquinas, resultando en tiempos muertos de manufactura, ocasionados por el tiempo de montaje tecnológico, compensación de herramientas, alineación del producto en proceso en cada uno de las fases de producción, también con el objetivo de reducir el tiempo de espera se implementa un magazine de herramientas indexable, que puede almacenar varias herramientas. El magazine de herramientas puede llevar entre 16 y 100 herramientas. Un cambiador automático de herramientas (ATC, Automatic Tool Change) es un sistema el cual toma la herramienta actual en el husillo y la intercambia por la siguiente herramienta establecida por el código CNC y la herramienta reemplazada vuelve al magazine. [2]

Los centros de mecanizado son clasificados de acuerdo con la orientación del husillo, así:

- a. Centros de Mecanizado Vertical (CMV)
- b. Centros de Mecanizado Horizontal (CMH)

Figura 1. Configuración típica de un centro de mecanizado vertical de 3 ejes



[Cortesía FIM-USTA]

Los CMV no son adecuados para grandes anchos ya que esto aumenta el recorrido y con esto el tamaño de todo el centro de mecanizado, la alternativa para grandes anchos se utilizan CMH o CMV de configuración doble columna (tipo Gantry, *Figura 2*)

Figura 2 CMV de doble columna



Tomado de sitio web de HAAS Automation

Se ha convertido en una característica común de una máquina herramienta CNC moderna estar equipada con varios ejes de manera lineal y rotativa, magazine de herramientas y otros componentes móviles, es decir, ejes adicionales [2], algunas configuraciones comunes para las máquinas de 5 ejes se evidencian en la Figura 3.

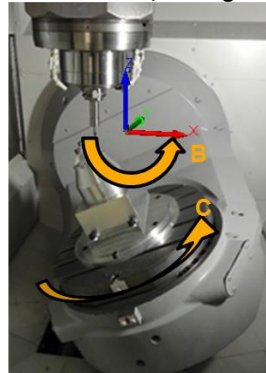
Figura 3. Configuraciones comunes para las máquinas de 5 ejes.

Mesa/Mesa	Mesa/Herramienta	Herramienta/Herramienta
Ambos ejes rotativos están en la mesa	Un eje rotativo está en la mesa y el otro está en la herramienta	Ambos ejes rotativos están en la herramienta
		

- **Mesa/Mesa:** todos los movimientos rotativos, excepto el husillo son realizados por las mesas de estas máquinas, la mesa giratoria principal lleva una segunda mesa giratoria, a la que se une, normalmente por tornillos, la copa o dispositivo sujetador de la materia prima y la pieza a mecanizar. En estas máquinas, la parte se hace girar alrededor de la herramienta, los dispositivos rotativos de la máquina tienen que ser capaz de manejar el peso de la pieza y la copa, esta capacidad es un factor importante cuando se consideran los movimientos rápidos.

Esta configuración de máquina es el tipo más común de máquinas de multiejes, la mayoría de los empresarios se introducen al mundo de los 5 ejes con la compra de dispositivos de uno o dos grados de libertad, Montándolo sobre la mesa coordenada X-Y.

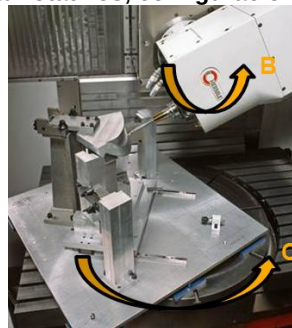
Figura 4. Grados de libertad rotativos, configuración mesa/mesa



[9]

- **Mesa/Herramienta:** Ejecuta un movimiento de rotación en la mesa, la cual que lleva la pieza de trabajo, el husillo se articula generando un movimiento de inclinación respecto a la pieza.

Figura 5. Grados de libertad rotativos, configuración mesa/herramienta



[9]

- Herramienta/Herramienta: Ejecutan todos los movimientos giratorios y de pivotante mediante la articulación de la cabeza del husillo de la máquina, la pieza de trabajo siempre está estática. [9]

Figura 6. Grados de libertad rotativos, configuración herramienta/herramienta



[9]

4.4 Manufactura virtual

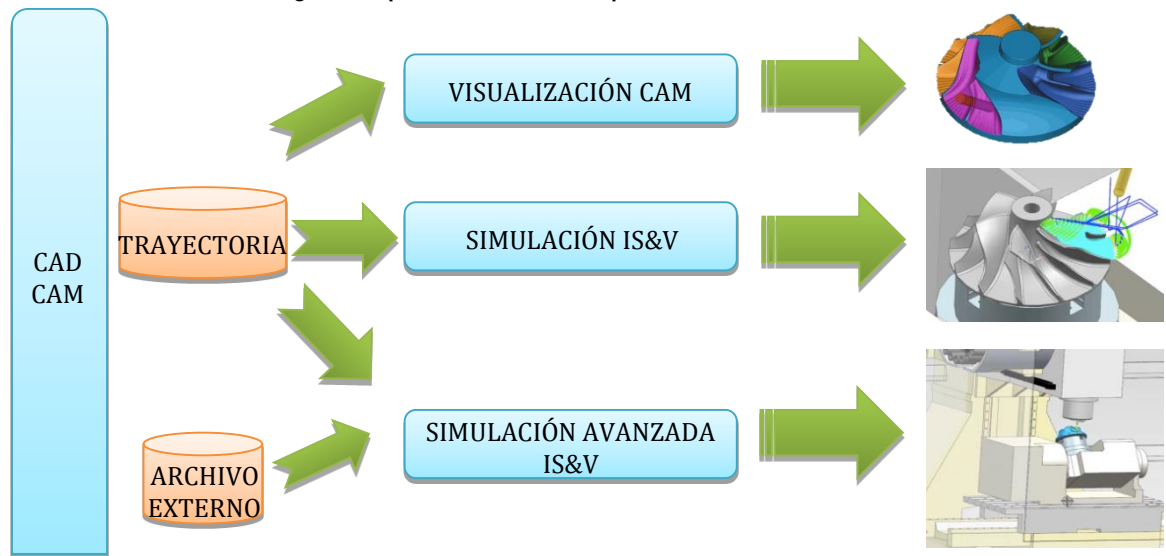
Simulación en manufactura se refiere a una amplia variedad de aplicaciones basadas en programación para reproducir virtualmente el comportamiento de los sistemas de fabricación. Un sistema son instalaciones físicas o serie de procesos, ya sean vigentes o planeados, como lo puede ser máquinas herramientas, dispositivos manipuladores de materias primas, dispositivos de almacenamiento, etc. La simulación está destinada a estudiar cómo funciona un sistema real mediante el uso de software de cálculo numérico. La simulación se lleva a cabo para evaluar el rendimiento de un sistema, producto o proceso antes de que se construya o sea implementado físicamente. [2]

En la actualidad se han ido implementando maquinaria con mayor número de grados de libertad en comparación con maquinaria convencional de dos y tres grados de libertad, para tan poca cantidad de grados de libertad en un centro de mecanizado es relativamente sencillo considerar cual es la posición de la pieza de trabajo y accesorios respecto a la herramienta de corte de esta manera se puede llegar a evitar accidentes y demás contratiempos; Para centros de mecanizado con cuatro grados de libertad o más, el simple hecho de estimar la posición de la herramienta es una actividad considerablemente más compleja en comparación a las máquinas mencionados al inicio del párrafo, sin tener en cuenta que la adición de más grados de libertad requiere el montaje de nuevos accesorios o dispositivos móviles, por lo tanto es bastante útil realizar la programación y posterior simulación de la piezas que requieren múltiples ejes en software CAM (Computer Aided Manufacturing), que permite la fácil planificación y la posible visualización de las trayectorias, movimientos de la herramienta, posición de accesorios, asignación de parámetros de corte, posición herramental en el magazine, etc.[10]

Esta visualización de manufactura posee tres categorías, *Figura 7*:

1. Visualización CAM: Consiste en simular la trayectoria de la herramienta de corte pero no existe visualización de la cinemática de la máquina.
2. Simulación IS&V (Integrated Simulation and Verification): Realiza una simulación básica de máquina y su interacción en el proceso de corte con la pieza.
3. Simulación Avanzada IS&V: Una simulación completa de la cinemática y el controlador de la máquina para visualizar condiciones, tales como posición de elementos en la máquina incluyendo la pieza de trabajo en proceso.

Figura 7. Tipos de simulación de procesos de manufactura.



Adaptado de [6] IS&V realizado por autor

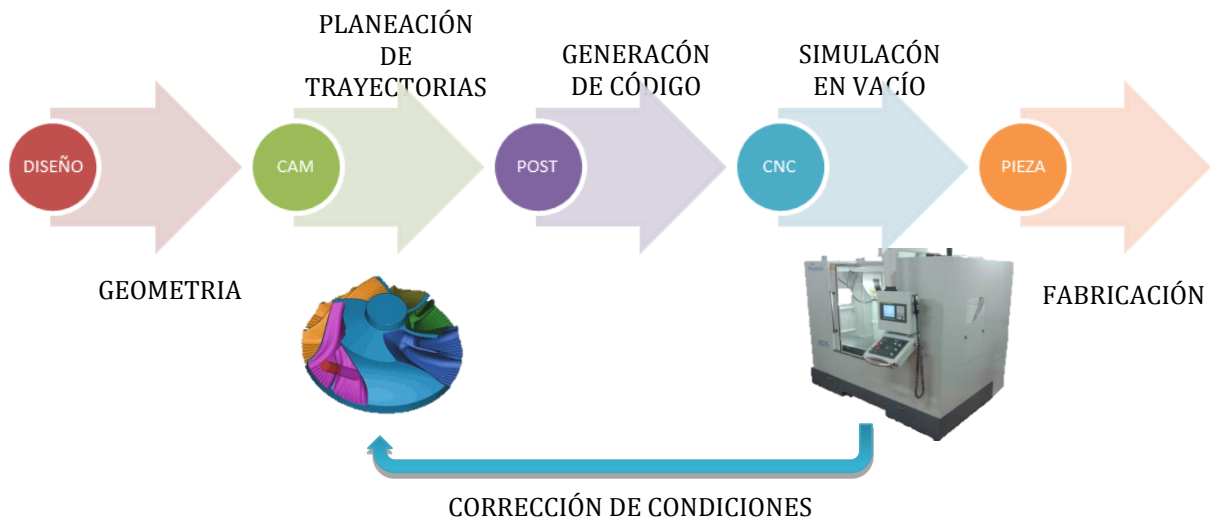
La simulación integrada y verificación, o ISV, permite simular una máquina herramienta con pieza de trabajo, dando una visión general de todo el proceso de mecanizado. El proceso simula movimientos de la máquina-herramienta, teniendo en cuenta las funciones del control y configuraciones de corte de las diferentes herramientas.

Otra característica del ISV es el chequeo de colisiones, que permite la detección de colisiones entre componentes de la máquina, accesorios, herramientas, elementos de sujeción y la pieza de trabajo en proceso. Los límites de desplazamiento de la máquina también se verifican. También se tiene en cuenta el control de la máquina y se incluyen macros, llamadas a subrutinas, ciclos y códigos M, G y H.

El flujo de trabajo convencional en compañías donde no se ha implementado ISV avanzado es como ilustra la *Figura 8*, cuando la pieza ya está diseñada y entra al departamento de manufactura, se encarga de generar las trayectorias en el software CAM, una vez las trayectorias estén finalizadas, son pos procesadas para generar el código NC y exportarlo a la máquina herramienta real para ejecutar una simulación en vacío con todas las

precauciones por si el código que se generó posee problemas y si efectivamente va a realizar la pieza, por lo general, los códigos que simulan en visualización CAM e incluso en simulación ISV, tienen que realizarse correcciones de condiciones, por lo general distancias de seguridad propias de quien opere la máquina, , una vez corregidas estas condiciones es necesario una vez más generar las trayectorias, Postprocesar y ejecutar la simulación en vacío del código NC corregido, si todo está sin inconvenientes y realiza todos los movimientos programados, ahora si es tiempo de montar la materia prima y mecanizar la pieza.

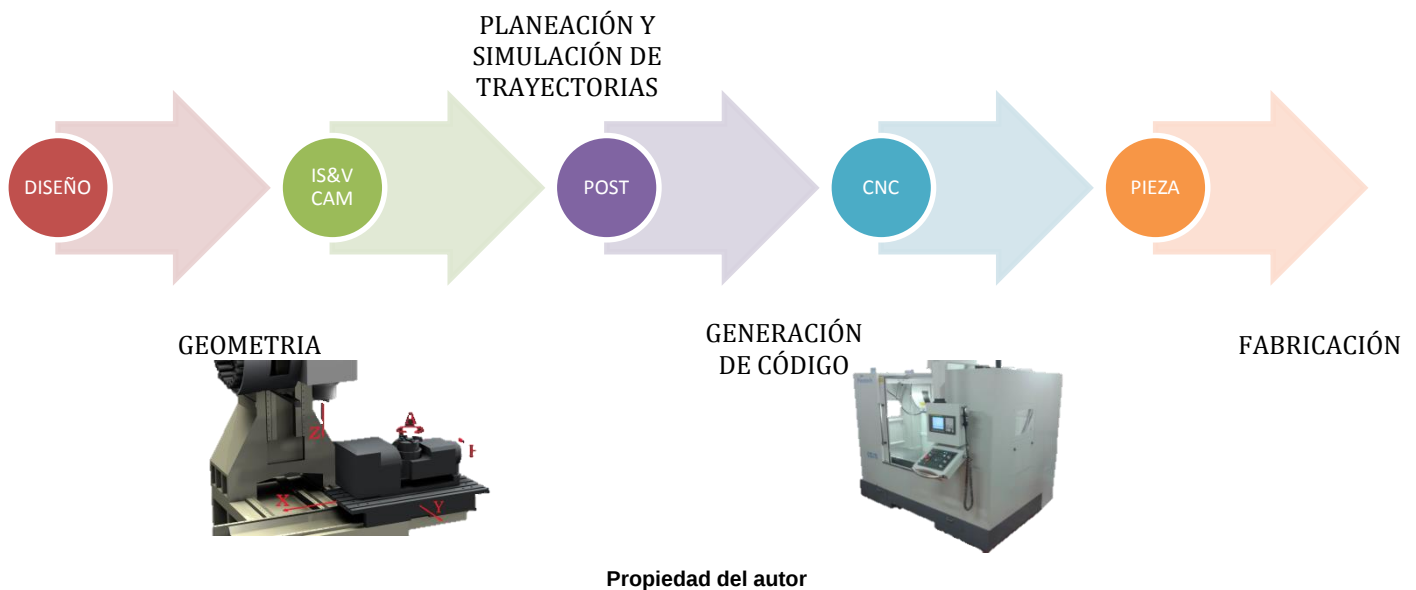
Figura 8. Diagrama de flujo para fabricación de piezas por el método visualización CAM.



Propiedad del autor

En comparación, con el flujo de trabajo anterior, el flujo de trabajo cuando se implementa en la compañía un sistema IS&V avanzado *Figura 9*, de nuevo la pieza fue diseñada e ingresa al departamento de manufactura, quienes planifican y simulan las trayectorias en la máquina virtual, se lleva a cabo el postprocesamiento, se exporta el código NC y se ejecuta en la máquina herramienta real con el material en bruto, es decir, directamente a mecanizado, se quiere decir con lo anterior que la gran diferencia con respecto a la metodología anterior es evitar el bucle que genera la corrección de condiciones, entre la programación CAM, el postprocesamiento y la ejecución del código NC en el centro de mecanizado vacío, en resumen, la compañía que implemente IS&V avanzado va a tener reducción de tiempos de manufactura notable.

Figura 9. Diagrama de flujo para fabricación de piezas por el método IS&V avanzado

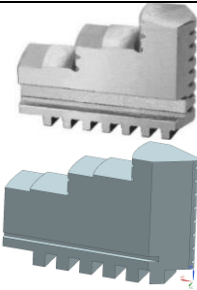
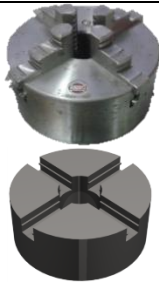
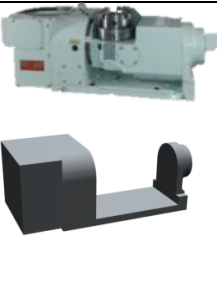
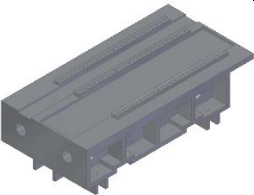
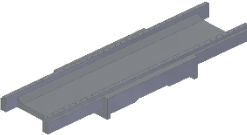
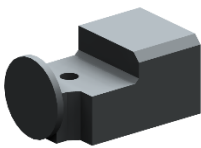
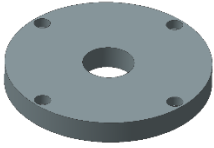
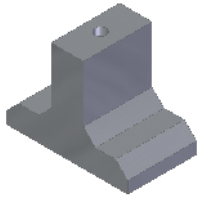
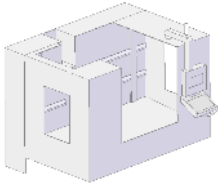
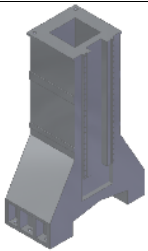
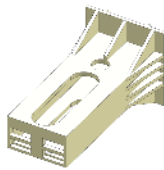
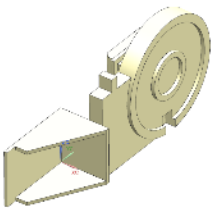
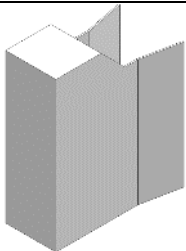


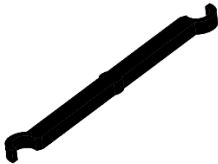
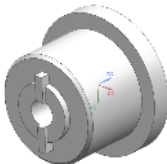
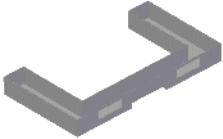
5 Implementación de un centro de mecanizado virtual Finetech GTX-210

5.1 Modelamiento tridimensional de componentes

Como paso inicial para el desarrollo de un centro de mecanizado virtual es el modelado tridimensional de cada uno de sus componentes, no es necesario entrar en detalles mínimos como pueden ser tornillos o mecanismos internos relacionados a transmisión de potencia o movimiento; el software de Siemens PLM NX contiene un módulo de modelado de partes que permite al usuario generar piezas de diversos niveles de complejidad mediante operaciones específicas orientadas a procesos, como pueden ser extrusiones y revoluciones, mediante estas operaciones básicas se generaron todos los componentes del centro de mecanizado, como se indican en la Tabla 1.

Tabla 1. Modelos de Componentes CMV GTX-210

1. Mordaza	2. Copa Eje A	3. Estructura Basculante	4. Bancada Eje Y	5. Eje X
				
6. Mesa	7. Basculante Eje B	8. Disco Eje A/9. Disco elevador	10. Apoyo Bancada Y	11. Carcaza principal
				
12. Torre	13. Apoyo Husillo	14. Apoyo Magazin	15. Cobertor Husillo	16. Cobertor Magazine
				

17. Magazine	18. Bolsillo Hta	19. Brazo Cambia HTA	20. Husillo Eje Z	21. Carcaza Inferior
				

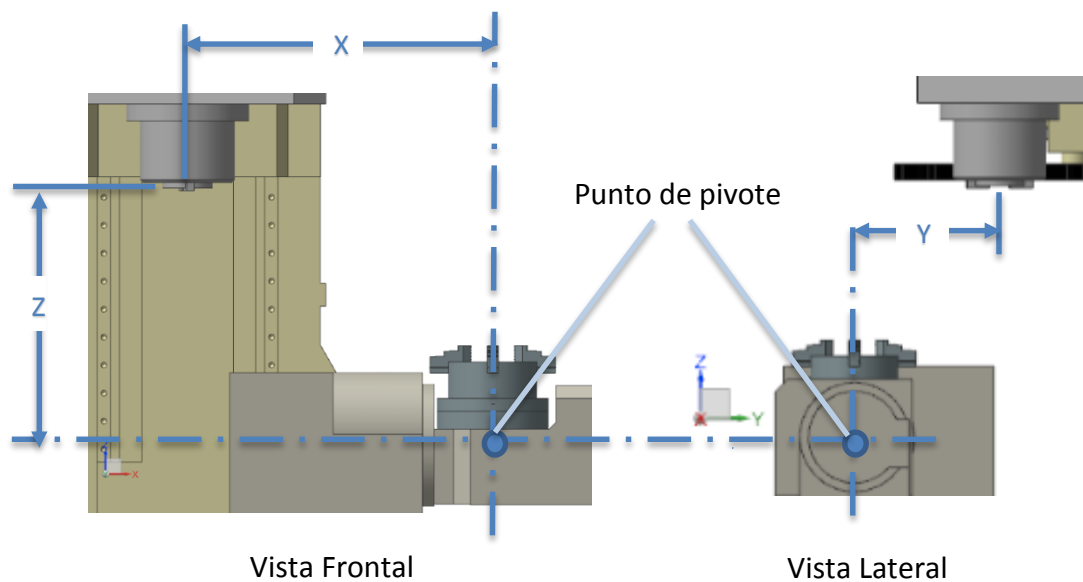
Fuente: Autor

Las casillas 1, 2 y 3, de la tabla anterior, compara el componente real versus el componente virtual, la escala del modelo virtual es 1:1 respecto al real, en total se modelaron 21 (veintiún) componentes de los cuales el que sujeta la materia prima es *Copa Eje B* en conjunto con *Mordazas*.

5.2 Ensamblaje de componentes

Una vez todas las piezas se modelan se ubican en la posición requerida para que den el aspecto del centro de mecanizado real, en este paso es importante definir cuál es la pieza inicial de todo el ensamblaje, debido a que respecto al componente seleccionado se ubicará el resto de componentes, este flujo de trabajo es conocido como metodología ascendente (Bottom-Up, por su significado en inglés), es decir los componentes se modelan y posteriormente se ensamblan; usando la aplicación de ensamblaje en NX se pueden llevar a cabo restricciones virtuales que se derivan de las reales, la ubicaciones exacta de los componentes es un requerimiento clave para la precisión de la simulación y verificación integrada a realizar posteriormente, distancias de control a tener presentes es la distancia tanto en X, Y y Z entre el centro de la cara inferior del *husillo* y punto donde se intersectan las líneas de centro del eje rotativo A y el eje rotativo B, como se enseña en la Figura 10.

Figura 10. Cotas referencia husillo-mesa X-Y y husillo Copa Eje B



Fuente: Autor

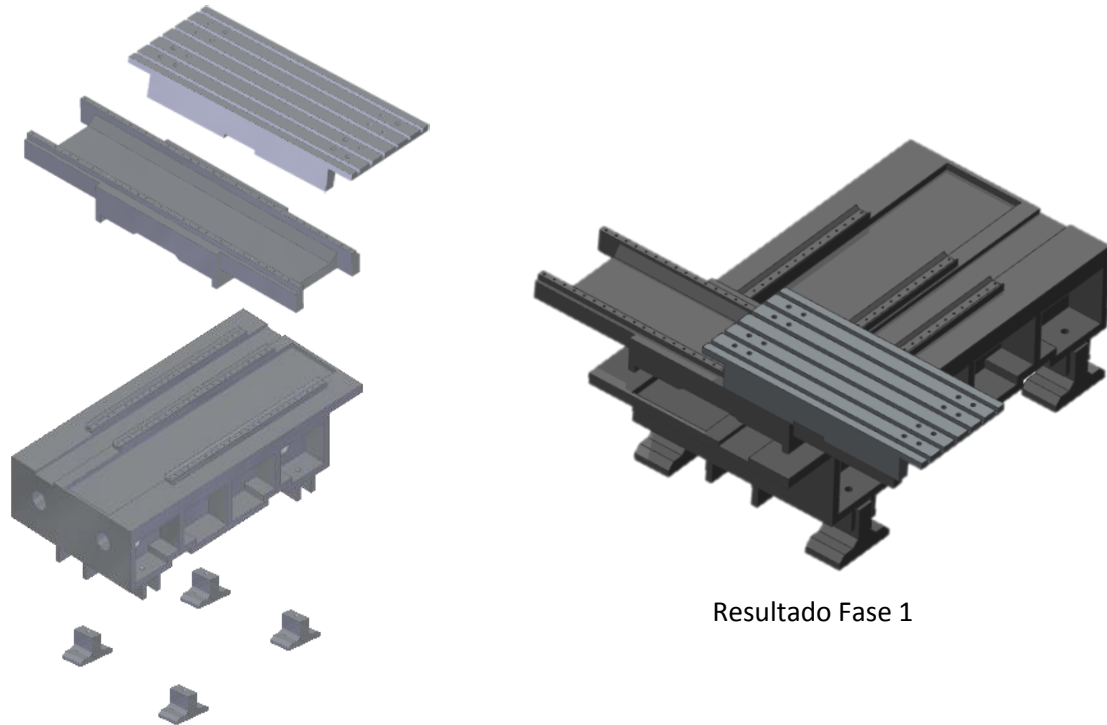
Por la configuración del CMV de la universidad Santo Tomás, en el cual el componente *Eje X* tiene los apoyos sobre los rieles ubicados en la *Bancada Eje Y*, es necesario ensamblar y tomar como referencia la *Bancada Eje Y*, y de esta manera inicia el ensamblaje de componentes que se explica mediante las cuatro fases de ensamblaje:

Fase 1 de ensamblaje, en este primer paso, ya está definido como componente inicial *Bancada Eje Y*; la fase 1, se compone de 3 pasos:

1. Relacionar *Bancada Eje Y* con *Eje X*
2. Relacionar *Eje X* con *Mesa*

3. Relacionar *Bancada Eje Y* con los cuatro *Apoyos Bancada Y*

Figura 11. Fase 1 de Ensamblaje



Resultado Fase 1

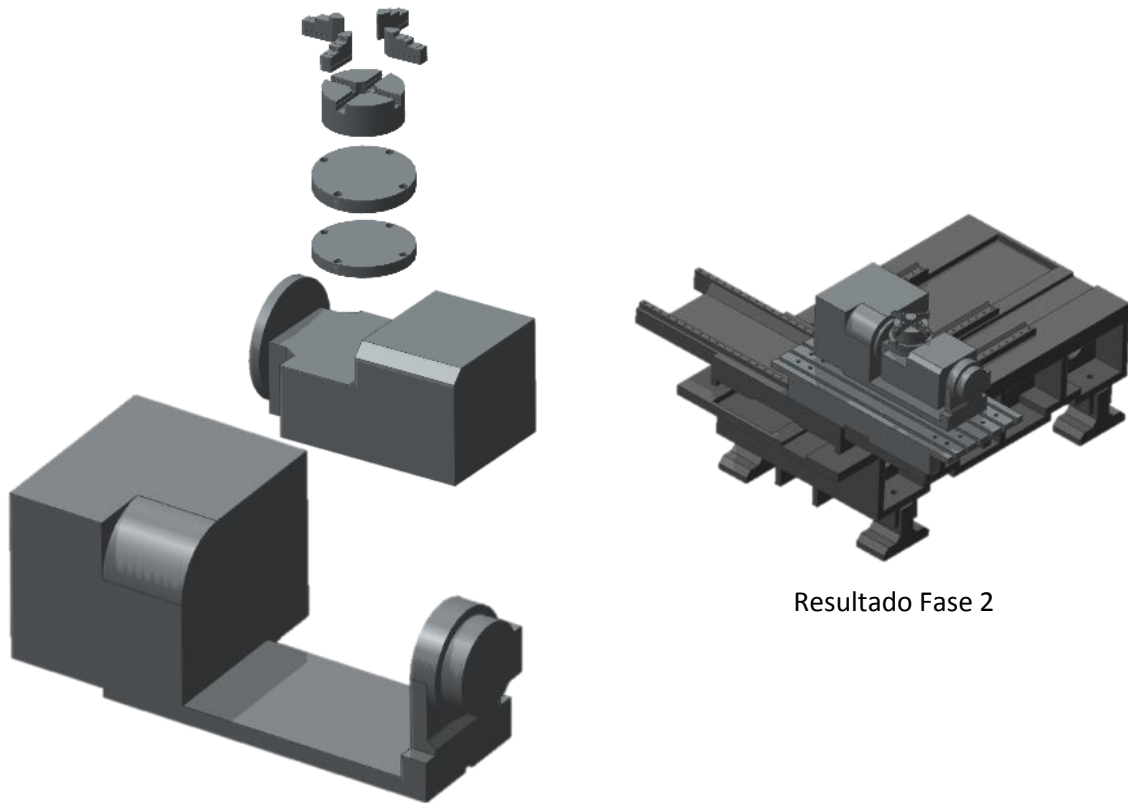
Fuente: Autor

El resultado de la fase 1 es básicamente la configuración de componentes que generan el plano de trabajo XY, es decir, 2 de los 5 ejes de trabajo del CMV.

Fase 2 de ensamblaje, es la continuación de la fase 1, por ende se toma el resultado de la fase 1 y se realiza 6 pasos:

1. Relacionar *Resultado Fase 1* con *Estructura Basculante*
2. Relacionar *Estructura Basculante* con *Basculante Eje B*
3. Relacionar *Basculante Eje B* con *Disco Eje A*
4. Relacionar *Disco Eje A* con *Disco Elevador*
5. Relacionar *Disco Elevador* con *Copa Eje A*
6. Relacionar *Copa Eje A* con las 4 *Mordazas*

Figura 12. Fase 2 de Ensamblaje



Fuente: Autor

Como Resultado de la segunda fase se logra adicionar a los 2 ejes de para un total de 4, se observa en el paso 5 y 6 el ensamble del dispositivo de sujeción para la materia prima, y teniendo en cuenta la configuración del CMV los 4 ejes de trabajo hasta ahora ensamblados son el total de ejes en que se puede desplazar el material en bruto.

Fase 3 de ensamblaje, de igual manera se continúa con *Resultado Fase 2* y se adicionan más componentes, en esta fase se efectúan 8 pasos:

1. Relacionar *Resultado Fase 2* con *Torre*.
2. Relacionar *Torre* con *Apoyo Husillo Eje Z*.
3. Relacionar *Apoyo Husillo Eje Z* con *Cobertor Husillo*.
4. Relacionar *Apoyo Husillo Eje Z* con *Husillo Eje Z*.
5. Relacionar *Torre* con *Apoyo Magazine*.

- Figura 13. Fase 3 de Ensamblaje
-

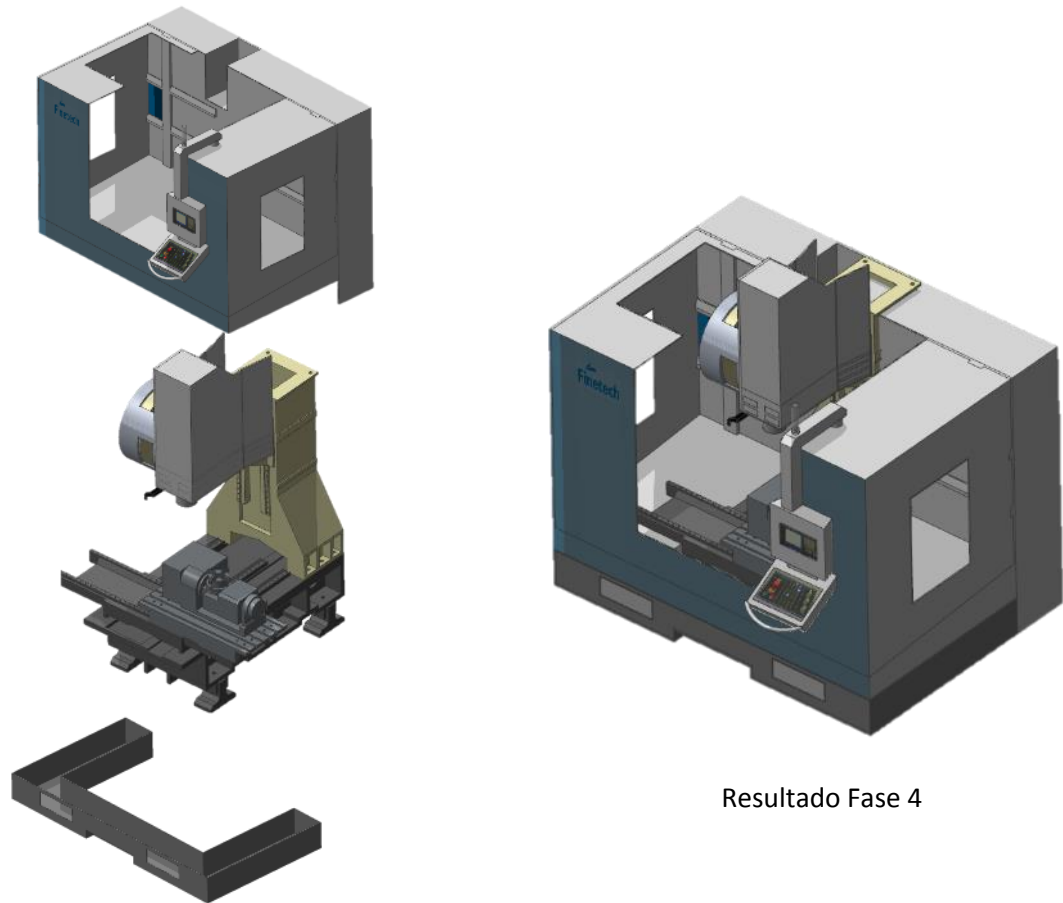
Resultado Fase 3

A este punto se puede decir que la parte estructural de la máquina ya está definida, debido a que en la Fase 3 se agrega todo lo que concierne al posicionamiento y almacenamiento de las herramientas de corte.

En la 4 y última fase de ensamblaje, se completa la máquina asociando los componentes de protección y el tablero o interface hombre-máquina, que se lleva a cabo en 2 pasos:

1. Relacionar *Resultado Fase 3* con *Carcaza Principal*
2. Relacionar *Carcaza Principal* con *Carcaza Inferior*

Figura 14. Fase 4 de Ensamblaje

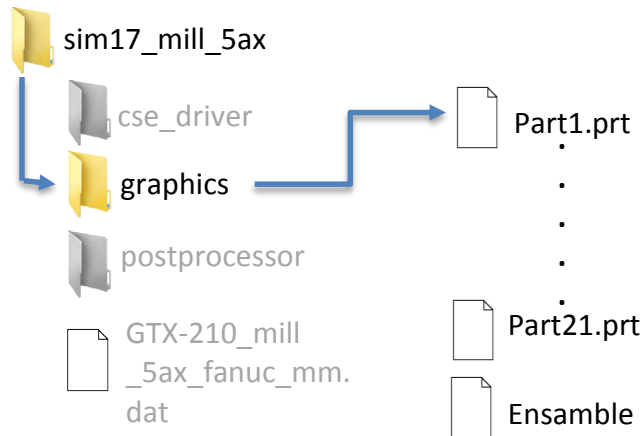


Resultado Fase 4

Fuente: Autor

Como resultado de la secuencia de cuatro fases mostrada anteriormente, se obtiene un ensamble final de toda la máquina, toda esta información se almacena en una carpeta denominada "graphics" y de la misma manera la carpeta "graphics" tiene que estar dentro de una nueva carpeta que contendrá toda la información necesaria de la máquina, en este caso la carpeta se nombra "sim17_mill_5ax, como se caracteriza en la Figura 15; en el subcapítulo 5.1.5. se aclara la razón por la cual se usa este nombre.

Figura 15. Diagrama Ruta graphics



Fuente: Autor

5.3 Asignación árbol cinemático

La asignación del árbol cinemático es realizado en el módulo Machine Tool Builder (MTB) de NX en el cual se define las dependencias cinemáticas entre los componentes móviles de la máquina. Se define la relación conductor-conducido entre los componentes de tal manera que cuando un componente conductor se mueve, los conducidos dependientes también se mueven.

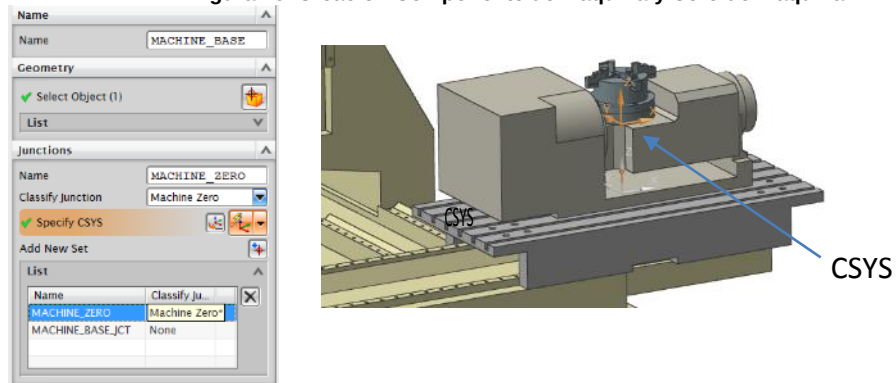
Como primer paso para la asignación del árbol cinemático se configura un componente principal y en concordancia con el orden de ensamblaje se selecciona *Bancada Eje Y* y se adiciona como componente de máquina en dos pasos:

1. NOMBRE: Se configura el nombre como MACHINE_BASE.
2. GEOMETRIA: Se selecciona la pieza *Bancada Eje Y*.

Y de forma similar se configura juntas o uniones (si aplica) y nombres a los ejes de rotación o translación, respecto a las juntas se crean dos para el mismo componente, una para referencia de cero de máquina y otra para a partir de ella definir la orientación tanto en el eje X como en el eje Y.

- i. Junta MACHINE_ZERO,
 - a. Clasificación: Machine Zero (cero de máquina)
 - b. Especificación CSYS (Cordinate SYStem, Sistema de Coordenadas): En el punto donde se cruza el eje de rotación de *Basculante Eje A* y el de *Copa Eje B*. como se indica en la Figura 16

Figura 16. Creación Componente de Máquina y Cero de máquina



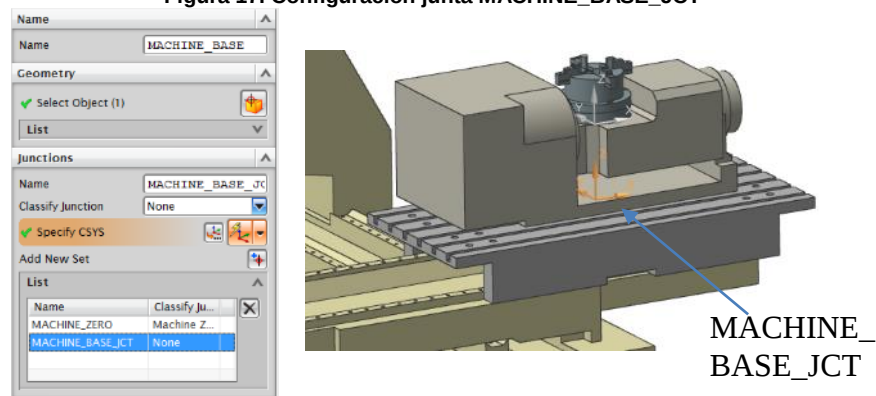
Fuente: Autor

i. Junta MACHINE_BASE_JCT

a. Clasificación: NONE

b. Especificación CSYS: Centro de la cara superior del componente *Mesa*. como lo indica en la Figura 17

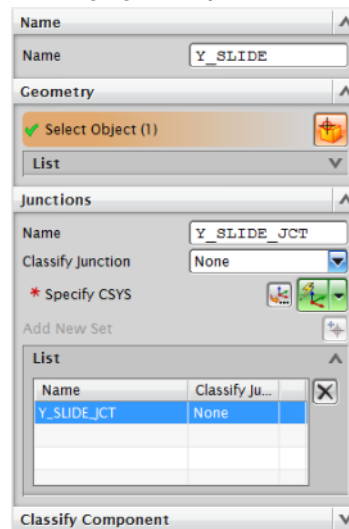
Figura 17. Configuración junta MACHINE_BASE_JCT



Fuente: Autor

Los anteriores son los pasos requeridos para definir la referencia de la cual se desglosa todo el árbol cinemática, como paso posterior se asignan todos los componentes de máquina como se guía en la Figura 18.

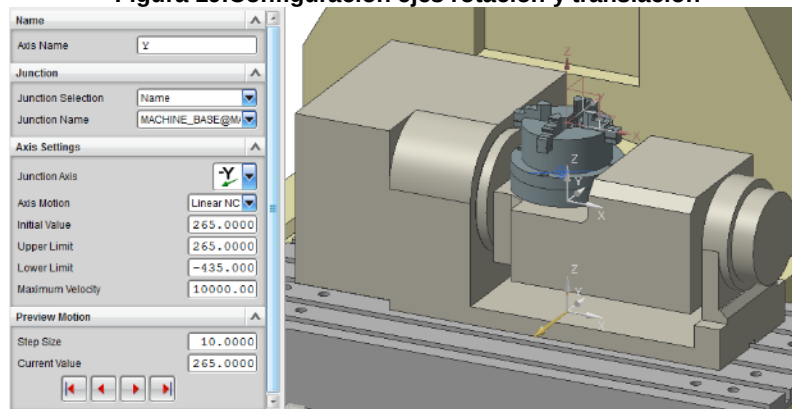
Figura 18. Agregar Componente de Máquina



Fuente: Software PLM NX de SIEMENS

Configurar los ejes de rotación y de translación es la etapa posterior a la generación del componente de máquina y de manera bastante similar se crea y se edita cada uno de los parámetros de entrada para los 5 ejes de control numérico y otros 3 ejes auxiliares que serán explicados posteriormente.

Figura 19. Configuración ejes rotación y translación



Fuente: Autor

Para la asignación de los demás componentes de máquina se configura el nombre, se selecciona la geometría, si aplica se asigna junta y se da nombre al eje esto es para cada caso como orienta la Tabla 2, todos los datos respecto a los ejes se encuentran en el Anexo 3.

Tabla 2. Asignación de Componente de Máquina

Nombre	Geometría	Clasificación	Junta	Nombre
Y_SLIDE	Eje X			Y
X_SLIDE	Mesa, Estructura			X
B_SLIDE	Basculante			B
A_SLIDE	Disco Elevador, copa eje A	_LATHE_SPINDLE	B_SLIDE_JCT	A
SETUP		_SETUP_ELEMENT	SETUP_JCT	
PART		_PART,_SETUP_ELEMENT		
WORKPIECE		_WORKPIECE,_SETUP_ELEMENT		
FIXTURES		_SETUP_ELEMENT		
Z_BASE	Torre			
Z_AXIS	Apoyo Husillo Eje Z Cobertor			Z
SPINDLE			S	S
TOOL_HOUSING	Apoyo			
TOOL_MAGAZINE	Magazine	_DEVICE		C
POCKET HOLDER1				
POCKET_01		_STATIC HOLDER	T1	
POCKET HOLDER2...				
POCKET_02...24		_STATIC HOLDER	T02...24	
TOOL_CHANGER	Brazo Cambia HTA		TOOL_HOUSING_JCT	V

Fuente: Autor

Como ya se había mencionado, el CMV cuenta con un magazine de capacidad máxima de 24 herramientas, y en el MTB es necesario configurar uno a uno los bolsillos de las herramientas, estos bolsillos se posicionan en el punto más inferior de todo el recorrido para ejecutar la acción de cambio de herramienta mediante el *Brazo Cambia HTA*, para llevar cualquier herramienta al punto inferior se crea un eje auxiliar en el centro de rotación de magazine y también se crea otro eje auxiliar para definir el movimiento del cambio de herramientas, el eje rotatorio se crea en el centro geométrico del *Brazo Cambia HTA*, el primer eje auxiliar y como apunta la Tabla 2, se nombra C y el segundo eje auxiliar V; El tercer eje auxiliar que se cita en la Tabla 2 es S, hace referencia al movimiento de rotación que realiza el husillo.

A partir de las configuraciones ya dadas se da forma al árbol cinemático tomando los componentes, conduciéndolos y posicionándolos de forma tal como se aprecia en la Figura 20.

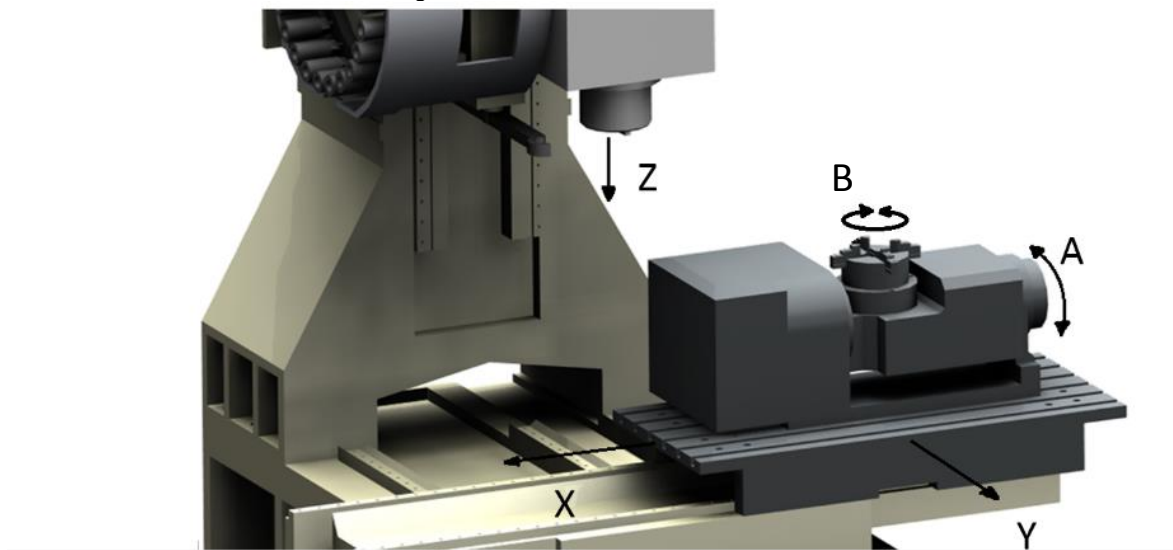
Figura 20. Estructura Componentes de máquina

Name	Classification	Junctions	Axis Name
GTX-210-V1			
⊖ MACHINE_BASE	_MACHINE_BASE	MACHINE_ZERO*, MACHINE_BASE_JCT	
⊖ Y_SLIDE			Y
⊖ X_SLIDE			X
⊖ B_SLIDE			B
FEATURES			
⊖ A_SLIDE	_LATHE_SPINDLE	B_SLIDE_JCT	A
⊖ SETUP	_SETUP_ELEMENT	SETUP_JCT	
PART	_PART_SETUP_ELEMENT		
WORKPIECE	_WORKPIECE_SETUP_ELEMENT		
FIXTURES	_SETUP_ELEMENT		
⊖ Z_BASE			
⊖ Z_AXIS			Z
SPINDLE		S*	S
⊖ TOOL_HOUSING			
⊖ TOOL_MAGAZINE	_DEVICE	TOOL_MAGAZINE_JCT	C
⊖ POCKET HOLDER1			
POCKET_01	_STATIC HOLDER	T1	
⊖ POCKET HOLDER2			
POCKET_024	_STATIC HOLDER	T24	
TOOL_CHANGER		TOOL_HOUSING_JCT	V

Fuente: Software PLM NX de SIEMENS

Una vez establecidas todas las relaciones de conductor-conducido mediante la configuración del MTB, se obtienen los movimientos básicos de los 5 DOF, como lo establece la Figura 21.

Figura 21. DOF CMV Finetech GTX-210



Fuente: Autor

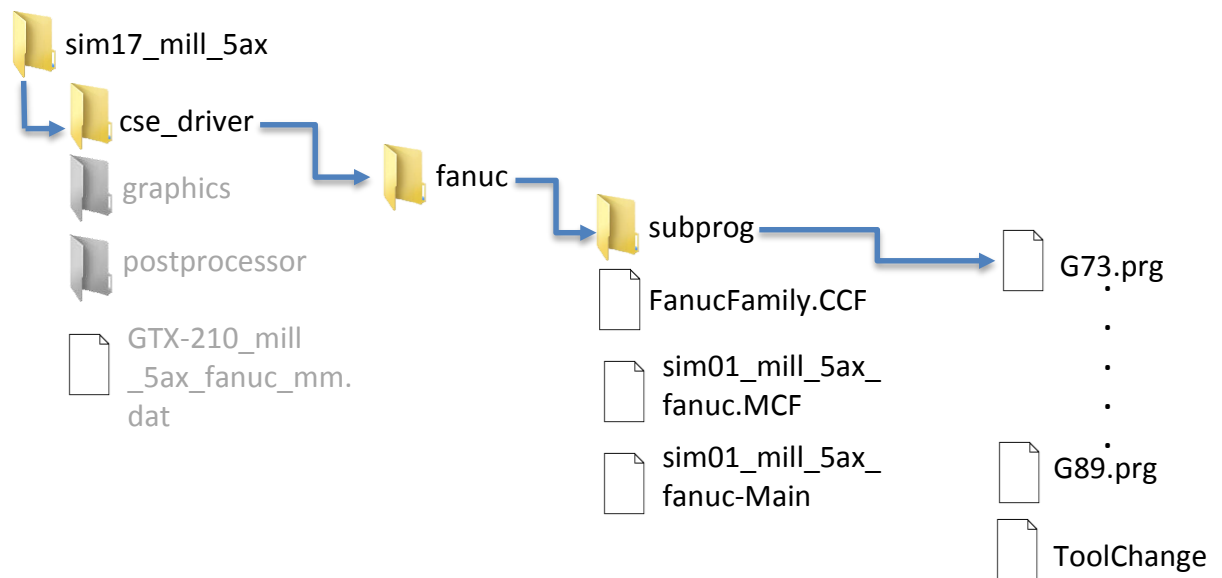
5.4 Configuración controlador de movimiento

La etapa de configuración del controlador de movimiento es en la cual se define los parámetros del software y hardware que en este caso es un control FANUC Oi-MD, todos los controladores son bastante similares y aunque tengan códigos diferentes, en esencia ejecutan operaciones semejantes.

La configuración no es más que usando un formato ya preestablecido por NX, todo dentro de la carpeta "cse_driver", como se ilustra en la

Figura 22, dentro de ésta, se definen mediante subcarpetas todos los posibles controladores para el modelo de máquina que se configure, este caso es específicamente un controlador FANUC; dentro de la carpeta "fanuc" por plantilla contiene una carpeta y tres archivos, la carpeta con todos los subprogramas específicamente traducidos a un lenguaje para controles FANUC, como lo puede ser el cambio de herramienta y todas las consideraciones para simular y para ejecutar el cambio en el CMV mediante el código M6, un archivo "FanucFamily", otro "sim01_mill_5ax_fanuc.MCF" y por ultimo "sim01_mill_5ax_fanuc-Main".

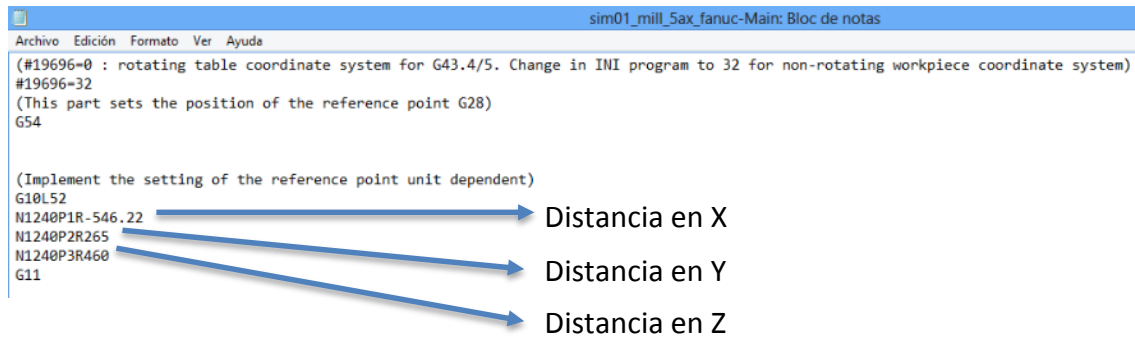
Figura 22. Diagrama Ruta Controlador de movimiento



Fuente: Autor

Los archivos *FanucFamily.CCF* y *sim01_mill_5ax_fanuc.MCF* no son necesarios configurarlos, pero el ultimo es donde se configura la referencia inicial del CMV, que convencionalmente se realiza al encender la máquina, antes de ejecutar cualquier mecanizado, los valores a introducir son las distancia en X,Y y Z entre el centro del *husillo* y el centro de la cara superior de *Copa Eje*, como se indica en la Figura 10, estos valores son específicamente -546.22, 265 y 460mm, estos valores se introducen como lo indica la Figura 23.

Figura 23. Ubicación Coordenadas Controlador de Movimiento



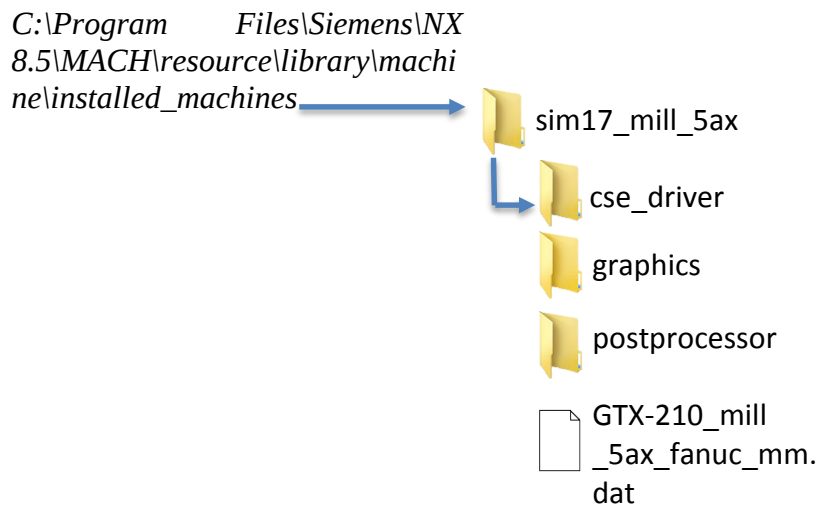
Fuente: Autor

5.5 Agregar a la librería de máquinas

Como resultado de los anteriores subtítulos, tenemos en conclusión, un archivo de extensión .DAT y tres carpetas, la primera, "cse_driver", que contiene las rutinas y subprogramas de operación para el controlador FANUC, la segunda, "graphics", en donde se encuentran todos los componentes de la máquina y el respectivo ensamble y por último la carpeta "postprocessor", esta información se almacena en una nueva carpeta "sim17_mill_5ax".

La carpeta "sim17_mill_5ax" es la que contiene toda la información necesaria para ejecutar la máquina virtual, pero debe ser localizado junto a las demás máquinas virtuales en `C:\Program Files\Siemens\NX 8.5\MACH\resource\library\machine\installed_machines`, una vez posicionada la carpeta, únicamente falta ejecutar el último paso, que es agregar a lista de máquinas disponibles para realizar Simulación y Verificación Integrada.

Figura 24. Diagrama Ruta Agregar a Librería de Máquinas



Fuente: Autor

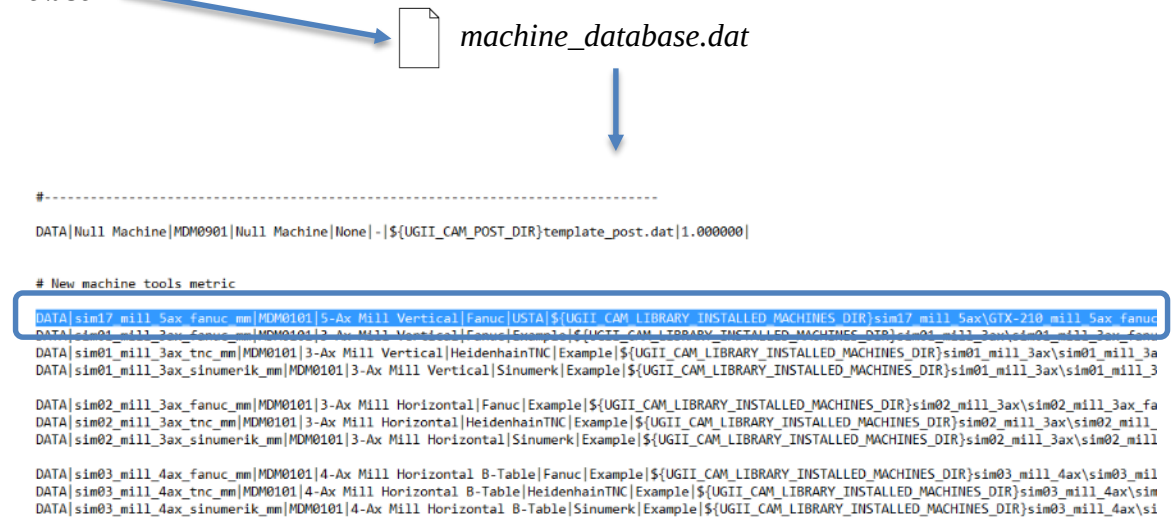
Para este último paso se abre el archivo *machine_database* ubicado en la ruta *C:\Program Files\Siemens\NX 8.5\MACH\resource\library\machine\ascii*, y en este archivo de texto debajo del título *# New machine tools metric* se agrega la línea:

```
DATA|sim17_mill_5ax_fanuc_mm|MDM0101|5-Ax Mill Vertical|Fanuc|USTA|${UGII_CAM_LIBRARY_INSTALLED_MACHINES_DIR}sim17_mill_5ax\GTX-210_mill_5ax_fanuc_mm.dat|1.000000|${UGII_CAM_LIBRARY_INSTALLED_MACHINES_DIR}sim17_mill_5ax\graphics\GTX-210_assembly
```

Como se muestra en la Figura 25.

Figura 25. Agregar Línea de Comando a la Base de Datos de Máquinas

C:\Program Files\Siemens\NX 8.5\MACH\resource\library\machine\ascii



Fuente: Autor

De esta manera al momento de ejecutar el módulo de Simulación y Verificación Integrada en el software NX, la nueva máquina virtual ya está lista para ser usada.

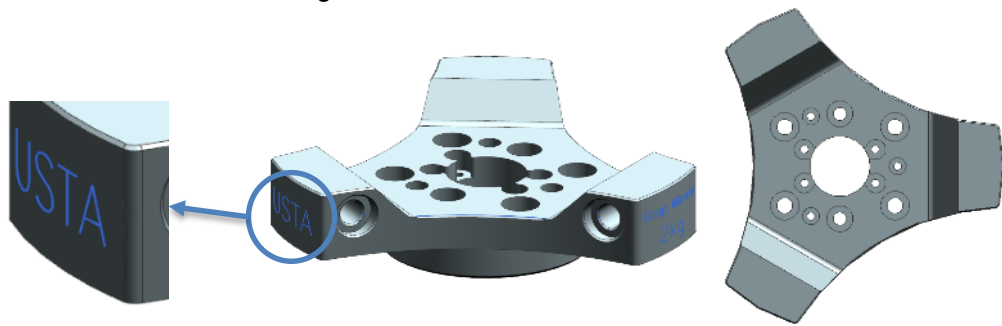
6 Planificación proceso de manufactura

6.1 Selección geometría a fabricar

La geometría seleccionada cumple con las características necesarias para ejecutar en el CMV estrategias de mecanizado tales como taladrado y fresado 2D, 2 ½ D y operaciones 3D, esta última estrategia es la principal a desarrollar, debido a que requiere la máxima capacidad del controlador y es la operación más susceptible a errores de posicionamiento, especiales para poner a prueba la precisión del simulador.

La pieza, el efector, se obtiene del proyecto del robot delta, en ejecución por parte del grupo de investigación GEAMEC de la Universidad Santo Tomás, el motivo por el cual se prefiere este componente a cualquier otro del proyecto, es debido a que cumple con las características de estrategias de mecanizado mencionadas anteriormente, y donde el simulador se va a someter a la más rigurosa prueba en el tallado de las letras laterales ubicadas en una cara circular, como se observa en la Figura 26.

Figura 26. Geometría a Fabricar



Fuente: Grupo de investigación GEAMEC-USTA

Otro argumento para realizar esta pieza es la disposición de los agujeros en los tres extremos que sobresalen de las piezas, estos agujeros deben ir a 120° entre sí con un margen de error mínimo y el hecho de realizar todos los agujeros a partir de un mismo montaje es un factor que aumenta la exactitud, comparándolo con la realización de 3 montajes diferentes para la fabricación de los 3 agujeros. El plano con dimensiones y tolerancias geométricas están en el Anexo 1.

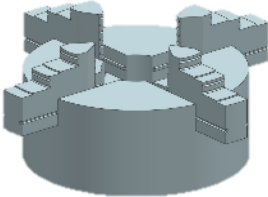
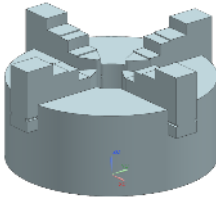
6.2 Selección de dispositivo de sujeción

Esta selección tiene en cuenta factores como:

- Tipo/tamaño de la máquina-herramienta.
- Tipo/tamaño de las herramientas.
- Secuencia de operaciones.
- Orientación de la pieza de trabajo en relación con las herramientas.

- Las fuerzas de corte.[13]
- Forma materia prima.

La materia prima o material en bruto correspondiente es un cilindro de diámetro 130 mm y longitud 60mm y teniendo en cuenta los ítems ya mencionados y la disposición ya ubicada en el CMV aplica acorde a las necesidades una copa, bien sea de 3, 4 o 6 mordazas duras, las copas de 4 mordazas son usualmente escogidas cuando la precisión de la pieza es un factor de suprema importancia [13] por estas razones y por elementos ya existentes en los laboratorios de mecanizado de la universidad fue elegido como dispositivo de sujeción una copa para 4 mordazas, y vienen dos conjuntos, uno con mordazas externas y el otro con mordazas internas, Como se ilustra en la Tabla 3 haciendo un comparativo entre los componentes virtuales y reales.

Tabla 3. Dispositivos de Sujeción		
Elemento	Virtual	Real
Copa con mordazas internas		
Copa con mordazas externas		

Fuente: Autor

6.3 Selección herramientas de corte

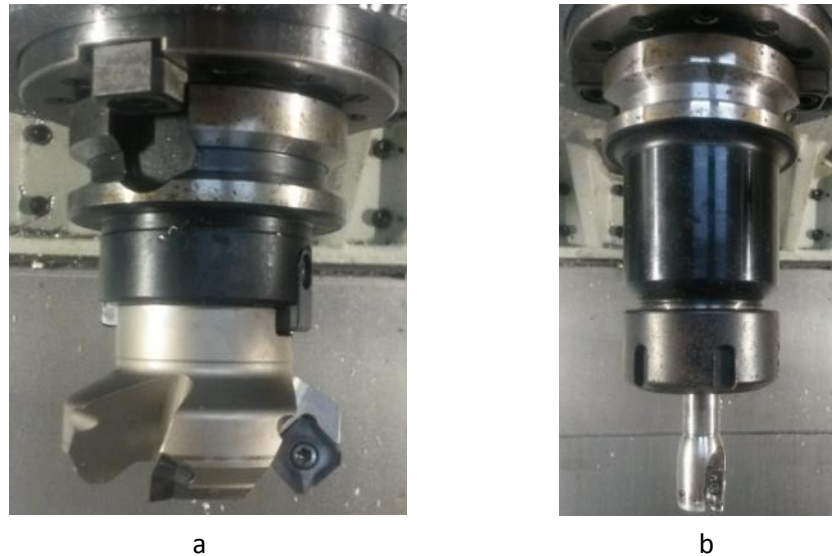
Todas las herramientas disponibles para el centro de mecanizado en la Universidad Santo Tomás, se encuentran en el Anexo 2. A partir de la lista es seleccionada la herramienta más adecuada para la operación a ejecutar.

6.3.1 Herramientas para desbaste

Por sus características es propicio para realizar planeados de desbaste la herramienta fresa Ø50mm de 4 insertos 050A09945-04-21 marca PALBIT (ITEM 90), como se presenta en la Figura 27.a.

Para desbastes de perfilado es propicio usar la herramienta Fresa Ø16mm de 2 insertos MEC 16-S12-11T marca KYOCERA(ITEM 89), indicada en la Figura 27.b., la primera herramienta no cuenta con insertos especiales para aluminio, la segunda si cuenta con los insertos para aluminio.

Figura 27. Herramientas Para Desbaste

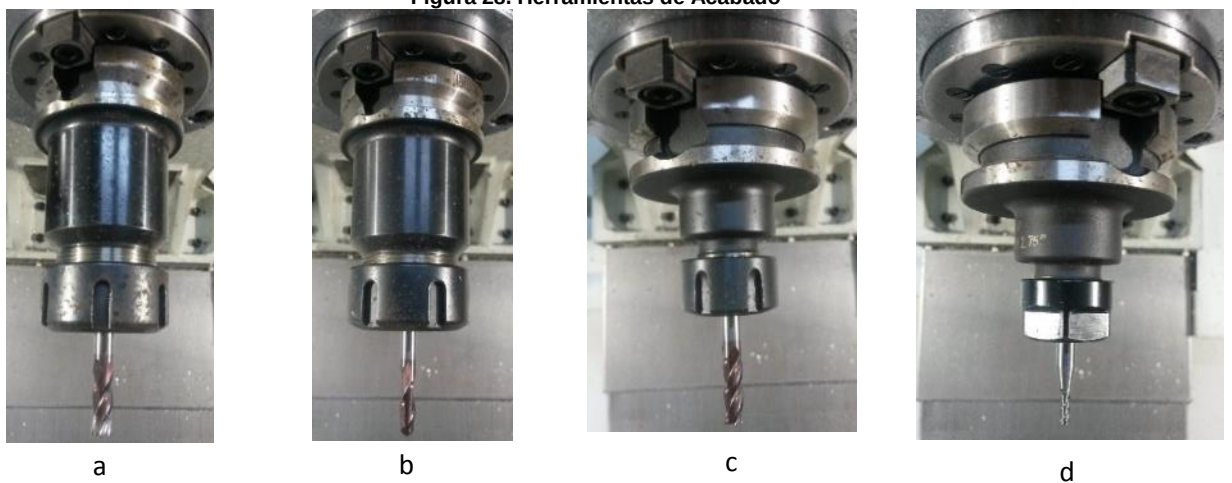


Fuente: Autor

6.3.2 Herramientas de acabado

Las herramientas de acabado por lo general son diferentes a las de desbaste y en este caso se toma esa recomendación, fresa sólida punta plana $\varnothing 5/16$ in G9021020 marca YG (ITEM 60), exhibida en la Figura 28.a, otra herramienta es la fresa sólida de la Figura 28.b., punta redonda $\varnothing 1/4$ in G9249016 marca YG (ITEM 37). Para diferentes operaciones aplica la fresa sólida punta plana $\varnothing 1/4$ in G9021016 marca YG (ITEM 58), como lo representa la Figura 28.c. y por último respecto a las herramientas de acabado aplica la fresa sólida punta plana $\varnothing 3$ mm DEA 0306 marca HGT (ITEM 55), ilustrada en la Figura 28.d.

Figura 28. Herramientas de Acabado

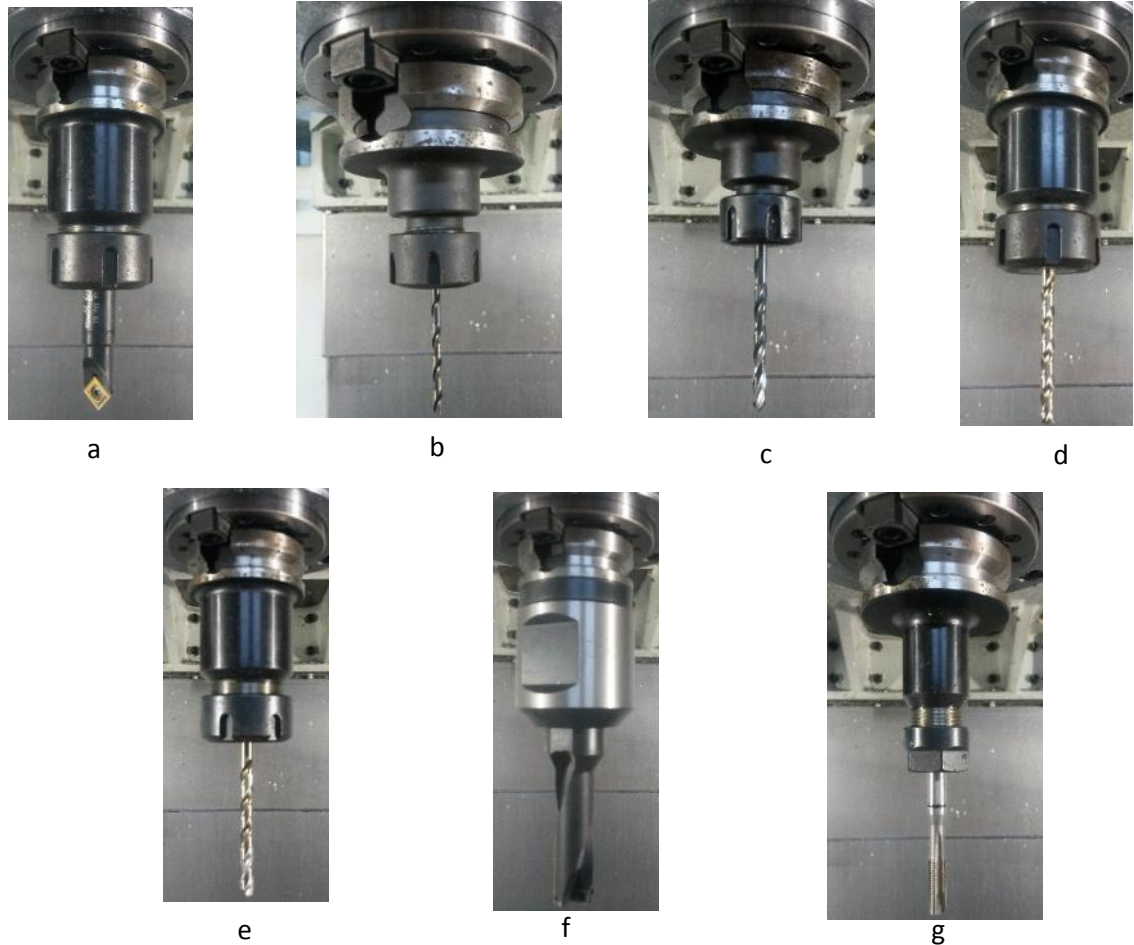


Fuente: Autor

6.3.3 Herramientas taladrado y roscado

Para taladrar y roscar se usará como lo detalla la Figura 29 la Herramienta multipropósito marca NINE9 SB16-CT-150(a), broca HSS 1/8in (b), broca HSS 5.1mm (c), broca HSS 6.2mm (d), broca HSS 7mm (e), broca de insertos 22mm (f), y macho M8x1 PT TAP 10708998 marca YG (g)

Figura 29.Herramientas Taladrado y Roscado



Fuente: Autor

6.4 Determinación de parámetros de corte.

Las condiciones de corte en un mecanizado consiste básicamente en la velocidad, avance y profundidad de corte, el herramental es usualmente considerado como factor dominante en la toma de cualquier decisión, como se resaltó en el anterior título, se van a realizar operaciones de desbaste y de acabado, las operaciones de desbaste la profundidad de corte

se hace lo mas grande como sea posible entre los limitantes de potencia, máquina y rigidez del montaje y la profundidad de las operaciones de acabado dependen de la geometría.

El problema ahora se reduce a la selección de avance y velocidad, en general, estos parámetros se deciden en el orden, primero avance y velocidad segundo seleccionar el avance óptimo para la operación depende de los siguientes factores:

- Herramienta, ¿Qué tipo de herramienta va a ser usada? Materiales duros (i.e. carburos cementados, cerámicos, etc.) o herramientas convencionales de acero rápido.
- Desbaste o acabado, operaciones de desbaste son a alto avance y velocidad de husillo medio, para operaciones de acabado, bajo avance alta velocidad de husillo [12].

Los parámetros seleccionados para las diversas operaciones son especificadas en el Anexo 4. Hojas de Procesos.

6.5 Simulación y verificación integrada.

Una vez configuradas las operaciones de mecanizado, definiendo en ellas, parámetros de corte, parámetros de movimiento sin corte, herramientas con sus dimensiones y respetivo portaherramienta, posición de la herramienta en el magazine, posición de la materia prima y hasta el detalle más mínimo de cómo se ejecutaría en primera medida el mecanizado en el CMV real, este paso es crucial para que la simulación y la verificación integrada sea exacta, si se introduce valores falsos o falsas posiciones, los resultados o conclusiones a las que se llegue mediante la simulación puede ser de igual forma falsas, motivo por el cual en el mejor de los casos la pieza ya mecanizada no va a ser concorde con la pieza programada o en el peor de los casos la máquina se puede estrellar y lastimar a alguien cerca al proceso.

El proceso de mecanizado se divide en dos etapas o montajes a los cuales se va a realizar de la misma manera dos diferentes simulaciones y verificaciones integradas.

6.5.1 Primer montaje

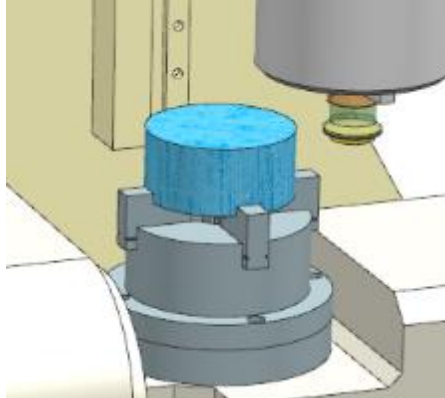
Debido a la configuración de la pieza final es necesario ejecutar la primera parte del mecanizado con la materia prima en una posición y posteriormente cambiarla a otra, también es necesario cambiar atributos del dispositivo de sujeción, para el primer montaje se usa la copa antes descrita con las mordazas externas y para el segundo montaje se cambian las mordazas por las internas.

El primer montaje cuenta con cuatro operaciones, los tiempos, parámetros y demás detalles de las operaciones se encuentran en el Anexo 4. Hojas de Procesos.

A modo de ejemplo en la Figura 30 se observa la primera operación que es un planeado, así como esta operación se verán las restantes, y la conclusión de la simulación y verificación

integrada es si el montaje como se establece se puede ejecutar sin problemas, poder afirmar con criterio que no va a ocurrir ningún accidente y la pieza final va a quedar como se ha programado, a parte de este aspecto tan importante, están otros de no menor relevancia como lo es tiempos en que la máquina está cortando, tiempos muertos o en vacío, para, si es el caso optimizar el proceso.

Figura 30. IS&V Primer Montaje



Fuente: Autor

En conclusión para las cuatro operaciones, no existe riesgo alguno de que se choque la herramienta de corte con el dispositivo de sujeción o cualquier otro elemento de la máquina, los tiempos simulados se estipulan en la Tabla 4

Tabla 4. Tiempos Simulados Primer Montaje

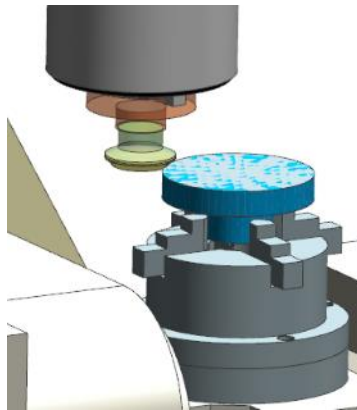
ITEM	OPERACIÓN	TIEMPO (seg)
1	PLANEADO	1291
2	CONTORNO CIRCULAR	1328
3	CHAFLAN	23

Fuente: Autor

6.5.2 Segundo montaje

Ya realizado el primer montaje, se procede al cambio de mordazas y se garantiza la excentricidad de las mismas ensambladas en la copa, con la metodología de ubicación de cero de pieza de la materia prima, como se enseña en la Figura 31, se ubica la referencia del G54.

Figura 31. IS&V Segundo Montaje



Fuente: Autor

El segundo montaje contiene muchas operaciones, más de 50, por tal motivo, se particionan en cuatro (4) grupos principales que son concordantes al orden de ejecución del programa, como se relacionan en la Tabla 5.

Tabla 5. Tiempos Simulados Segundo Montaje

ITEM	GRUPO DE OPERACIONES	TIEMPO (seg)
1	PERFILADO Y VACIADO	2391
2	AGUJEROS	1390
3	CHAFLANES	58
4	MULTIEJES	777

El grupo de operaciones "multiejés" posee todas las operaciones que requieren el uso del cuarto y quinto eje

7 Ejecución montaje experimental

7.1 Montaje y alineación de dispositivo de sujeción

En este punto se hace necesario recordar la arquitectura básica en que generalmente el CMV se encuentra, tal arquitectura es la mesa XY y el husillo, pero como se ha ilustrado anteriormente, sobre la mesa XY se posiciona el dispositivo de los 2 (dos) grados de libertad, al dispositivo se le denomina por lo general BASCULANTE, el cuarto y quinto eje son dispositivos independientes que se montan sobre la mesa XY del CMV y por lo general se encuentra desconectado sobre una estiba en el laboratorio de mecanizado,

Figura 32. Basculante



Fuente: Autor

Mediante grúa hidráulica se procede al izamiento de basculante, el primer paso es enganchar el anillo en parte superior y con cautela levantar el basculante de la estiba hasta lograr una altura superior al de la mesa XY, la Figura 33 evidencia parte del proceso de separación y el sitio donde se engancha la grúa con el anillo.

Figura 33. Izamiento del Basculante



Fuente: Autor

El segundo paso es la aproximación de a la mesa XY, en este paso es importante que el brazo de la grúa este lo suficientemente extendido para la parte inferior del basculante alcance la mesa, con la prevención de no afectar algún otro componente del CMV, el acercamiento se enseña en la Figura 34.

Figura 34. Acercamiento Montaje de Basculante



Fuente: Autor

El siguiente paso es descargar el basculante totalmente sobre la mesa XY, esto se realiza bajando lentamente el brazo de la grúa, una vez hace total contacto con la mesa XY, se desengancha y se retira la grúa del área de trabajo, posteriormente el basculante se desliza y se ubica en una posición aproximada en el cual los agujeros coincidan las ranuras de la mesa XY, hasta este punto, el montaje debe lucir como la Figura 35.

Figura 35. Posicionamiento Inicial Basculante



Fuente: Autor

En seguida se realizan las conexiones eléctricas e hidráulicas, en este paso no hay mucha confusión debido a que las mangueras, están posicionados al costado derecho e izquierdo, que deben corresponder a los mismos lados del basculante, conforme la Figura 36 *a.* es el costado izquierdo y *b.* el derecho, por lado son dos conexiones eléctricas (manguera flexométrica) y una conexión hidráulica (manguera de caucho negro) y *c.* es apariencia que debe tomar la instalación del basculante una vez se ensambla las conexiones.

Figura 36. Conexiones Eléctricas e Hidráulicas



a



b



c

Fuente: Autor

Lo anterior es todo lo que respecta al montaje, los pasos posteriores van relacionados a la alineación del basculante ya que hasta este punto está en puesta encima de la mesa sin ningún tipo de sujeción; Para la alineación del basculante se usara como herramienta únicamente un comparador de caratula con un brazo de base magnética, la cual se acciona en el husillo y se garantiza que todas las articulaciones del brazo queden totalmente rígidas, en la Figura 37 se ilustra el posicionamiento para realizar la alineación del basculante.

Figura 37. Ensamble Comparador de Caratula-Brazo



Fuente: Autor

La alineación del basculante evidentemente da precisión al montaje de la materia prima y garantiza el paralelismo y la ortogonalidad entre los ejes, cualquier variación por pequeña que sea, serán en un futuro magnificado, si se aleja de las posiciones reales. [8]

Aquí todos los pasos realizados

1. La ubicación de los 4 (cuatro) tornillos tipo Allen, no hay necesidad de aplicar torque.
2. La variación del comparador de caratula entre los dos extremos de la copa en el eje Y, como lo identifica la Figura 38, debe ser 0,01 milímetros, en este punto se referencia el eje B=0.

Figura 38. Verificación Paralelismo plano Mesa XY y Copa



a

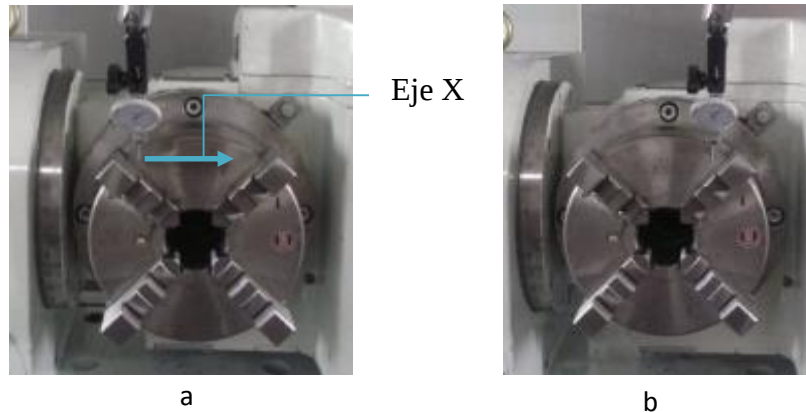


b

Fuente: Autor

3. Se gira a B+90, se mueve el comparador únicamente en el eje X y la variación debe ser 0,01 milímetros, la Figura 39 aclara la posición del eje B y la dirección del movimiento del comparador.

Figura 39. Verificación Eje B+90



Fuente: Autor

4. Los tornillos posicionados en paso 1 se les aplica un torque de preajuste.
5. Se repite el procedimiento del paso 3, pero en la posición B-90, este paso se realiza para garantizar el correcto posicionamiento de la referencia del eje B.

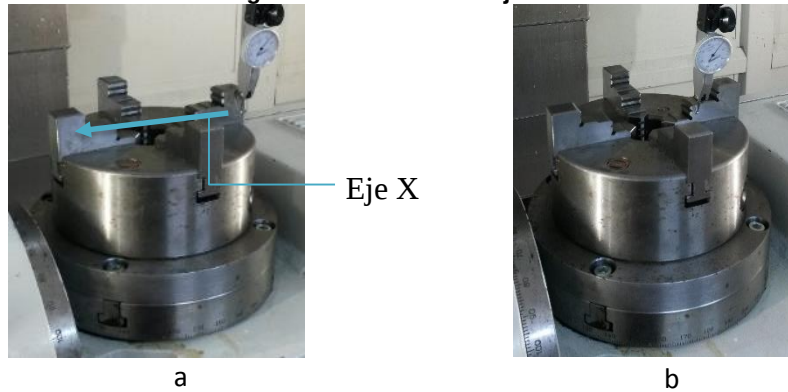
Figura 40. Verificación Eje B-90



Fuente: Autor

6. Los tornillos deben quedar totalmente apretados, asegurando que el basculante no se va a mover de la posición ya ubicada.
7. Ubicarse en B=0, mover el comparador de caratula en el eje X sobre las caras verticales de las mordazas, guiados por la Figura 41 se realiza el movimiento de *a*. hasta *b*, la variación, al igual que los casos anteriores, debe ser 0,01 milímetros, de esta manera se obtiene la referencia A=0.

Figura 41. Verificación Eje A



Fuente: Autor

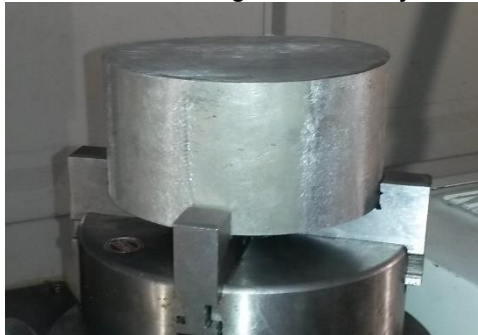
7.2 Montaje, alineación y cero de pieza de la materia prima

Para la fabricación de esta componente específicamente se realizan 2 (dos) montajes, con la característica principal de que en el primero se usan mordazas externas y para el segundo las internas. El procedimiento de montaje, alineación y ubicación del cero pieza para la materia prima es similar en ambos montajes con la diferencia que el valor en la coordenada Z varia.

Los pasos para lograr ese objetivo son los siguientes:

1. Abrir mordazas hasta lograr unos milímetros más a los del diámetro de la materia prima
 - Particularidad
 - i. Montaje 1. Uso de mordazas externas, como se aprecia en la
 - ii. Figura 42 a., la cara inferior de la materia prima reposa sobre el escalón intermedio de la mordaza
 - iii. Montaje 2. Uso de mordazas internas, uso de paralela (elemento con caras paralelas rectificadas) para elevar 12mm la pieza de la copa, la cara inferior de la materia prima se apoya sobre la paralela, como lo ilustra la
 - iv. Figura 42 b.

Figura 42. Montaje Materias Primas en Mordazas



a



b

Fuente: Autor

2. Cerrar las mordazas garantizando que la base se apoye lo máximo posible y la parte externa del diámetro permanezca firme contra las mordazas, se debe aplicar el torque necesario manualmente, como se aprecia en la Figura 43 y en seguida golpear ligeramente con martillo para terminar de ajustar.

Figura 43. Apriete de Mordazas



Fuente: Autor

3. Desbastar la cara superior hasta lograr una superficie totalmente plana, sin protuberancias o valles, este paso depende de cuan desviando este el material, pero por lo general no debe consumir más de 3 milímetros, en la Figura 44 se logra apreciar la diferencia en el acabado superficial y se cómo se va logrando una superficie plana.

- Particularidad

- i. Montaje 1. Una vez se logra una cara plana se libera el material, se da vuelta y se repiten los pasos 1. y 2.

Figura 44. Desbaste Para Garantizar Cara Plana



Fuente: Autor

4. Palpar con la herramienta de sensado (palpador digital) dos punto del diámetro externo de la copa que se encuentren los más distante sobre el eje X y sobre una misma coordenada en los ejes Y y Z, la Figura 45 a. y b. ilustra los punto que se palpan, el centro los puntos palpados es el cero de la material prima en el eje X.
5. Palpar dos punto del diámetro externo de la copa que se encuentren los más distante posible sobre el eje Y y sobre la misma coordenada en los ejes X y Z, el centro de los puntos palpados es el cero de la materia prima en el eje Y, la Figura 45 c. y d. evidencian los puntos palpados para encontrar el origen en eje Y.

Figura 45. Palpado Para Hallar Origen XY



a



b



c



d

Fuente: Autor

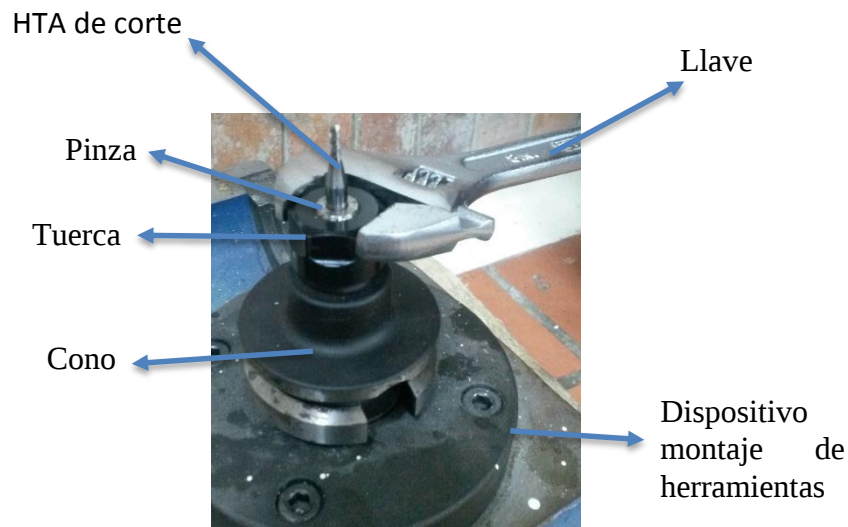
7.3 Montaje y compensación de la herramienta

En la sección 46, se definieron el origen en las coordenadas X, Y, A y B, para precisar el origen en Z requiere un proceso especial el cual va ligado a la compensación de las alturas de las herramientas, pero antes de concretar el proceso de compensación, se explica el proceso general para ensamblar y montar la herramienta.

Los pasos para el montaje normalmente son:

1. Ubicar el cono en el dispositivo especial para realizar el montaje de herramientas.
2. Ensamblar tuerca y pinza.
3. Roscar tuerca con la pinza al cono, ajustar hasta tal punto que no deforme la pinza.
4. Ubicar la herramienta de corte en la posición deseada.
5. Aplicar torque con llave hasta que la herramienta de corte esté totalmente fija, hasta este paso el proceso debe lucir como muestra la Figura 46, la cual también detalle todos los componentes anteriormente usados

Figura 46. Componentes Montaje de Herramientas



Fuente: Autor

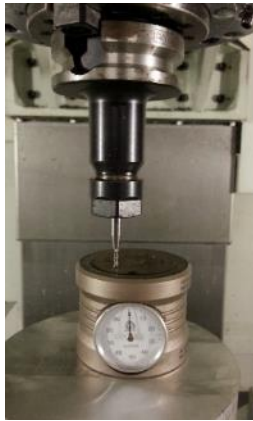
6. Montar la herramienta en el husillo de la máquina, la máquina debe estar en modo manual, en el momento de ubicar la herramienta en el husillo se obtura el "realse button" y la máquina ya sujeta la herramienta, la herramienta queda como se indicó en la Figura 28.

Cuando se trabaja con más de una herramienta, como es este caso, se tiene en cuenta la diferencia de longitud entra las mismas y controlar dicha medida para tener siempre el mismo nivel en una coordenada Z. [11]

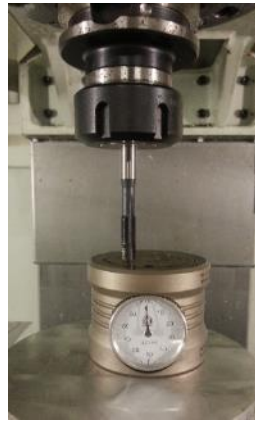
El proceso de compensación se realiza una vez todas las herramientas estén montadas en la máquina, convencionalmente se selecciona la herramienta Fresa multipropósito $\varnothing 15\text{mm}$ NINE9 como la herramienta de referencia, en el proceso interviene un elemento el cual mide 51mm y en la parte superior permite el movimiento de 1mm (definido por comparador de caratula), lo cual quiere decir, desde la punta de la herramienta corte hasta la cara inferior del elemento mencionado existe exactamente 50mm y con respecto a estos 50mm se referencia cada una de las herramientas y esta información se almacena en una tabla de compensaciones de longitudes de herramientas internamente en el control FANUC.

En la Figura 47 se observa el proceso de compensación de alturas de diversas herramientas y también la gran variación que puede existir entre las mismas, la imagen también ayuda a saber cuál es la posición de la referencia $Z=0$, tal posición es en la cara inferior del comparador de caratula que es la misma cara superior de la cara plana.

Figura 47. Medición Compensación Altura Herramientas



a



b



c

Fuente: Autor

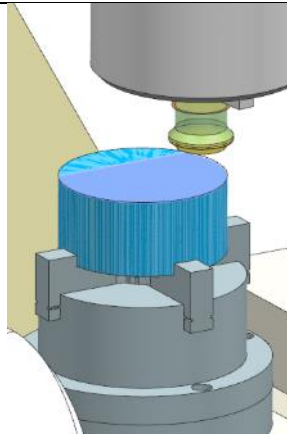
7.4 Ejecución del proceso de maquinado

7.4.1 Primer montaje

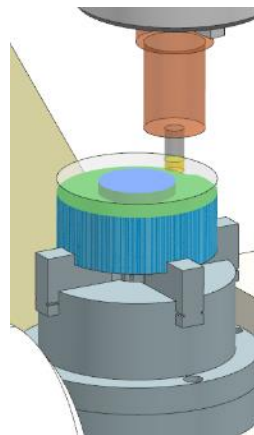
Tabla 6. Comparación Proceso Maquinado Primer Montaje Virtual Vs Real

Operación	Virtual	Real
-----------	---------	------

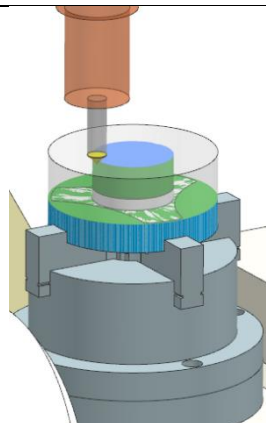
Planeado



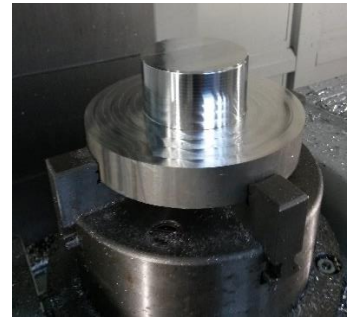
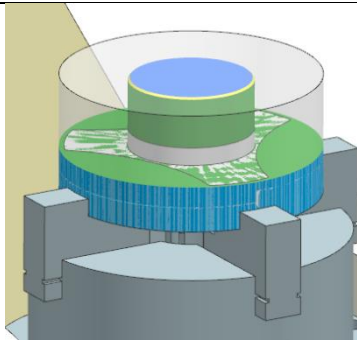
Contorneado circular



Achaflanado



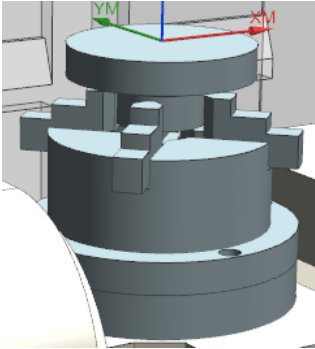
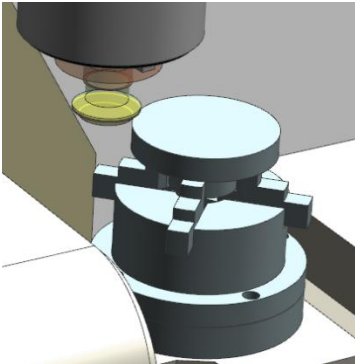
Pieza Final del
primer montaje



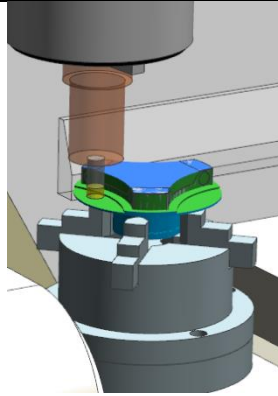
Fuente: Autor

7.4.2 Segundo montaje

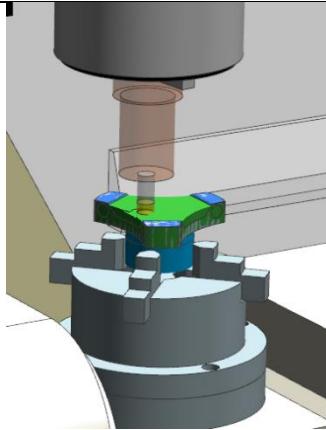
Tabla 7. Comparación Proceso Maquinado Segundo Montaje Virtual Vs Real

Operación	Virtual	Real
MONTAJE INICIAL SEGUNDO MONTAJE		
PLANEADO		

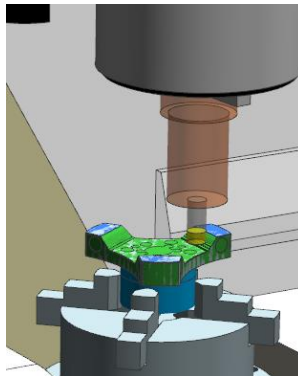
PERFILADO



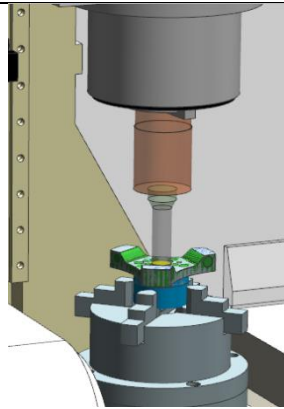
DESBASTE DE CAVIDAD



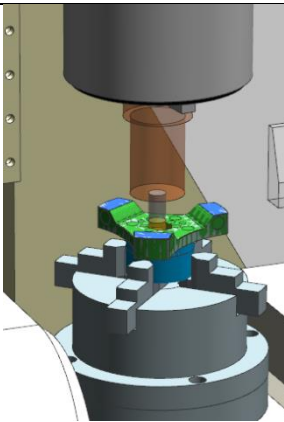
SEMIACABADO DE CAVIDAD



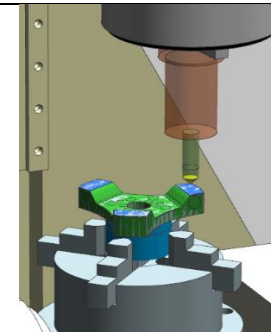
TALADRADO 22mm



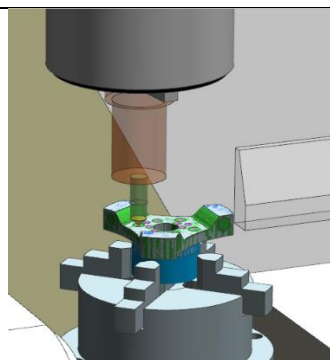
ACABADO AGUJERO
22MM



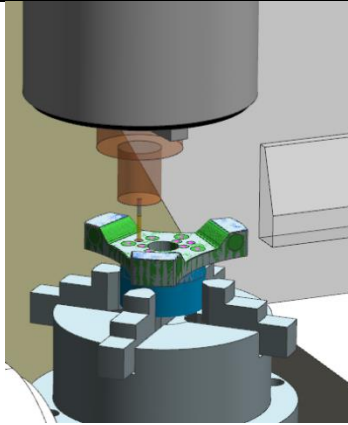
CHAFLAN



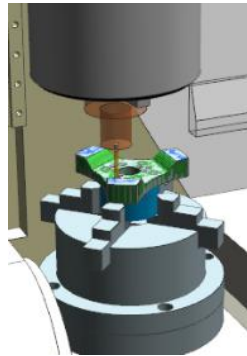
CENTRO PUNTEADO



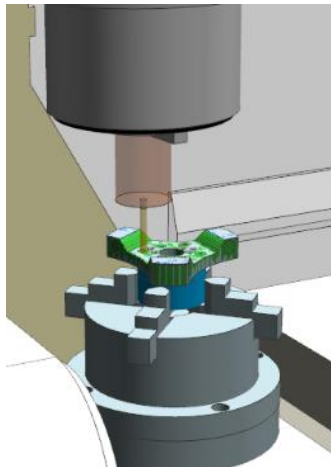
TALADRA 1/8 IN



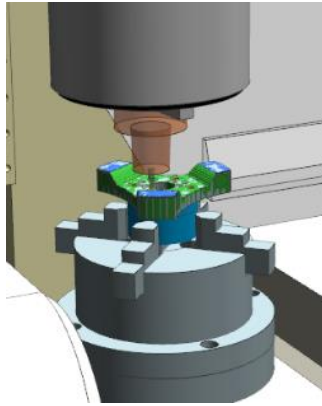
TALADRADO 5.1mm



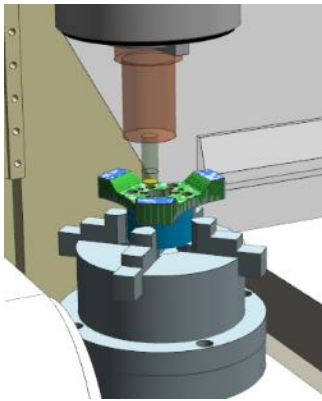
TALADRADO 6.2mm



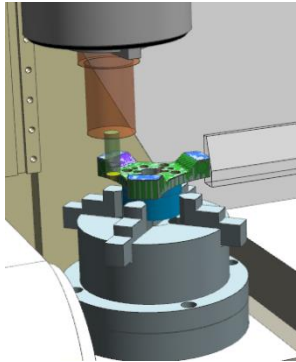
ACABADOS CABEZA
AGUJEROS



CHAFLAN AGUJEROS



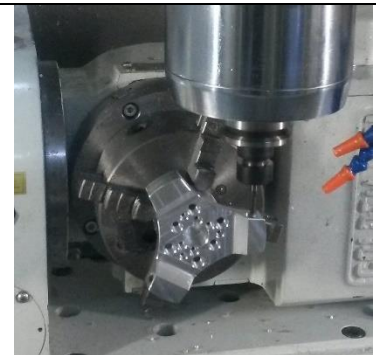
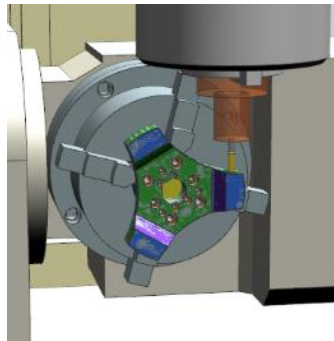
CHAFLAN COSTADOS



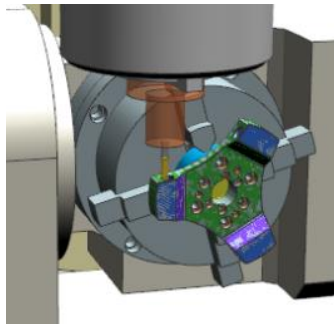
ACABADO INDEXADO
LATERALES



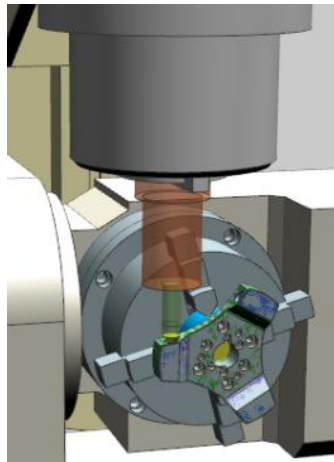
DESBASTE AGUJEROS
LATERALES



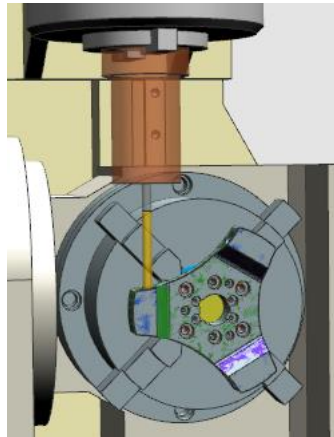
ACABADO AGUJEROS
LATERALES



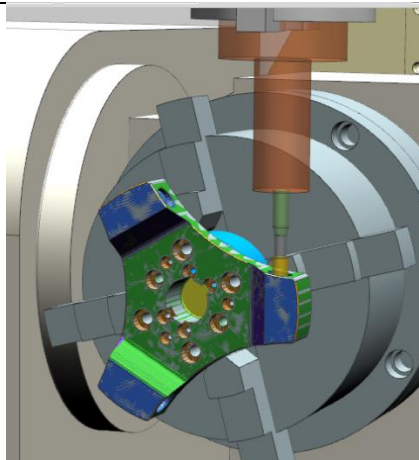
CENTRO PUNTEADO
AGUJEROS LATERALES



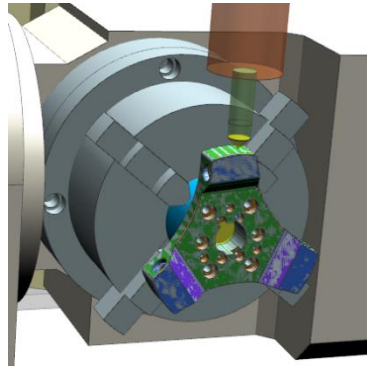
TALADRADO 7MM



ROSCADO M8



GRAVADOS



Fuente: Autor

7.5 Evaluación dimensional de parte fabricada

En el proceso de evaluación dimensional se validan las principales medidas, las cuales con los medios disponibles en la universidad se logran obtener de manera directa o indirecta, el proceso se realiza con elementos metrológicos como: Proyector de perfiles, calibrador pie de rey y micrómetro, como se observa en la Figura 48

Figura 48. Proceso de Medición en Proyector de Perfiles



Fuente: Autor

Las dimensiones definitivas de la pieza se plasman en el Anexo 5. Planos Pieza Fabricada,

7.6 Análisis de tiempos de manufactura simulados y reales

7.6.1 Primer montaje

Para el primer montaje, se ejecutan cuatro operaciones y la Tabla 8 compara los tiempos reales y los tiempos simulados y el respectivo porcentaje de error por cada operación.

Tabla 8. Comparación Primer Montaje Tiempos Reales y Simulados

OPERACIÓN	TIEMPOS REALES	TIEMPOS SIMULADOS	% ERROR
Planeado	1305	1291	1.08
Contorneado circular	1315	1328	0.97
Achaflanado	22	23	4.34
% ERROR PROMEDIO			2.13

Fuente: Autor

7.6.2 Segundo montaje

En el caso del segundo montaje la Tabla 9 ilustra gran parte de las operaciones, tiempos de mecanizado reales y virtuales y el porcentaje de error por cada operación.

Tabla 9. Comparación Segundo Montaje Tiempos Reales y Simulados

Operación	TIEMPOS REALES	TIEMPOS SIMULADOS	% ERROR
PLANEADO	624	623	0%
PERFILADO	1220	1188	3%
DESBASTE DE CAVIDAD	323	304	6
SEMIACABADO DE CAVIDAD	207	228	9
TALADRADO 22mm	7	7	0
ACABADO AGUJERO 22MM	6	6	0
CHAFLAN	27	27	0
CENTRO PUNTEADO	32	34	6
TALADRA 1/8 IN	128	139	8
TALADRADO 5.1mm	110	116	5
TALADRADO 6.2mm	86	81	6

ACABADOS CABEZA AGUJEROS	295	292	1
CHAFLAN AGUJEROS	40	37	8
CHAFLAN COSTADOS	21	21	0
ACABADO INDEXADO LATERALES	29	27	7
DESBASTE AGUJEROS LATERALES	66	66	0
ACABADO AGUJEROS LATEALES	18	18	0
CENTRO PUNTEADO AGUJEROS LATERALES	12	12	0
TALADRADO 7MM	102	102	0
ROSCADO M8	81	81	0
GRABADOS	480	482	1
		%ERROR PROMEDIO	1

Fuente: Autor

8 Conclusiones

En la implementaciones de un montaje real se hace evidente la necesidad de los IS&V en máquinas de más de 3 grados de libertad por la complejidad en la interpretación de los movimientos de los ejes.

La asignación completa y acertada de los componentes y sus características en el módulo machine tool builder acelera el proceso de simulación y verificación integrada porque no hay necesidad de asignar propiedades cada vez que se simula y verifica un proceso de maquinado.

En el montaje realizado se explican factores determinantes en el proceso de manufactura multiejes como lo son: alineación del basculante y procedimiento de definición del cero de pieza, generando así un procedimiento estándar de montaje para centros de mecanizado de arquitectura similar al de la Universidad Santo Tomás.

Los sistemas IS&V son una poderosa ayuda para la selección de longitudes de herramientas y elementos de sujeción, debido a factores como la sencilla interpretación de los acontecimientos y teniendo en cuenta varias alternativas de montaje.

La simulación simple ignoran los efectos del postprocesador motivo por el cual aunque los resultados de la simulación no señalen colisiones esto no puede ser del todo cierto, en cambio los IS&V ejecutan exactamente los movimientos de la máquina evitando posibles colisiones.

El uso de sistemas IS&V en la planificación del proceso de manufactura prevé los tiempos del proceso de manufactura, entre ellos, tiempo de contacto con la herramienta, tiempos muertos de acercamiento, entrada y salida de la herramienta, con la ventaja de ver las variaciones de tiempo entre los diferentes patrones de corte.

Las dimensiones de la pieza fabricada estuvieron dentro de las tolerancias exigidas, validando así el sistema IS&V del CMV Finetech GTX-210, las ligeras variaciones de las medidas se debe a desgaste de herramienta y la incertidumbre el proceso de compensación de herramienta

9 Recomendaciones

Para la selección de las dimensiones de la materia prima, se tomó como único criterio las dimensiones de la geometría a fabricar, y no se consideraron las limitantes físicas impuestas por la arquitectura de la máquina y sus componentes.

Para las actuales arquitecturas multiejes surge la necesidad para planificar el proceso de manufactura modelar la máquina específica en la cual se va a ejecutar el proceso y no basar la planeación en las máquinas que contiene el software por defecto en las bibliotecas.

Continuar estudios sobre el control Fanuc del CMV y la modificar el postprocesador a requisitos particulares del control, puesto que se personalizó uno genérico a un nivel básico.

Es necesario hacer estudios más profundos sobre la correcta configuración y uso de dispositivos de la sujeción de la materia prima, con el propósito de cambiar sencilla y rápidamente los tipos de mordazas y apertura de las mismas.

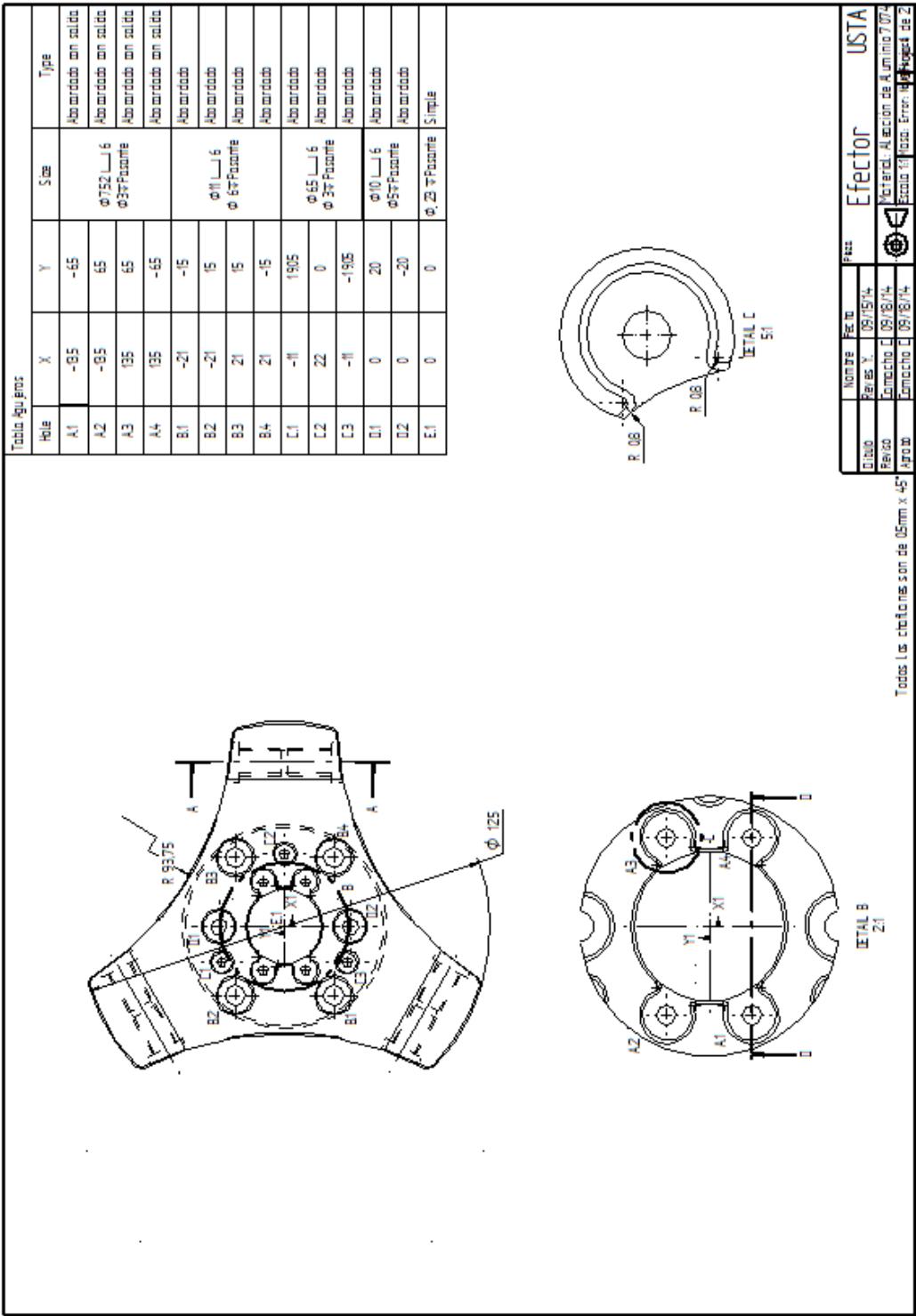
Establecer posición estándar de las herramientas en el magazine del CMV para integrar y reusar librerías de herramientas, portaherramientas y parámetros de corte, con el fin de no configurar ello cada vez que se realiza una nueva programación CAM.

10 Bibliografía

- [1] T. Moriwaki, "Multi---functional machine tool," CIRP Annals --- Manufacturing Technology, vol. 57, 2008.
- [2] P. Radhakrishnan, S. Subramanyan and V. Raju, CAD/CAM/CIM, New age international, 2008.
- [3] J. Madison, CNC Machining Handbook: Basic Theory, Production Data, and Machining Procedures, New York, USA: Industrial Press, 1957.
- [3] X. Xu, Integrating Advanced Computer-Aided Design, Manufacturing, and Numerical Control: Principles and Implementations, Information Science reference, 2009
- [5] A. C. y. D. T. Louis Cáceres, "Máquinas Especiales CNC en Bogotá," *Fabricar*, vol. 0, no. II, p. 9, 2012.
- [6] UGS Corp, "Advanced Machining Applications, Student Guide," 2005.
- [7] Y. Altintas, C. Brecher and S. Wi, "Virtual Machine," Aachen University of Technology, Aachen, Germany.
- [8] K. Apro, Secrets of 5-axis machining, Industrial Press, 2008.
- [9] A. Mazakas, "Simplified 5-Axis Machining," Espirt, Camarillo, USA, 2011.
- [10] E.Lo Valvo, R. Licari and A. Adornetto, Università degli Studi di Palermo, Palermo, Italy, "CNC Milling Machine Simulation in Engineering Education," Italia, 2012.
- [11] Francisco Cruz Teruel, "Control numérico y programación: sistemas de fabricación de máquinas automatizadas", MARCOMBO, 2004
- [12] M. P. Groover ,Fundamentals of modern manufacturing materials, processes, and systems, third edition, Jhon wiley & Sons INC, USA, 2007
- [13] P. Scallan, Processw Planning: the design/manufacture interface, Butterworth-Heinemann, USA, 2003

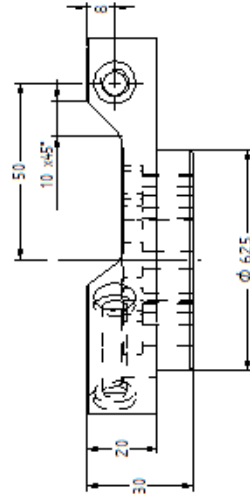
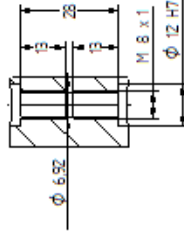
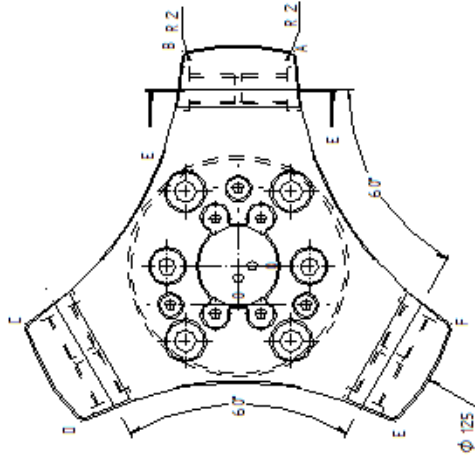
Anexos

Anexo 1. Plano de Manufactura Efecto



Coordenadas puntos de ajuste		
Punto	X	Y
A	6.043	-5596
B	6.043	1596
C	-46.39	6.031
D	-44.04	44.35
E	-44.04	-44.35
F	-46.39	-6.031

Nota: Los puntos de las coordenadas están definidos en las intersecciones de las curvas antes de realizar los redondeos 70mm.



Nombre	Fecha	Firma	Efecto	Usta
Revisado	09/18/14			
Revisado	09/18/14			
Revisado	09/18/14			

Todos los citados son de 05mm x 45

Material: Aluminio 7075
Escala: 1:1
Fecha: 09/18/14
Ejecutor: Efecto

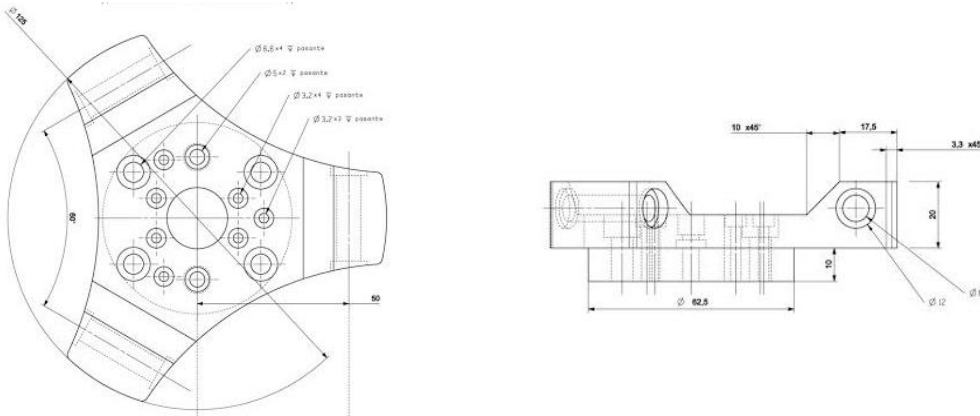
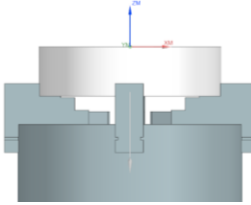
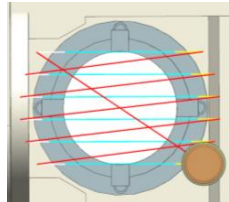
Anexo 2. Herramientas disponibles

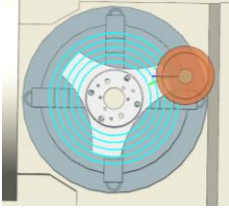
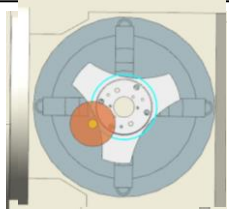
USO	DESCRIPCIÓN	CARACTERÍSTICAS	REFERENCIA	MARCA	CANT
Fresas	Fresa multipropósito	15mm 1 inserto	SB16-CT-12(NC40)	NINE9	1
Fresas	Fresa de insertos	50 mm 4 insertos para planeado	050A09945-04-21	Palbit	1
Brocas	broca de insertos	22mm 2 insertos	ik9521-96-1R3	Iscar	1
Fresas	Punta plana Carburo	1/4" (6.35 mm)	G9021016	YG	1
Fresas	Punta redonda Carburo	1/4" (6.35 mm)	G9249016	YG	1
Fresas	Punta plana Carburo	5/16" (7.94 mm)	G9021020	YG	1
Brocas	Broca HSS	6,2 mm		YG	2
Fresas	Fresa multipropósito	15mm 1 inserto	SB16-MC-12(NC40)	NINE9	1
Fresas	Punta plana Carburo	10 mm	AEA 1002	YG	1
Fresas	Fresa de insertos	16 mm 2 insertos BDMT11T...	MEC 16-S12-11T	Kyocera	1
Machos	Macho	M8x1	PT TAP 10708998	YG	2
Brocas	Broca HSS	5.1 mm		YG	2
Brocas	Broca HSS	3.17 mm (1/8")		YG	1
Fresas	Punta plana Carburo	3 mm	DEA 0306	HGT	1
Brocas	Broca HSS	7.0 mm		YG	2

Anexo 3. Datos ejes de control numérico

Característica/eje	Y	X	A	B	Z
Nombre eje	Y	X	A	B	Z
Selección de junta	Name	Name	Name	Name	Name
Nombre de junta	MACHINE_BASE@ MACHINE_BASE_JCT	MACHINE_BASE@ MACHINE_BASE_JCT	A_SLIDE@ B_SLIDE_JCT	MACHINE_BASE@ MACHINE_ZERO	SPINDLE@S
Eje de junta	-Y	-X	-Z	-X	X
Movimiento de eje	Linear NC	Linear NC	Rotary NC	Rotary NC	Linear NC
Valor inicial mov.(mm)	265	-546,22	SIN LIMITES	0 deg	460
Valor màx. Mov.(mm)	265	453,78		110 deg	590
Valor Mín mov.(mm)	-435	-546,22		-110 deg	-92
Velocidad màx.	500 mm/seg	500 mm/seg	11988 deg/min	7992 deg/min	500 mm/seg

Anexo 4. Hojas de Procesos

		Universidad Santo Tomas de Aquino Facultad de ingeniería Mecanica Proyecto de Grado-Pieza Efector Delta Yamid Gonzalo Reyes Florez										
Hoja de Proceso montaje 1												
Material Aleacion de aluminio 7074			Dimensiones en bruto Cilindro de Ø35 mm x 60 mm				DIN 7168					
												
Fase	Subfa.	Oper.	Designacion	Croquis	Herrami.	Nº pasadas	RPM	Vc m/min	f (mm/min)	ap máx (mm)	ae máx (%)	Tiempo seg
1	1	11	Montaje materia prima en copa de eje A (Apoyado sobre cara de mordazas)		Copa con mordazas exteriores	-	-	-	-	-	-	120
		12	Planeado		T3	3	955	150	191	1	75%	1291

		13	Contorneado circular		T13	19	8000	402	1200	2	60%	1328
		14	Achaflanado		T11	1	6400	300	640	0,5	5%	23
Observaciones:									Tiempo Total (s)		2762	
T3	Fresa Ø50mm de 4 insertos 050A09945-04-21 PALBIT							Tiempo total (min)		46,033		
T13	Fresa Ø16mm de 2 insertos MEC 16-S12-11T KYOCERA											
T11	Fresa multiproposito Ø15mm 1 inserto SB16-CT-12(NC40) NINE9											

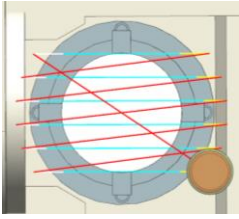
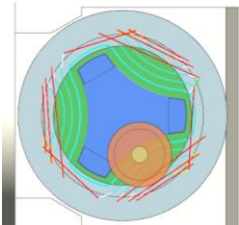
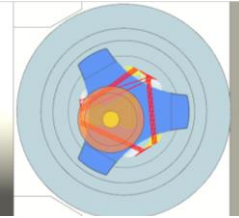
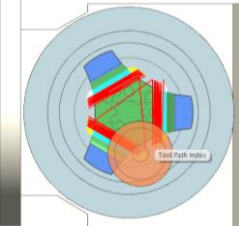
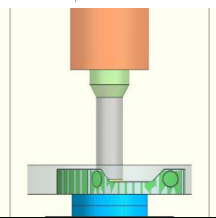
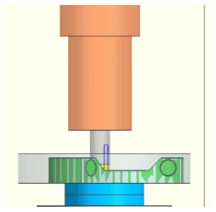


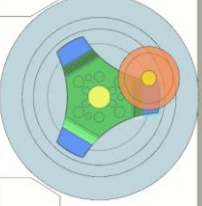
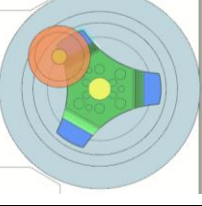
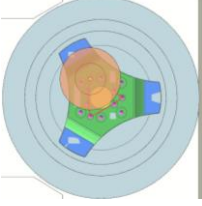
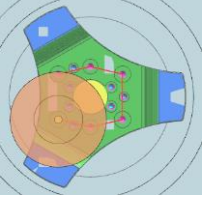
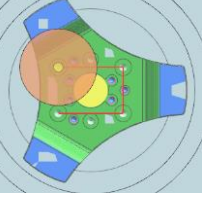
Universidad Santo Tomás de Aquino
Facultad de ingeniería Mecánica
Proyecto de Grado-Pieza Efecto Delta
Yamid Gonzalo Reyes Florez

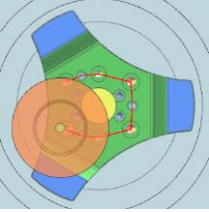
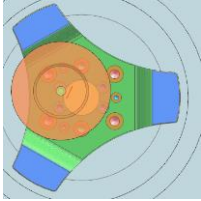
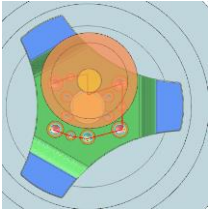
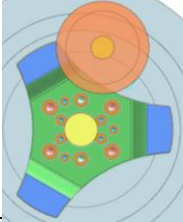
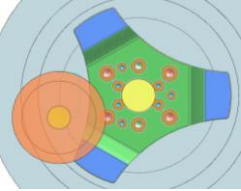
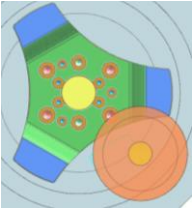
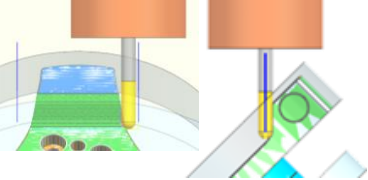


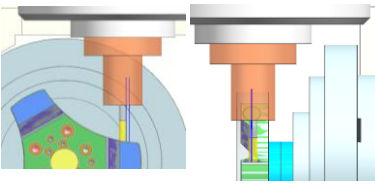
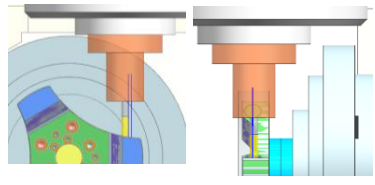
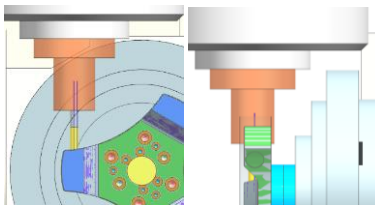
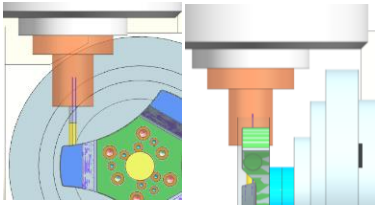
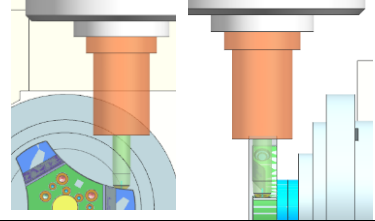
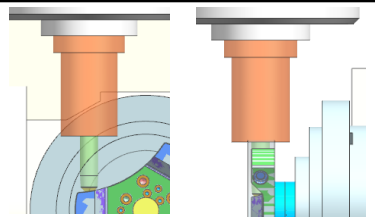
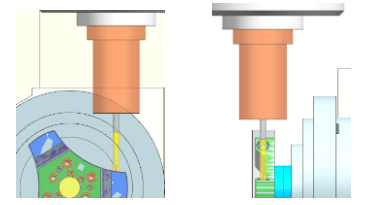
Hoja de Proceso Montaje 2

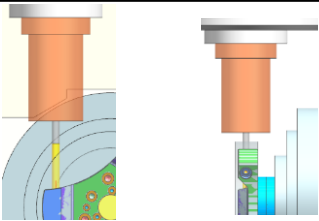
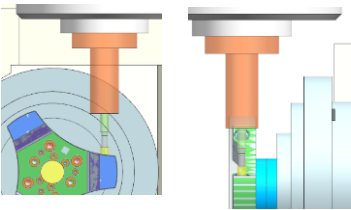
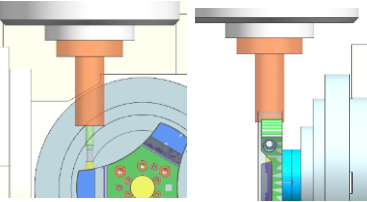
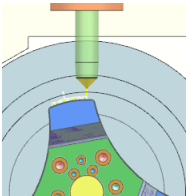
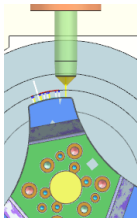
Material			dimensiones en bruto					DIN 7168				
Aleacion de aluminio 7074			Cilindro de Ø35 mm x60mm									
Fase	Subfa.	Oper.	Designacion	Croquis	Herrami.	Nº pasadas	RPM	Vc m/min	f (mm/rev)	ap (mm)	ae máx (%)	Tiempo seg
2		1	Cambio de mordazas		Copa con mordazas interiores	-	-	-	-	-	-	360
	1	2	Dar vuelta al material y sujetar (cara inferior a 2,5mm de mordaza)		Copa con mordazas interiores	-	-	-	-	-	-	360

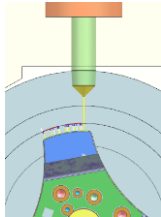
2	3	Planeado		T3	3	955	150	382	1	###	623
	4	Perfilado		T13	11	8000	400	1200	2	###	1188
	5	Desbaste de cavidad		T13	7	8000	400	1200	1,5	###	304
	6	Semiacabado Cavidad		T13	23	8000	400	1200	0,4	4%	228
	7	Taladrado 22mm			1	2200	152	220	22	-	7
	8	Acabado agujero 22mm			4	8000	400	1500	5	8%	6

	9	chaflan brazo 1		T11	1	6000	282	600	0,5	1	9
	10	chaflan brazo 2		T11	1	6000	282	600	0,5	1	9
	11	chaflan brazo 3		T11	1	6000	282	600	0,5	1	9
	12	Centro punteado		T1	1	3000	141	120	0,3	-	34
	13	Taladrado 1/8in		T21	11	6000	59	150	2	-	139
	14	Taladrado 5,1mm		T19	11	3000	47	150	2	-	116
	15	Taladrado 6,2mm		T10	11	2500	48	150	2	-	81

	16	Acabados cabeza agujeros		T22	4	14000	131	450	0,3	0	661
	17	Contorno interno agujeros ojales		T22	4	14000	131	450	0,3	0	292
	18	chaflan agujeros		T11	1	6000	282	600	0,5	1	37
	19	chaflan costados		T11	1	6000	282	600	0,5	1	7
	20	chaflan costados		T11	1	6000	282	600	0,5	1	7
	21	chaflan costados		T11	1	6000	282	600	0,5	1	7
3	22, 23, 24	acabado indexado laterales		T8	1	9775	195	391	13	0	27

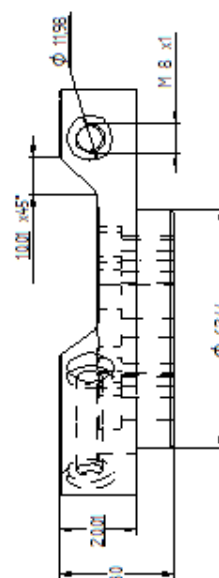
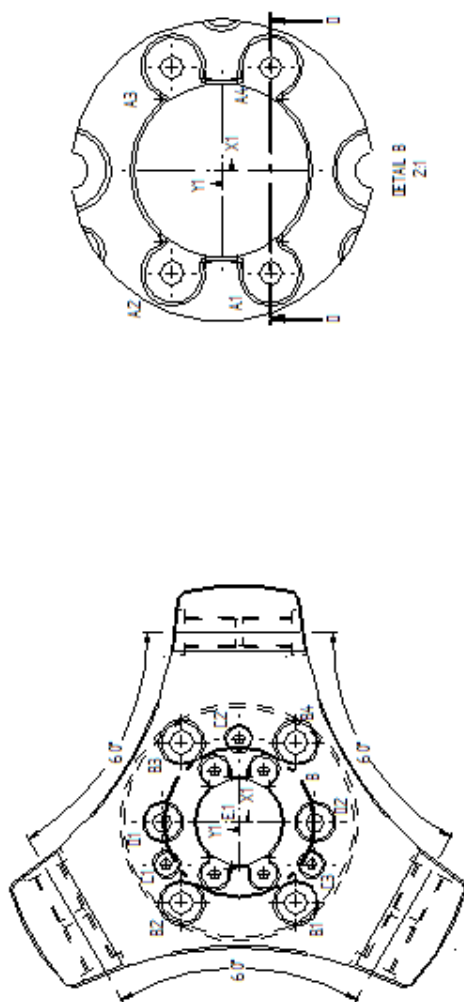
	25, 27, 29	desbaste agujeros laterales		T7	4	5013	100	802	1	4	33
	26, 28, 30	Acabado agujeros laterales		T7	1	6015	120	601,5	1	1	9
	31, 33, 35	desbaste agujeros laterales		T7	4	5013	100	802	1	4	33
	32, 34, 36	Acabado agujeros laterales		T7	1	6015	120	601,5	1	1	9
	37, 38, 39	centro punteado agujeros laterales		T11	1	6000	282	300	0,5	1	6
	40, 41, 42	centro punteado agujeros laterales		T11	1	6000	282	300	0,5	1	6
	43, 44, 45	taladrado 7mm		T23	3	2300	32	150	8	-	51

	46, 47, 48	taladrado 7mm		T23	3	2300	32	150	8	-	51
	49, 50, 51	roscado M8		T16	1	600	15	600	-	0	27
	52, 53, 54	roscado M8		T16	1	600	15	600	-	0	27
	55	gravado cap max		T11	1	10000	282	100	0,5	1	180
	56	gravado USTA		T11	1	10000	282	100	0,5	1	81

		57	gravado GEAMEC		T11	1	10000	282	100	0,5	1	221
Observaciones:									Tiempo Total (s)		4294	
T1	Fresa multiproposito Ø15mm 1 inserto SB16-CT-12(NC40) NINE9								Tiempo total (min)		71,6	
T3	Fresa Ø50mm de 4 insertos 050A09945-04-21 PALBIT											
T5	broca de insertos 22mm											
T7	fresa sólida punta plana Ø1/4in G9021016 marca YG											
T8	fresa sólida de punta redonda Ø1/4in G9249016 marca YG											
T9	Fresa punta plana 5/16in 4 filos de corte E2464100 YG											
T10	broca HSS 6.2mm											
T11	Fresa multiproposito Ø15mm 1 inserto SB16-CT-12(NC40) NINE9											
T12	Fresa punta plana 10mm 2 filos de corte E2464100 YG											
T13	Fresa Ø16mm de 2 insertos MEC 16-S12-11T KYOCERA											
T16	Macho M8x1 PT TAP 10708998 marca YG											
T19	broca HSS 5.1mm											
T21	BROCA HSS 1/8in											
T22	fresa sólida punta plana Ø3mm DEA 0306 marca HGT											
T23	BROCA HSS 7MM YG											

Anexo 5. Planos Pieza Fabricada

Tabla Agujeros		
Hole	Size	Type
A1		Alto arriado con valde
A2	ø754 1/6	Alto arriado con valde
A3	ø31/8 Parallel	Alto arriado con valde
A4		Alto arriado con valde
B1		Alto arriado
B2	ø11 1/5 98	Alto arriado
B3	ø 602 Parallel	Alto arriado
B4		Alto arriado
C1		Alto arriado
C2	ø 65 1/6 601	Alto arriado
C3	ø 3/4 Parallel	Alto arriado
D1	ø10 1/5 98	Alto arriado
D2	ø504 Parallel	Alto arriado
E1	ø325 Parallel	Simple



Nombre	Fecha	Página	Efeotor	USTA
Ortiz	09/02/14			
Reyes Y.	09/02/14			
Enríquez	09/08/14			
Enríquez C	09/08/14			
Enríquez C	09/08/14			

Todos los chiflones son de 05mm x 45"

Anexo 6. Productos Generados

- V CONGRESO INTERNACIONAL DE INGENIERIAS MECÁNICA, ELÉCTRICA, ELECTRÓNICA, MECATRÓNICA Y DISEÑO INDUSTRIAL, CIMEEM2013, NOVIEMBRE, MÉXICO DF, PONENTE
- II SEMINARIO CNC DIGITAL TECH & PARALLEL ROBOTS, AGOSTO 2013, BOGOTA - COLOMBIA 2013, PONENTE
- I SEMINARIO CNC DIGITAL TECH & PARALLEL ROBOTS, MARZO 2013, BOGOTA - COLOMBIA 2013, PONENTE
- IMPLEMENTACIÓN DE LA MAQUINA VIRTUAL 5 EJES EN SALAS DE COMPUTO DE LA UNIVERSIDAD SANTO TOMAS

Anexo 7. Lista Errores Hallados

Caso	Advertencia	Código
Generación entrada rampa helicoidal	Error para simular	coordenadas IJk
Programación Roscado, posicionamiento inicial husillo	Error en control FANUC	M29
Generación de diversos métodos de taladrado (picoteo y rompe virutas)	Falta de parámetros en código	Q, R
Generación operación con suavizado (smoothing)	Error para simular	coordenadas IJk
Ejecución montaje experimental	Puede conllevar giros no deseados en el 5eje.	
Programación multiejes	No genera advertencia pero es recomendable usar bloqueo de ejes	M15, M14