

**SISTEMA INTEGRADO DE SIMULACION Y
VERIFICACION DE PROCESO DE MECANIZADO
BIAXIAL EN TORNO CJK_6130 DE CONTROL
NUMERICO, CON EL DESARROLLO DE
POSTPROCESADOR PARA CONTROL GSK 980TDa**

JOSE LUIS BAQUERO RIVERA

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISION DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
BOGOTA D.C.
2015**

**SISTEMA INTEGRADO DE SIMULACION Y
VERIFICACION DE PROCESO DE MECANIZADO
BIAXIAL EN TORNO CJK_6130 DE CONTROL
NUMERICO, CON EL DESARROLLO DE
POSTPROCESADOR PARA CONTROL GSK980TDa**

JOSE LUIS BAQUERO RIVERA

**Trabajo de Grado presentado como opción de grado para optar al título
de
INGENIERO MECÁNICO**

**Director
JORGE ANDRÉS GARCÍA BARBOSA**

**UNIVERSIDAD SANTO TOMAS
DIVISION DE INGENIERIA
FACULTAD DE INGENIERIA MECANICA
BOGOTA D.C.
2015**

Dedico este trabajo a mi familia por su apoyo incondicional a lo largo de estos 5 años de carrera. En especial a mi Mamá Ruth por costear económicamente con mucho sacrificio toda la carrera, siendo madre soltera de dos varones.

Agradecimientos

Agradezco al Ingeniero Jorge Andrés García Barbosa, mi director de trabajo de grado por su gran apoyo en la elaboración de este proyecto y a mi formación como Ingeniero Mecánico. A la empresa TASERVIN por permitirme usar sus instalaciones para este proyecto y algunos más. A la empresa IAC por indicar nuevos caminos y permitir la ejecución de varios proyectos nuevos y complejos.

CONTENIDO

RESUMEN	12
1. INTRODUCCION	1
1.1. Antecedentes	1
1.2. Máquinas de control numérico y software especializado	2
2. OBJETIVOS	8
2.1. Objetivo General	8
2.2. Objetivos Específicos	8
3. TORNO CNC CJK_6130	9
3.1. Componentes del torno CJK_6130	10
3.2. Control GSK980TDa	10
4. SISTEMA INTEGRADO DE SIMULACIÓN Y VERIFICACIÓN	12
4.1. Digitalización del torno CJK6130 (modelo CAD)	13
4.2. Desarrollo de la cinemática del modelo CAD del torno	18
4.2.1. Desarrollo de máquina virtual	18
4.2.2. Desarrollo de accesorio de máquina (copa o “chuck”)	31
4.3. Agregar la máquina virtual a la librería de NX	33
4.3.1. Creación de carpetas y copia de modelos digitales, controlador digital y postprocesador	33
4.3.2. Creación de carpetas y copia de archivos (accesorio)	34
4.3.3. Indexación de librería de máquina a NX	35
4.3.4. Indexación de librería de accesorio a Nx	35
4.4. Controlador virtual	36
4.4.1. Adaptación de controlador virtual existente	36
5. DESARROLLO DE POSTPROCESADOR PARA EL TORNO CJK_6130	41
5.1. Postprocesador para control GSK 980TDa	41

5.1.1.	Especificaciones control GSK980TDa	42
5.1.2.	Integrar postprocesador genérico	46
5.1.3.	Verificación de estado de un postprocesador	46
5.1.4.	Post Builder	47
5.1.4.1.	Máquina herramienta	48
5.1.4.2.	Programa y trayectoria de herramienta	51
5.1.5.	Obtención de postprocesador objetivo	53
5.1.5.1.	Estado de postprocesador genérico	53
5.1.5.2.	Estado postprocesador objetivo	57
5.1.5.3.	Desarrollo de postprocesador objetivo	58
5.1.5.3.1.	Máquina herramienta	58
5.1.5.3.2.	Programa y trayectoria de herramienta	59
5.1.5.3.3.	Program Start Sequence	60
5.1.5.3.4.	Operator Start Sequence	62
5.1.5.3.5.	Tool Path	66
5.1.5.3.5.1.	Machine Control	66
5.1.5.3.5.2.	Motion	69
5.1.5.3.5.3.	Canned Cycles	71
5.1.5.3.6.	Operation End Sequence	73
5.1.5.3.7.	Program End Sequence	74
5.2.	Código generado con el nuevo Postprocesador	75
6.	PROCESO DE MANUFACTURA UTILIZANDO METODOLOGIA A IMPLEMENTAR	77
6.1.	Fase de diseño y modelo CAD	77
6.2.	Montaje de la pieza en la máquina virtual	78
6.3.	Definición de herramientas y trayectorias de corte	86
6.4.	Simulación y verificación (IS&V)	93
6.5.	Postproceso	94
6.6.	Hoja de Proceso	97
6.7.	Mecanizado de pieza	98
6.8.	Máquina virtual	99
6.9.	Postprocesador	100

7. COMPARACION DE TIEMPOS DE PROCESO (METODOLOGÍA TRADICIONAL VS. METODOLOGÍA IMPLEMENTADA)	101
8. CONCLUSIONES	103
9. RECOMENDACIONES	104
BIBLIOGRAFIA	105
ANEXO A	107

LISTA DE FIGURAS

<i>Figura 1. Esquema general de proceso (Metodología tradicional) para la obtención de una pieza por mecanizado CNC</i>	3
<i>Figura 2. Ciclo de control para la evasión automática de colisiones [8]</i>	4
<i>Figura 3. Generación de código NC (concepto estándar). Adaptado [8]</i>	5
<i>Figura 4. Esquema general de proceso (Metodología a implementar) para la obtención de una pieza por mecanizado CNC</i>	7
<i>Figura 5. Ejes de Torno Biaxial de Arquitectura Paralela</i>	9
<i>Figura 6. Componentes Generales Torno CJK_6130. Extraído de [11]</i>	10
<i>Figura 7. Control GSK980TDa. Extraído de [11]</i>	11
<i>Figura 8. Pasos para la construcción del sistema integrado de simulación y verificación de una máquina herramienta</i>	12
<i>Figura 9. Copa del Torno, medidas generales de longitud y diámetro máximo</i>	13
<i>Figura 10. Ensamble virtual de la Máquina digitalizada con árbol de ensamblaje en NX</i>	14
<i>Figura 11. Bancada o base (Eje Z)</i>	14
<i>Figura 12. Superficie inferior de la geometría superior de la Torreta</i>	16
<i>Figura 13. Árbol de restricciones del modelo digital</i>	17
<i>Figura 14. Torno CJK_6130 completamente digitalizado</i>	18
<i>Figura 15. Ingreso al Machine Tool Builder de NX</i>	19
<i>Figura 16. Árbol cinemático de Torno CJK_6130</i>	20
<i>Figura 17. Inserción de componente en la estructura cinemática</i>	20
<i>Figura 18. Interfaz de creación del componente del machine Tool Builder</i>	22
<i>Figura 19. Configuración, base de la máquina - cero de Máquina</i>	24
<i>Figura 20. Configuración del movimiento de la copa</i>	25
<i>Figura 21. Configuración del movimiento del Eje Z</i>	26
<i>Figura 22. Configuración del movimiento del eje X</i>	27
<i>Figura 23. Configuración del movimiento del cambio de herramienta y la torreta</i>	28
<i>Figura 24. Movimientos Rotatorios y Lineales del Torno Biaxial</i>	29
<i>Figura 25. Acceso Interfaz de edición de ejes</i>	29
<i>Figura 26. Interfaz de edición de ejes</i>	30
<i>Figura 27. Configuración de Ejes X y Z</i>	31
<i>Figura 28. Configuración de la copa como componente cinemático</i>	31
<i>Figura 29. Árbol cinemático de la Copa</i>	32
<i>Figura 30. Copa Montada como Dispositivo</i>	32
<i>Figura 31. Movimientos Lineales y Rotatorios de la máquina herramienta</i>	33
<i>Figura 32. Carpetas de librería de Máquinas</i>	34
<i>Figura 33. Comparación de Arboles Cinemáticos</i>	37
<i>Figura 34. Máquina virtual Genérica</i>	38
<i>Figura 35. Archivo "Tool Change" Genérico</i>	39
<i>Figura 36. Archivo "Tool Change" Modificado</i>	40

<i>Figura 37. Funcionamiento Postprocesador</i>	41
<i>Figura 38. Menú PostProcessor Builder</i>	48
<i>Figura 39. Definición de ejes de Máquina</i>	49
<i>Figura 40. Definición de Límites Axiales</i>	50
<i>Figura 41. Módulo de programación y Trayectoria de Herramienta</i>	51
<i>Figura 42. Programa de Inicio de Secuencia</i>	51
<i>Figura 43. Interfaz de Edición</i>	53
<i>Figura 44. Generación de Código para Pieza Ejemplo</i>	54
<i>Figura 45. Configuración de Máquina Herramienta</i>	58
<i>Figura 46. Entorno de Edición de Bloques</i>	59
<i>Figura 47. Secuencia de Inicio de Programa</i>	60
<i>Figura 48. Bloques de Secuencia de Inicio de Programa</i>	60
<i>Figura 49. Modificación de Bloque de Secuencia de Inicio de Programa</i>	61
<i>Figura 50. Secuencia de Inicio de Operación</i>	62
<i>Figura 51. Bloques de Postprocesador genérico.</i>	63
<i>Figura 52. Bloques de Secuencia de Inicio Para Postprocesador Objetivo</i>	65
<i>Figura 53. Códigos Misceláneos</i>	66
<i>Figura 54. Códigos Misceláneos para Postprocesador Genérico</i>	67
<i>Figura 55. Códigos Misceláneos para Postprocesador Objetivo</i>	68
<i>Figura 56. Códigos de Movimiento</i>	69
<i>Figura 57. Bloques de Configuración de Movimientos de la Máquina para Postprocesador genérico</i>	70
<i>Figura 58. Bloques de Configuración de Movimientos de la Máquina para Postprocesador Objetivo</i>	71
<i>Figura 59. Ciclos de Mecanizado</i>	72
<i>Figura 60. Bloque de ciclo de desbaste para Postprocesador Objetivo</i>	73
<i>Figura 61. Secuencia de final de Operacion con Bloques de Finalización</i>	73
<i>Figura 62. Secuencia de final de Programa con Bloques de Finalización</i>	74
<i>Figura 63. Flujo Definitivo</i>	77
<i>Figura 64. Medidas e Isométrico de Pieza Ejemplo</i>	78
<i>Figura 65. Interfaz de Manufactura de NX</i>	78
<i>Figura 66. Cuadro diálogo propiedades del cero de máquina</i>	79
<i>Figura 67. Creación de geometría del cero de pieza</i>	80
<i>Figura 68. Cuadro diálogo propiedades del cero de pieza</i>	80
<i>Figura 69. Especificación de Eje coordenado</i>	81
<i>Figura 70. Sistema coordenado local. Cero de pieza. G_54. Manufactura (XM-ZM)</i>	81
<i>Figura 71. Cuadro diálogo propiedades del cero de pieza</i>	82
<i>Figura 72. Cuadro diálogo propiedades del material en bruto</i>	83
<i>Figura 73. Material en bruto</i>	83
<i>Figura 74. Llamar el torno desde la librería</i>	84
<i>Figura 75. Montaje de Pieza en Máquina Virtual</i>	85

<i>Figura 76. Llamar el husillo desde la librería</i>	86
<i>Figura 77. Posicionamiento pieza de trabajo con el husillo en el torno</i>	86
<i>Figura 78. Cuadro diálogo creación herramientas de torneado</i>	87
<i>Figura 79. Cuadro diálogo creación de herramienta (cilindrado)</i>	88
<i>Figura 80. Montaje de Mecanizado Virtual Completo</i>	89
<i>Figura 81. Proceso de Refrentado en NX</i>	90
<i>Figura 82. Parámetros de Proceso de Refrentado</i>	91
<i>Figura 83. Ciclo de Desbaste en NX</i>	91
<i>Figura 84. Parámetros de Ciclo de Desbaste</i>	92
<i>Figura 85. Verificación de ToolPath dentro de NX</i>	92
<i>Figura 86. ToolPath Generado</i>	93
<i>Figura 87. Tiempos de Programa de y de Operación</i>	93
<i>Figura 88. Simulación de Corte en Proceso</i>	94
<i>Figura 89. Generación de Código en NX</i>	94
<i>Figura 90. Selección de Postprocesador</i>	95
<i>Figura 91. Código Generado Automáticamente, Listo para ingresar a la Máquina</i>	96
<i>Figura 92. Código Ingresado a la máquina real por USB</i>	98
<i>Figura 93. Pieza Ejemplo Mecanizada</i>	99
<i>Figura 94. Medidas de Pieza Ejemplo Mecanizada</i>	99

LISTA DE TABLAS

<i>Tabla 1. Comparación Máquina Real Vs Cad</i>	<i>15</i>
<i>Tabla 2. Especificaciones técnicas del Controlador GSK_980TDa</i>	<i>42</i>
<i>Tabla 3. Códigos G permitidos por el torno CJK_6130</i>	<i>44</i>
<i>Tabla 4. Códigos M permitidos por el torno CJK_6130</i>	<i>45</i>
<i>Tabla 5. Plantilla Evaluación de Postprocesadores</i>	<i>46</i>
<i>Tabla 6. Evaluación Postprocesador Genérico</i>	<i>56</i>
<i>Tabla 7. Evaluación Postprocesador Objetivo</i>	<i>57</i>
<i>Tabla 8. Hoja de Proceso de Metodología a Implementar</i>	<i>97</i>
<i>Tabla 9. Hoja de Proceso de Metodología Tradicional</i>	<i>101</i>

RESUMEN

Actualmente en gran parte de la industria metalmecánica Colombiana, los tornos de control numérico se programan de forma manual, ocasionando un aumento en los tiempos muertos de manufactura debido a que el código debe ser verificado corriendo el programa en vacío, antes de realizar el proceso real. Pensando en esta problemática se desarrolló e implementó un sistema integrado de simulación y verificación que además de mostrar virtualmente el desarrollo del proceso, la materia prima, las herramientas y verificación de colisiones, genera un código en programación G, confiable para ingresar a la máquina. Se desarrolló una máquina virtual, basada en el torno CJK-6130 del taller de máquinas herramientas de la Universidad Santo Tomás, capaz de simular el proceso de torneado. Los mecanizados desarrollados en la máquina virtual son extrapolables a la máquina real mediante un código generado directamente por un postprocesador diseñado para el control GSK-980TDa de la máquina.

Mediante la metodología desarrollada y usando el simulador y postprocesador desarrollados, se mecanizó una pieza de prueba en la empresa colombiana TASERVIN Y CIA S. en C. Se aumentó la disponibilidad de máquina, se disminuyeron los tiempos muertos de montaje y programación. Además, la máquina virtual sirve como recurso de capacitación de personal, mostrando así la importancia de la adopción de últimas tecnologías de simulación y verificación integrada de procesos.

1. INTRODUCCION

1.1. Antecedentes

El origen de las máquinas herramienta proviene del siglo XVIII, la primera máquina herramienta fue desarrollada por Henry Maudsley [1], una configuración básica de torno biaxial que era capaz de Maquinar roscas. Entre los años 40, se desarrolló el primer torno con tecnología NC; básicamente se trataba de controlar la máquina con un cerebro virtual, al cual se le inducían ordenes en un lenguaje especial llamado código CN [2]. En la década de 1940 el Ingeniero estadounidense John Parsons, creó un sistema capaz de controlar numéricamente mecanismos mediante motores modificados que se accionaban siguiendo las órdenes de una tarjeta perforada [2] para Maquinar la superficie de las hélices de un helicóptero, a esto se le llamo control numérico (CN). Posterior a esto y gracias a las computadoras y microprocesadores se logró implementar el sistema de control numérico computarizado (CNC) [3], herramienta capaz de controlar los movimientos de una máquina herramienta mediante códigos alfanuméricos.

Transformar los materiales en bruto es el principal objetivo de las Máquinas herramienta; se busca la geometría dada por los procesos de diseño y revisión mediante desprendimiento de material, también se requiere obtener el acabado superficial deseado para cumplir con las especificaciones de ensamblaje. A lo largo del tiempo y gracias al desarrollo industrial [1], la demanda de piezas fue aumentando y se requirió una disminución importante de costos y un aumento notable de producción; las piezas también se tornaron más complejas y mucho más difíciles de manufacturar [1].

Las Máquinas herramienta fueron evolucionando a medida de que la demanda crecía y exigía piezas de más precisión y versatilidad. La complejidad de algunos productos demandaban la utilización de varios procesos de corte; se obtuvo una mejora en tiempos de montaje y mecanizado mediante las máquinas herramienta de control numérico multi-eje, maquinas capaces de efectuar varios procesos al tiempo sin necesidad de montajes adicionales, como por ejemplo los tornos suizos actuales o los centros de mecanizado de 4 o más ejes.

1.2. Máquinas de control numérico y software especializado

Las Máquinas herramientas han tenido una gran evolución, en el principio eran operadas por personas, las cuales fueron reemplazadas paulatinamente por la tecnología de control numérico computarizado (CNC). Es de aclarar que no solamente se tenían máquinas de 2 ejes, también se empezaron a desarrollar Máquinas con 3, 4 y hasta 9 ejes [4]. Gracias a la implementación de la tecnología CNC, se lograron desarrollar arquitecturas diferentes que brindaban mayor versatilidad en el Maquinado de las piezas, como los centros de mecanizado multi-eje y los tornos multi-husillo [5, 6, 7].

Paralelamente a estos avances se desarrollan los software y las herramientas CAD/CAM, estos están en la capacidad no solo de ayudar en el diseño y en la planeación del proceso, sino que también brindan ayuda en la simulación y verificación de los procesos de manufactura [1]. Los software están en la capacidad de permitir el modelamiento CAD (representación virtual de la pieza), de dar libertad en la generación de las trayectorias de corte (Tool Path) para la misma, permitiendo seleccionar la máquina y las herramientas necesarias consideradas por el usuario para el proceso; está en la capacidad mostrar paso a paso el mecanizado desde la materia prima (según el Tool Path) hasta el producto final. Actualmente en el mundo se está llegando a niveles de ISV (integrated simulation and verification) [1], a sistemas de simulación y verificación, que no solo simula trayectorias de corte sino que también verifica el código obtenido, comprobándolo en una máquina virtual (previamente construida) y mostrando todo el proceso de manufactura desde su inicio hasta su fin. Es gracias al Postprocesador (traductor de código CLDATA dado por las trayectorias a código CNC requerido) que se logra la traducción de las trayectorias de corte, en un código NC de texto plano.

La metodología tradicional (Figura 1) para Maquinar en un torno biaxial de control numérico es la siguiente:

- Redacción manual de Código NC a partir de la interpretación del Plano de manufactura.
- Ingreso del código redactado carácter por carácter a la máquina.
- Preparar la máquina para el mecanizado (posicionamiento de cero de pieza, compensación de herramientas de corte).
- Prueba en vacío del código NC, para verificar errores y ausencia de colisiones.

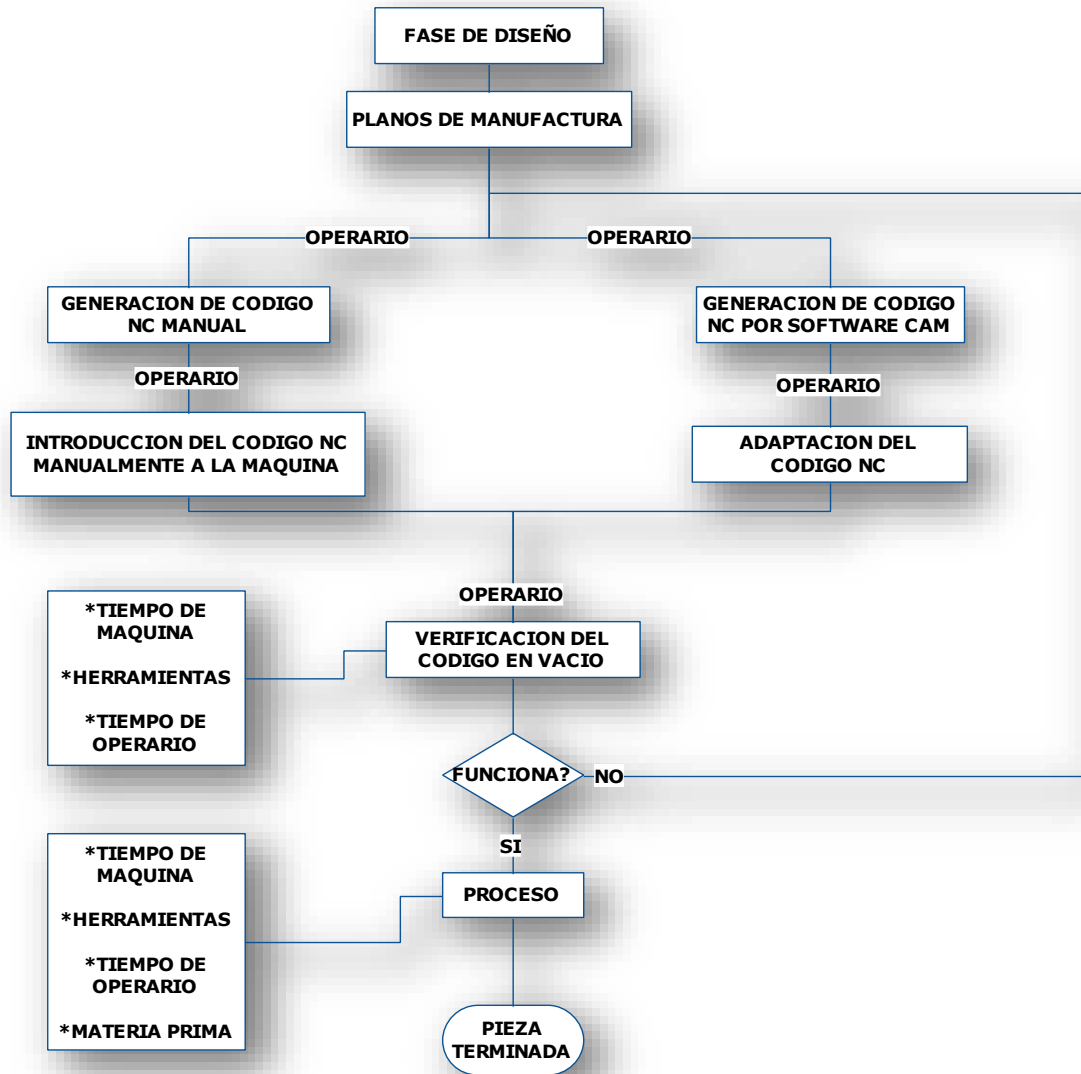
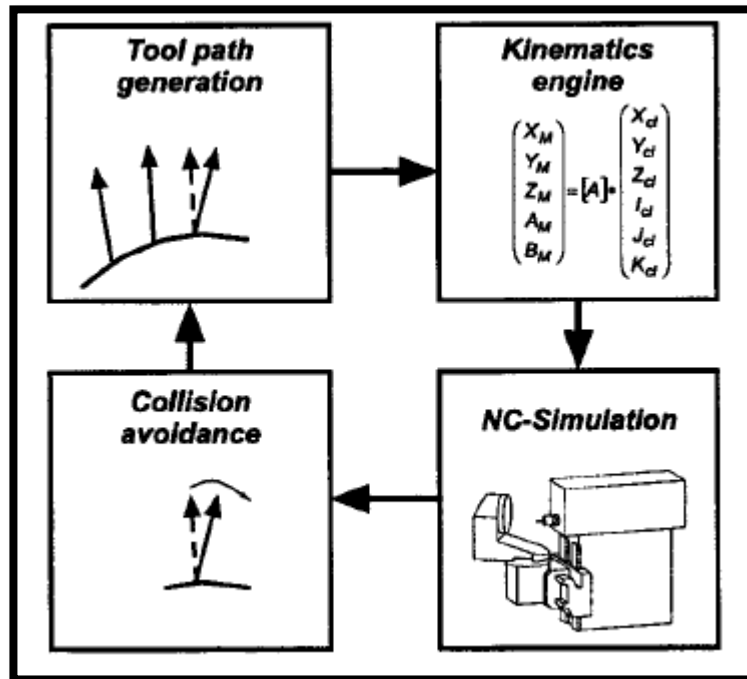


Figura 1. Esquema general de proceso (Metodología tradicional) para la obtención de una pieza por mecanizado CNC

Al ver la extensión y complejidad de la metodología tradicional, que aparte de ser engorrosa y dar pie a errores humanos, también implicaba tiempos muertos de manufactura, es decir intervalos de tiempo en los que la máquina estaba parada, SIN PRODUCIR, se desarrollaron los Postprocesadores: herramientas capaces de traducir las trayectorias de corte (dadas por el software CAM en formato CLDATA) en códigos específicos de máquina. Al obtener los códigos NC, se hace una simulación

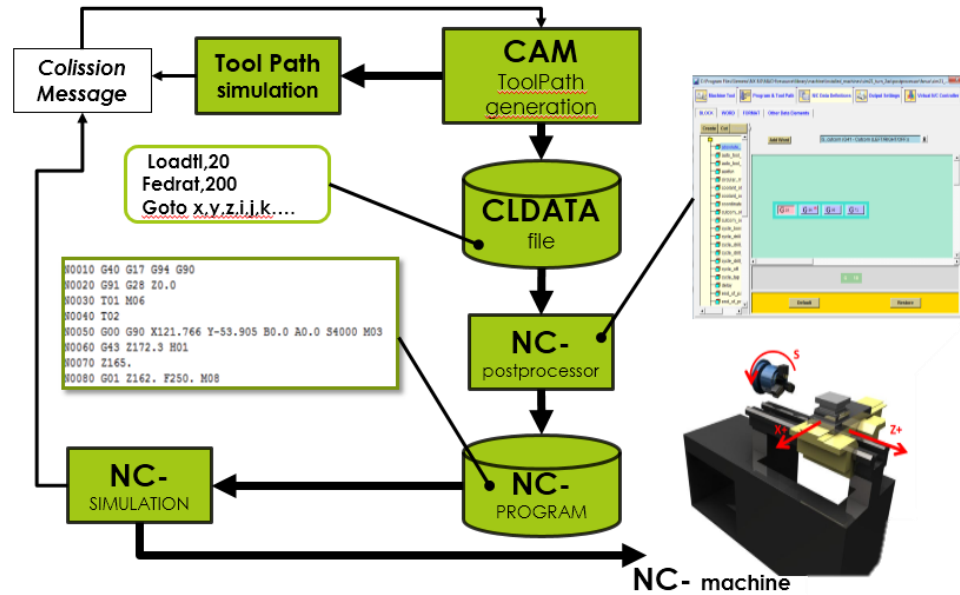
(de máquina virtual o de trayectorias reales de corte) en donde se comprueba que el código este bien, de ahí se envía a la máquina en donde no habrá preocupaciones por choques, cambios de herramienta erróneos, parámetros de corte no adecuados, etc., debido a que cuando el software CAM encuentra una colisión regenera el Tool Path, de forma tal que los choques sean evitados; claro está que esto solo es posible gracias a la integración del Postprocesador con algún sistema de simulación NC como se puede ver en el ciclo de control para la evasión automática de colisiones (Figura 2).

Figura 2. Ciclo de control para la evasión automática de colisiones [8]



Cada máquina de control numérico necesita de un Postprocesador único debido a que cada control es diferente. En la Figura 3, se muestra un esquema en donde se puede observar claramente la traducción desde las trayectorias de corte generadas en el software CAM hasta el código de máquina. [8, 9]

Figura 3. Generación de código NC (concepto estándar). Adaptado [8]



Este proyecto se centrará en el desarrollo de un ISV para un torno Biaxial de arquitectura paralela, junto con el desarrollo del postprocesador personalizado para la máquina, siendo uno de los pioneros en avances de este tipo en latino-américa.

1.3. Descripción del problema

Actualmente en la industria Colombiana las máquinas de control numérico se han convertido en parte importante de los procesos de cada uno de los productos ofrecidos por las empresas manufactureras en Colombia. El parque industrial Colombiano, según Imocom [2], consume de 300 a 400 máquinas de control numérico por año, lo que muestra que las máquinas herramienta se han vuelto indispensables en la industria manufacturera colombiana.

A pesar del gran desarrollo tecnológico que ha habido en el mundo en cuanto a Máquinas herramienta tipo torno, y de todos los mecanismos multiaxiales para Maquinado que se han adoptado, en nuestro país, la tecnología no se ha apropiado de manera correcta en la industria, ya que no basta con hacer la inversión en tecnología si no se tiene claro cómo se debe implementar para que su aprovechamiento sea el más efectivo; para lograr tal fin, es necesario el uso de herramientas CAD/CAM. Si se logra apropiarse esta tecnología en Colombia, la

industria nacional podrá ser mucho más competitiva permitiendo así trabajar al nivel de grandes industrias como lo son Hong Kong, Singapur, Corea del sur y Taiwán, “los tigres asiáticos” [2].

En Colombia la mayoría de las industrias metalmecánicas no hacen buen planeamiento de los procesos de manufactura, no se siguen procedimientos adecuados para estimar parámetros de corte o de proceso como velocidad de corte, profundidad y avance. Es notoria **la pérdida de tiempo** en cada uno de los montajes, en la calibración de las máquinas, la compensación de las herramientas, la prueba de programas en vacío y la capacitación del operario. En algunas de las empresas no se utilizan herramientas CAD/CAM para la planificación del proceso, aun se sigue ejecutando el ciclo de manufactura tradicional (Figura 1); de lograr implementar el uso de estas herramientas de manera correcta la competitividad de las empresas colombianas aumentaría, haciendo más eficaz la planificación de los procesos, disminuyendo la red de tiempos muertos, reduciendo costos de manufactura y elevando su lote de producción, dando así visos de un avance y una apropiación tecnológica que podría abrir las puertas de un mercado más global.

Debido a la identificación de estos problemas dentro la Universidad Santo Tomás, se realizó un desarrollo basado en la metodología a implementar (Figura 4) para lograr hacer más fácil, eficiente y versátil el proceso de mecanizado en el torno CJK_6130 que se encuentra ubicado en los laboratorios de la Universidad Santo Tomas, sede Bogotá DC.

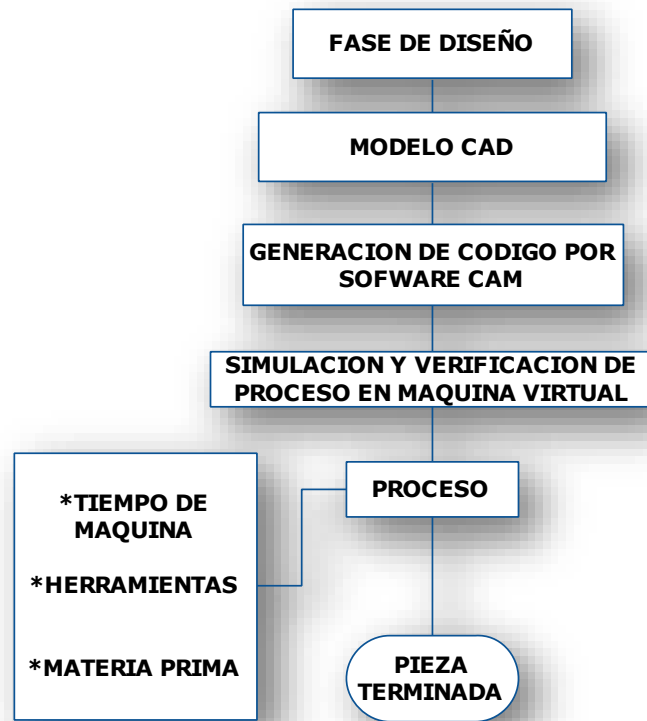


Figura 4. Esquema general de proceso (Metodología a implementar) para la obtención de una pieza por mecanizado CNC

2. OBJETIVOS

2.1. Objetivo General

Implementar un prototipo virtual que este en la capacidad de simular y verificar procesos de torneado en el torno Biaxial CJK_6130 de control GSK_980TD, ubicado en el laboratorio de máquinas herramienta de la Universidad Santo Tomás, sede Bogotá, utilizando el modulo “ISV” del software PLM de Siemens, NX.

2.2. Objetivos Específicos

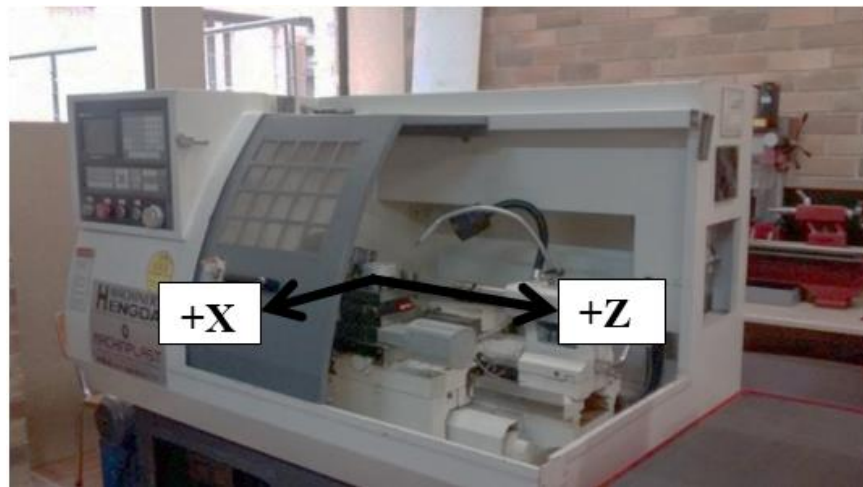
- Desarrollar el prototipo virtual de la máquina con el modulo “ISV” de NX de Siemens, con la herramienta “Machine Tool Builder”.
- Desarrollar un Postprocesador a la medida del control del torno.
- Planificar el proceso de manufactura de un componente mecánico para ser manufacturado en el torno paralelo CJK_6130, utilizando el prototipo virtual.
- Comparar tiempos de proceso de manufactura real en planta: entre la metodología tradicional de montaje y la metodología a implementar.

3. TORNO CNC CJK_6130

Los tornos Biaxiales son máquinas herramientas de dos ejes que permiten fabricar geometrías basadas en sólidos de revolución. El proceso de mecanizado es sencillo, la materia prima rota respecto a un eje longitudinal (en este caso el eje Z), mientras que una herramienta de corte siguiendo una serie de ordenes numéricas (coordenadas exactas), en movimientos previamente definidos (rectos o curvos), indicados por el controlador de la máquina, remueve material en bruto longitudinal y radialmente, hasta llegar a la geometría programada. Los ejes empleados en esta máquina son (Figura 5):

- Eje X (Eje radial)
- Eje Z (Eje longitudinal)

Figura 5. Ejes de Torno Biaxial de Arquitectura Paralela



3.1. Componentes del torno CJK_6130

En la Figura 6 se aprecian los componentes generales del Torno CNC CJK_6130.

Figura 6. Componentes Generales Torno CJK_6130. Extraído de [11]



Más adelante se denota la importancia de cada uno de los componentes para el desarrollo de este proyecto, en especial, los componentes que representan los ejes ya mencionados.

3.2. Control GSK980TDa

El control es el encargado de enviar las órdenes a la Máquina por medio de códigos de texto plano, también conocidos como programas NC. Estos códigos pueden ser ingresados manualmente a la máquina, o pueden ser transferidos desde una estación de trabajo o un computador personal directamente a la memoria interna.

En la pantalla se puede visualizar el código que se está ingresando o el código transferido, también, mientras la Máquina está en funcionamiento se puede ver el

perfil del sólido generado por el código ingresado para observar el mecanizado antes de poner en funcionamiento el Torno. Gracias al teclado de edición se puede ingresar el código manualmente al control. En el panel de funcionamiento se le da inicio a la comunicación entre control y torno, se envía el código para que la Máquina lo reconozca y haga los movimientos indicados por el texto plano; también se puede finalizar un programa abruptamente por si existe algún tipo de colisión, consecuencia de un código ingresado erróneamente.

En la Figura 7 se logran apreciar los componentes esenciales del control.

Figura 7. Control GSK980TDa. Extraído de [11]



4. SISTEMA INTEGRADO DE SIMULACIÓN Y VERIFICACIÓN

El sistema integrado de simulación y verificación se desarrolla en 5 etapas principales (Figuras 8). Cada una de ellas será adelantada a lo largo de este documento; esas etapas son:

- Digitalización del torno CJK_6130. En este primer paso, se Creará el modelo CAD completo de la máquina herramienta.
- Definición de la cinemática de los ejes. En la segunda etapa se incluirán al modelo CAD, las configuraciones propias de una máquina herramienta, mediante un módulo del software utilizado en el desarrollo de este proyecto.
- Agregar la máquina virtual a la Librería de NX. En este paso se Agregará el prototipo desarrollado a la librería del software, para poder usarlo en simulaciones.
- Creación y Edición del control virtual. Así como la Máquina real tiene un control, el cual envía órdenes a sus componentes, la máquina virtual también.
- Prueba del simulador. En este paso se generarán unas trayectorias de corte para que sean corridas por la máquina virtual y así verificar su funcionamiento.

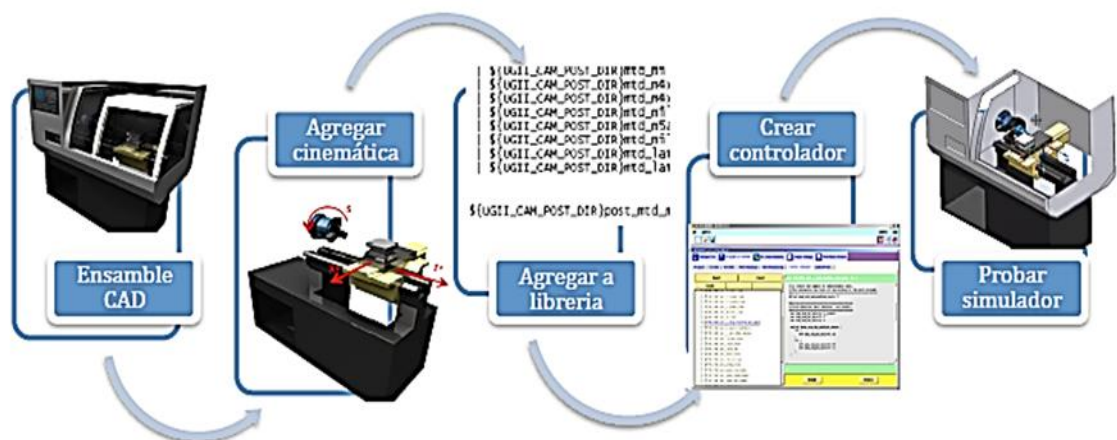
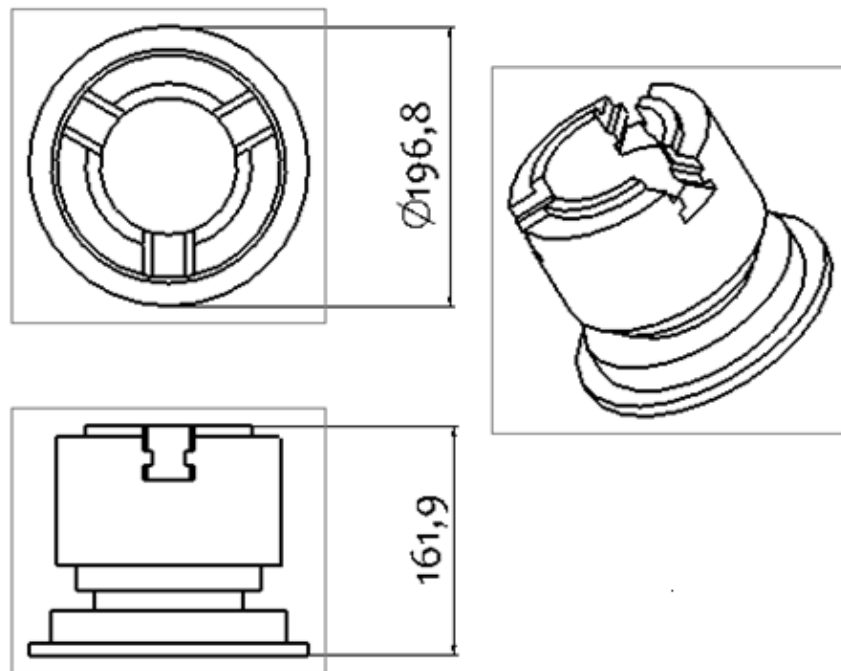


Figura 8. Pasos para la construcción del sistema integrado de simulación y verificación de una máquina herramienta

4.1. Digitalización del torno CJK6130 (modelo CAD)

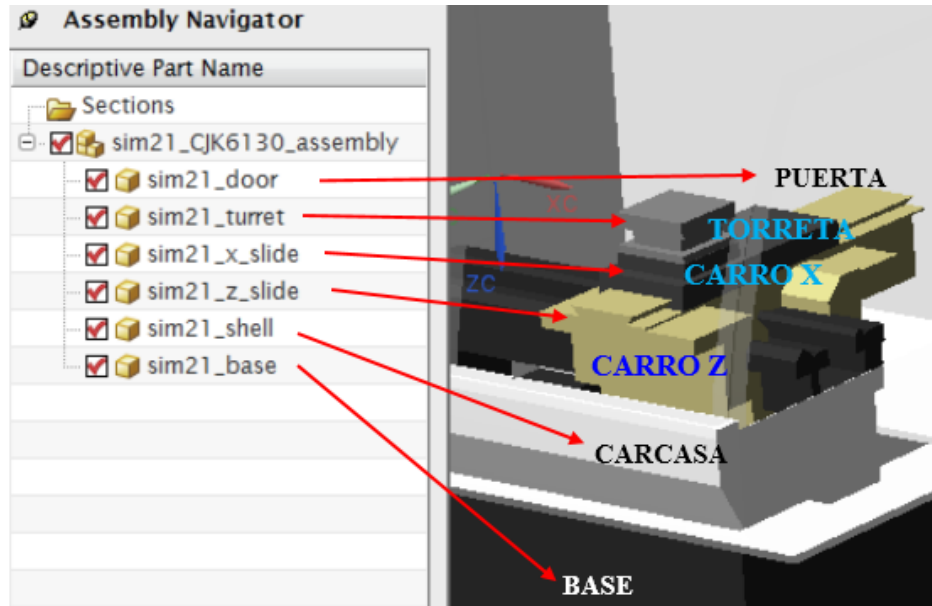
Se tomaron todas las medidas de los componentes de la máquina usando herramientas de medida como flexómetros y calibradores Vernier; se digitalizaron con la ayuda de un software CAD (NX). [12]. Como ejemplo en la *Figura 9* se puede apreciar el “Chuck” o la “Copa” del torno, con sus medidas generales de largo total y diámetro máximo, las medidas ingresadas al software fueron las mismas tomadas en la medición; cabe aclarar que las medidas son aproximadas y no son 100% exactas, ya que para la simulación solamente es relevante tener en cuenta los recorridos máximos y mínimos de los ejes representativos (X y Z), en la construcción del modelo cinemático de la maquina se da detalle a estos recorridos y su importancia.

Figura 9. Copa del Torno, medidas generales de longitud y diámetro máximo



Se realiza el ensamble de los componentes tomando como base la máquina real, utilizando la interfaz especializada que tiene NX de Siemens para este fin, el entorno “Cad-Assembly”. En la *Figura 10* se observa el árbol de ensamble junto con el prototipo completo, en el árbol de ensamble principal (al lado del torno virtual) se observan los componentes relacionados en la *Tabla 1*.

Figura 10. Ensamble virtual de la Máquina digitalizada con árbol de ensamblaje en NX



Existen varias metodologías de ensamblaje trabajadas alrededor de toda la industria global; la usada para afinar este conjunto fue la “Down-Top Design”, que consiste en modelar todas las partes primero y después desde el componente más general y con mayor número de piezas dependientes construir toda la estructura; en este caso el componente principal fue la bancada o la base (llamada así en el ensamble hecho en NX), ya que de esta depende el carro Z y por ende los ejes X, Z y la torreta de herramientas. Es el componente negro que se logra apreciar en la *Figura 11*.

Figura 11. Bancada o base (Eje Z)

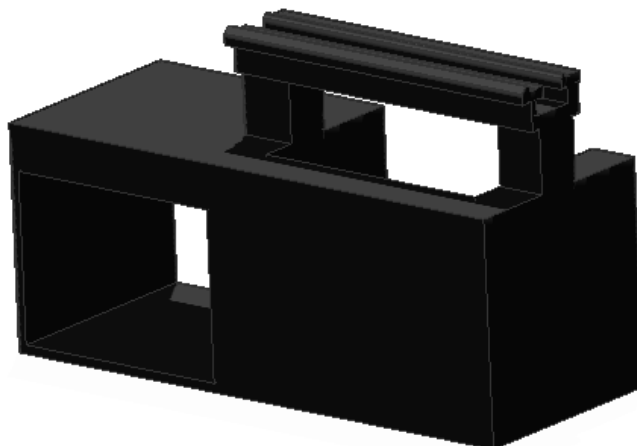
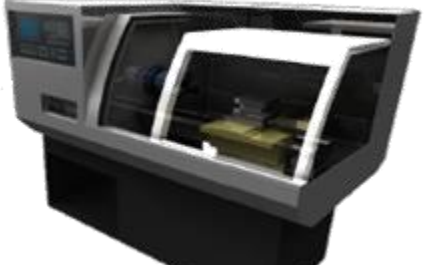
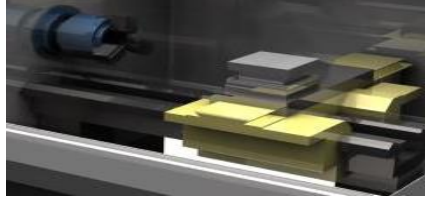
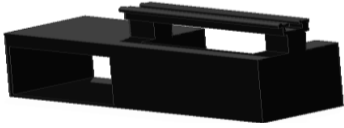
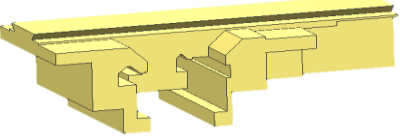
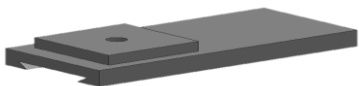
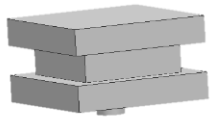
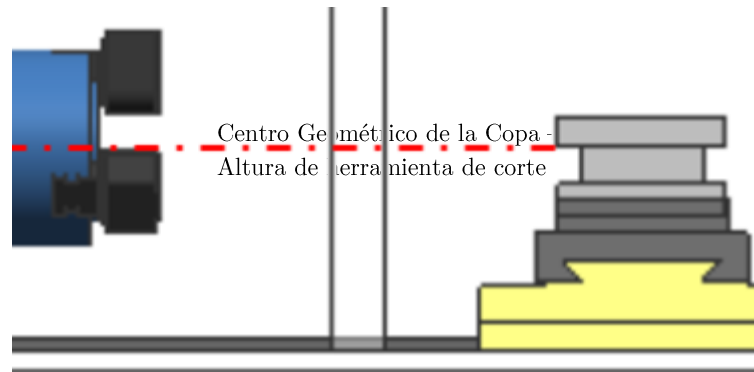


Tabla 1. Comparación Máquina Real Vs Cad

Torno CJK6130 con controlador GSK980TDa USTA.	Máquina virtual torno de 2 ejes USTA.
	
Bancada (Guía del Eje Z), Eje X y Torreta	
	
Chuck (copa)	
	
Bancada (Eje Z)	Carro De Desplazamiento Z (Eje X)
	
Carro de desplazamiento X	Torreta
	

Al posicionar el Eje Z o la base, se coloca el Eje X mediante restricciones geométricas apropiadas para juntar las geometrías de estas piezas desde el interior del Eje X y la parte superior de la bancada; ya establecidas las relaciones entre la parte principal y la que sigue, se continua con el ensamblaje de la torreta, la cual va situada en la cara más alta del componente que representa el Eje X. Como se observa en la cuarta fila de la *Tabla 1*, la bancada o el Eje Z va ensamblada directamente junto con el Eje X y la torreta. La carcasa es agregada al prototipo mediante juntas geométricas entre la base de la máquina y la parte inferior de la pieza que se está agregando; seguido de esto pasamos al ensamblaje de la Copa, teniendo en cuenta que la altura a la que debe quedar el eje giratorio de el “Chuck” es la misma altura a la que está la cara inferior de la geometría superior de la torreta (En la *Figura 12*, se aprecia con más claridad la medida), ya que a esta altura estará la herramienta que va a cortar el material posicionado concéntricamente a la copa. Después se coloca la puerta que encaja perfectamente con la carcasa.

Figura 12. Superficie inferior de la geometría superior de la Torreta



Las posiciones en las que quedan cada uno de los componentes, son aproximadas a las de la Máquina real en su posición de “home”; en la *Tabla 1*, se puede observar esa posición; después del ensamblaje total de todos los componentes, se procede a eliminar todas las restricciones geométricas hechas para obtener la construcción deseada, esto con el fin de que no interfieran con las relaciones de movimiento que se van a crear en la construcción del modelo cinemático de la máquina. En la *Figura 13* se puede apreciar que el árbol de restricciones de NX está vacío.

4.2. Desarrollo de la cinemática del modelo CAD del torno

Figura14. Torno CJK_6130 completamente digitalizado



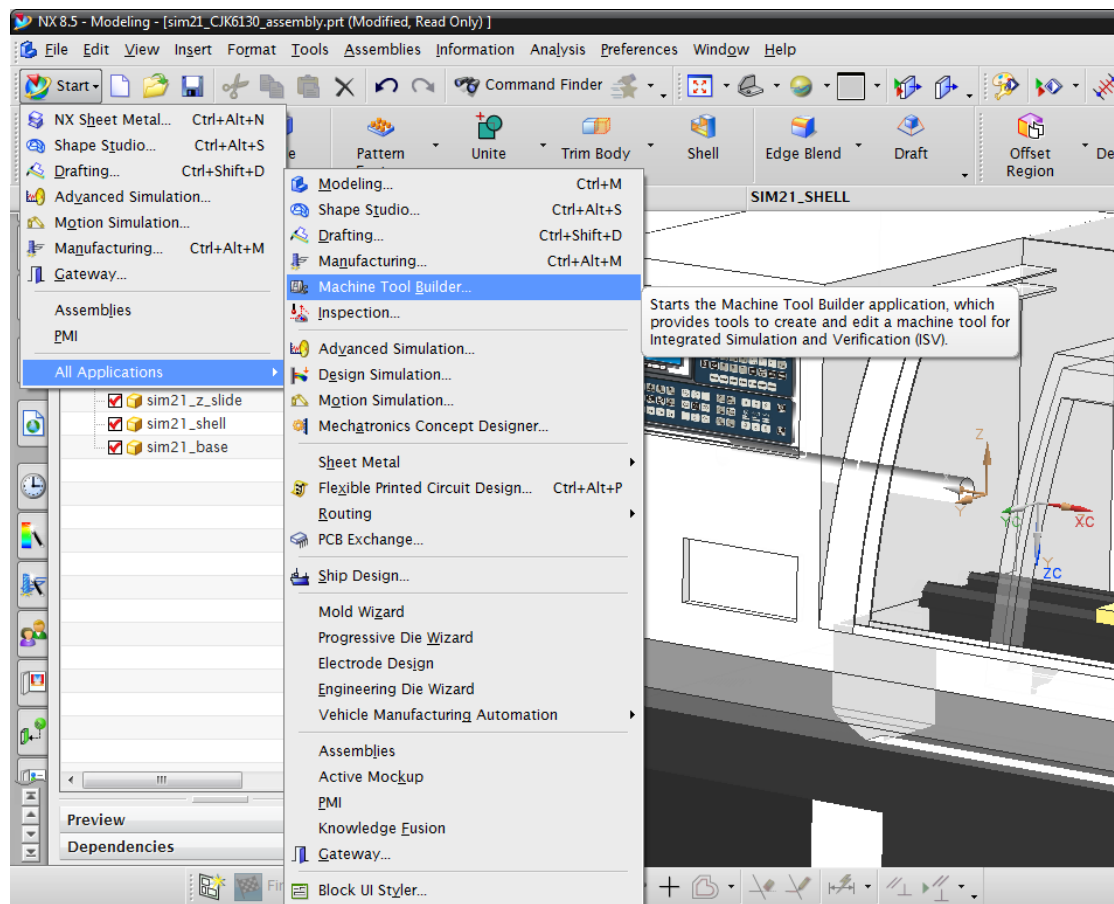
Realizado el ensamble de las partes en las posiciones objetivo (Figura 14), se procede con la construcción del modelo cinemático como tal; ya que la máquina real cuenta con el movimiento de los componentes que representan los ejes X,Z, el husillo y la Torreta, fue necesario que el modelo virtual también contara con estos. Se logró esto usando la herramienta “Machine Tool Builder” del software NX de Siemens. [12, 13]

4.2.1. Desarrollo de máquina virtual

Machine Tool Builder (Figura 15) es una herramienta creada por Siemens e integrada al software NX, que permite la construcción de un modelo cinemático basado en una Máquina real, capaz de simular las trayectorias de corte creadas en la herramienta

CAM del mismo fabricante y así permitir la visualización de los movimientos de los componentes al momento de correr el programa generado.

Figura 15. Ingreso al Machine Tool Builder de NX



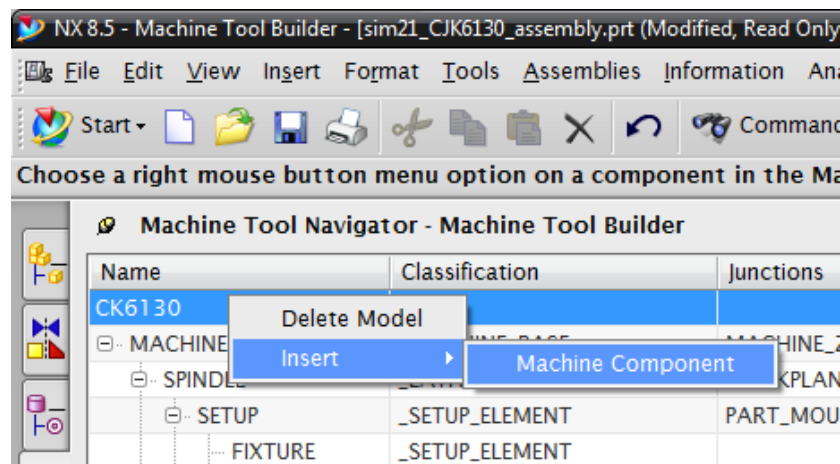
En la Figura 16 se aprecia el árbol cinemático creado para el modelo digital de la máquina herramienta de dos ejes que se quiere simular. La copa debe ser retirada del ensamble después de la configuración de la estructura de movimiento, ya que será tratada como un componente reemplazable. Se deja al principio de esta configuración para obtener la referencia en la que se va a montar cuando sea llamada como accesorio.

Figura 16. Árbol cinemático de Torno CJK_6130

Machine Tool Navigator - Machine Tool Builder		
Name	Classification	Junctions
CK6130		
└ MACHINE_BASE	_MACHINE_BASE	MACHINE_ZERO*
└└ SPINDLE	_LATHE_SPINDLE	WORKPLANE
└└└ SETUP	_SETUP_ELEMENT	PART_MOUNT_JCT
└└└└ FIXTURE	_SETUP_ELEMENT	
└└└└ PART	_PART, _SETUP_ELEMENT	PART_JCT
└└└└ BLANK	_WORKPIECE, _SETUP_ELEMENT	
└└└└ CHUCK HOLDER	_STATIC HOLDER	CHUCK_MOUNT_JCT
└└ Z_SLIDE		
└└ X_SLIDE		
└└└ TURRET	_DEVICE	TURRET
└└└└ POCKET01	_STATIC HOLDER	T1
└└└└ POCKET_02	_STATIC HOLDER	T2
└└└└ POCKET_03	_STATIC HOLDER	T3
└└└└ POCKET_04	_STATIC HOLDER	T4

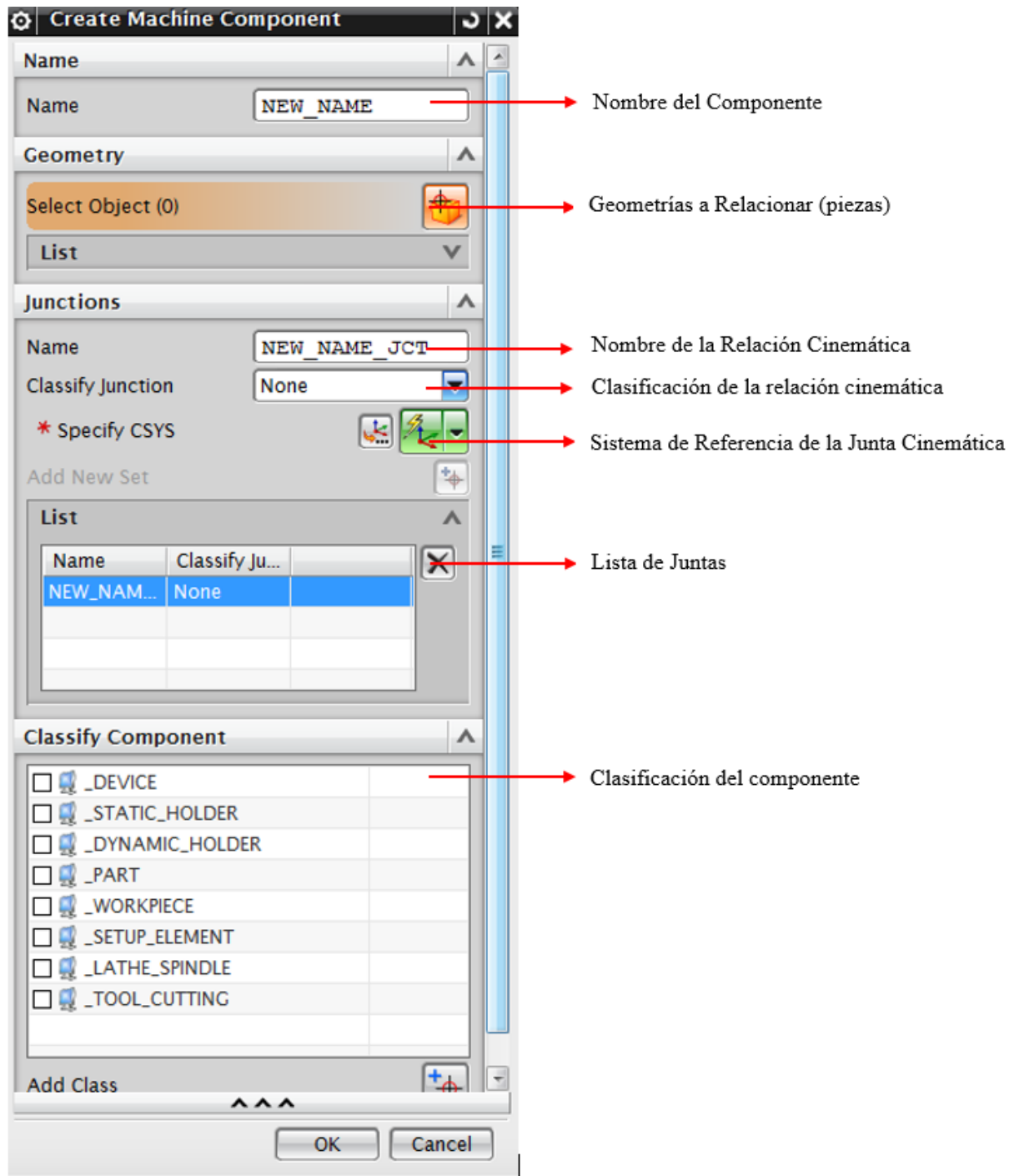
En la *Figura 17* se tiene la estructura cinemática completa de la máquina virtual, se explica la estructura del árbol y se observa paso a paso la forma en la que la geometría de las piezas CAD se integran con la estructura cinemática del modelo. Para relacionar las partes con el prototipo virtual se agregan los archivos previamente modelados, como componentes al árbol cinemático.

Figura 17. Inserción de componente en la estructura cinemática



La interfaz de creación de componente permite crear elementos cinemáticos en base a las partes CAD creadas previamente a partir de la Máquina real. En la *Figura 18* se observan varias opciones, la primera de ellas es el nombre del componente, la segunda es la geometría a relacionar (la pieza), la tercera son las juntas o restricciones cinemáticas que van a tener las piezas relacionadas previamente; al igual que las partes, pueden ser una o varias; por último se clasifica el componente en una categoría, habilitando el recuadro deseado por medio de un clic en la casilla de selección.

Figura 18. Interfaz de creación del componente del machine Tool Builder



Primero se establece la base geométrica de la máquina (la bancada) cuya configuración es observada en la *Figura 15*, el cero absoluto de la Máquina es colocado en el centro de la copa (donde se hace el montaje del material en bruto), la

programación CAM se hace respecto al cero de Pieza; posterior a ello y por debajo de la base de la Máquina se agregan el movimiento rotatorio de la copa y el lineal del Eje Z (*Figuras 19 y 20*); debajo de la copa, se agrega la configuración para el montaje del material en bruto y el montaje de la copa; paralelamente, debajo del Movimiento lineal del Eje Z (*Figura 21*) se agrega el movimiento lineal del Eje X (*Figura 22*) y debajo de este, el rotatorio de la Torreta (*Figura 23*); en la *Figura 20* se aprecian los movimientos principales establecidos, sus nombres, sus valores iniciales y sus límites máximos.

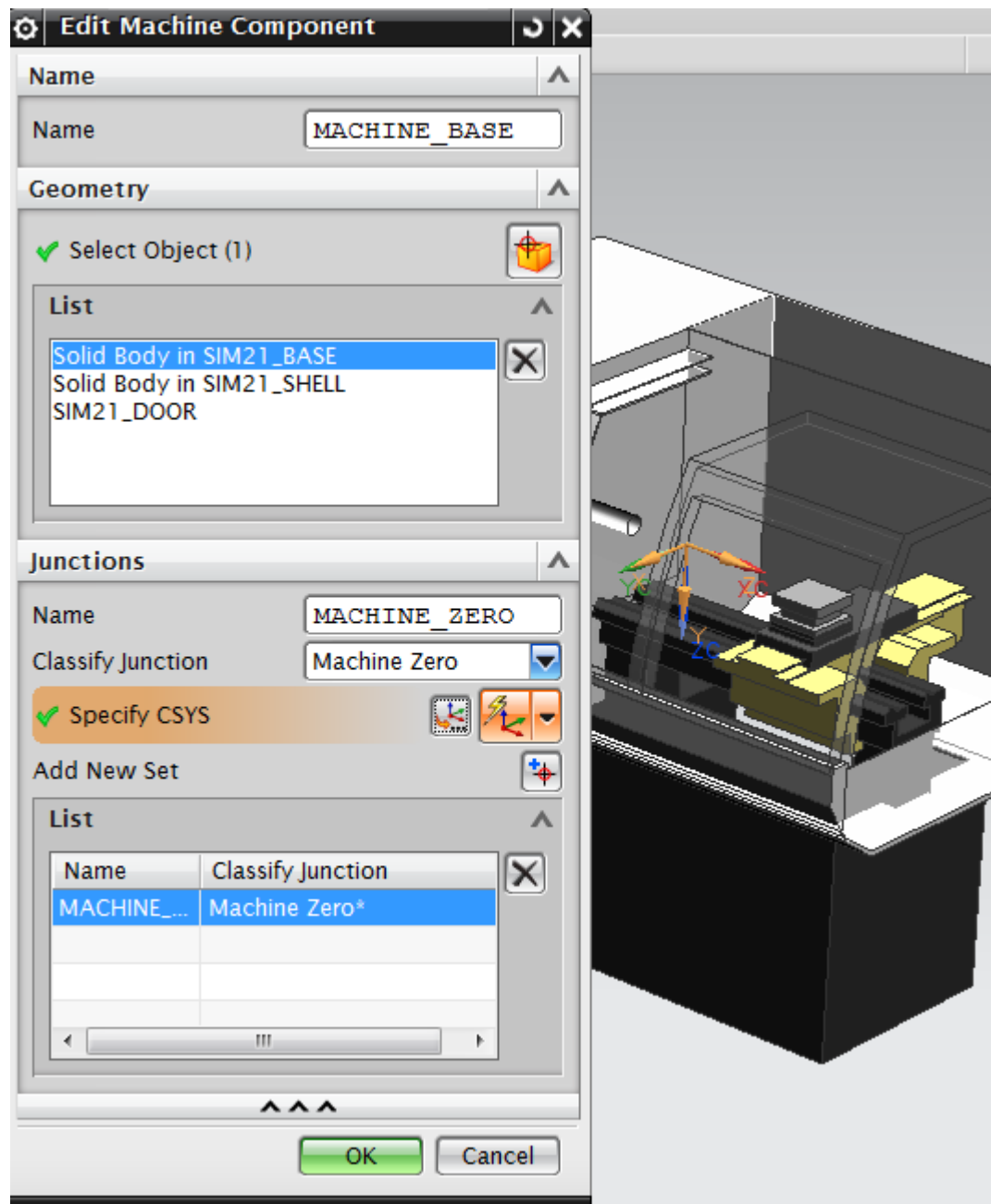


Figura 19. Configuración, base de la máquina - cero de Máquina

Figura 20. Configuración del movimiento de la copa

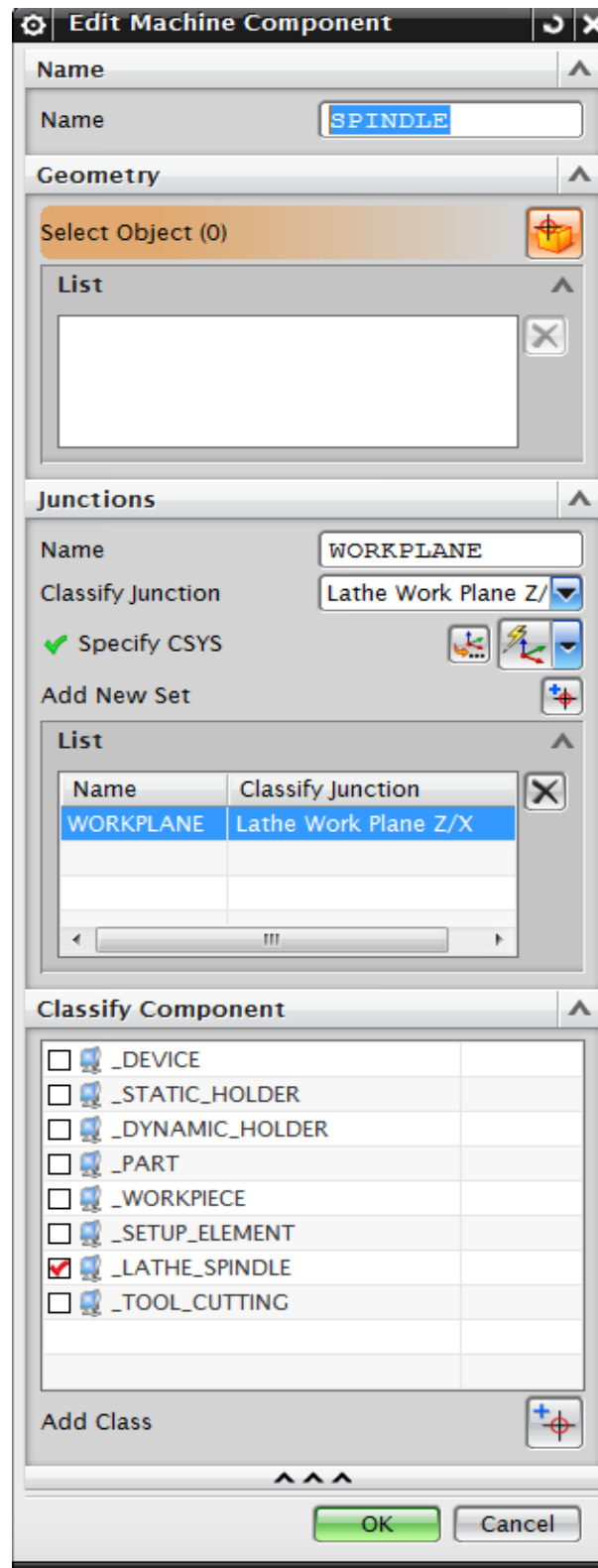


Figura 21. Configuración del movimiento del Eje Z

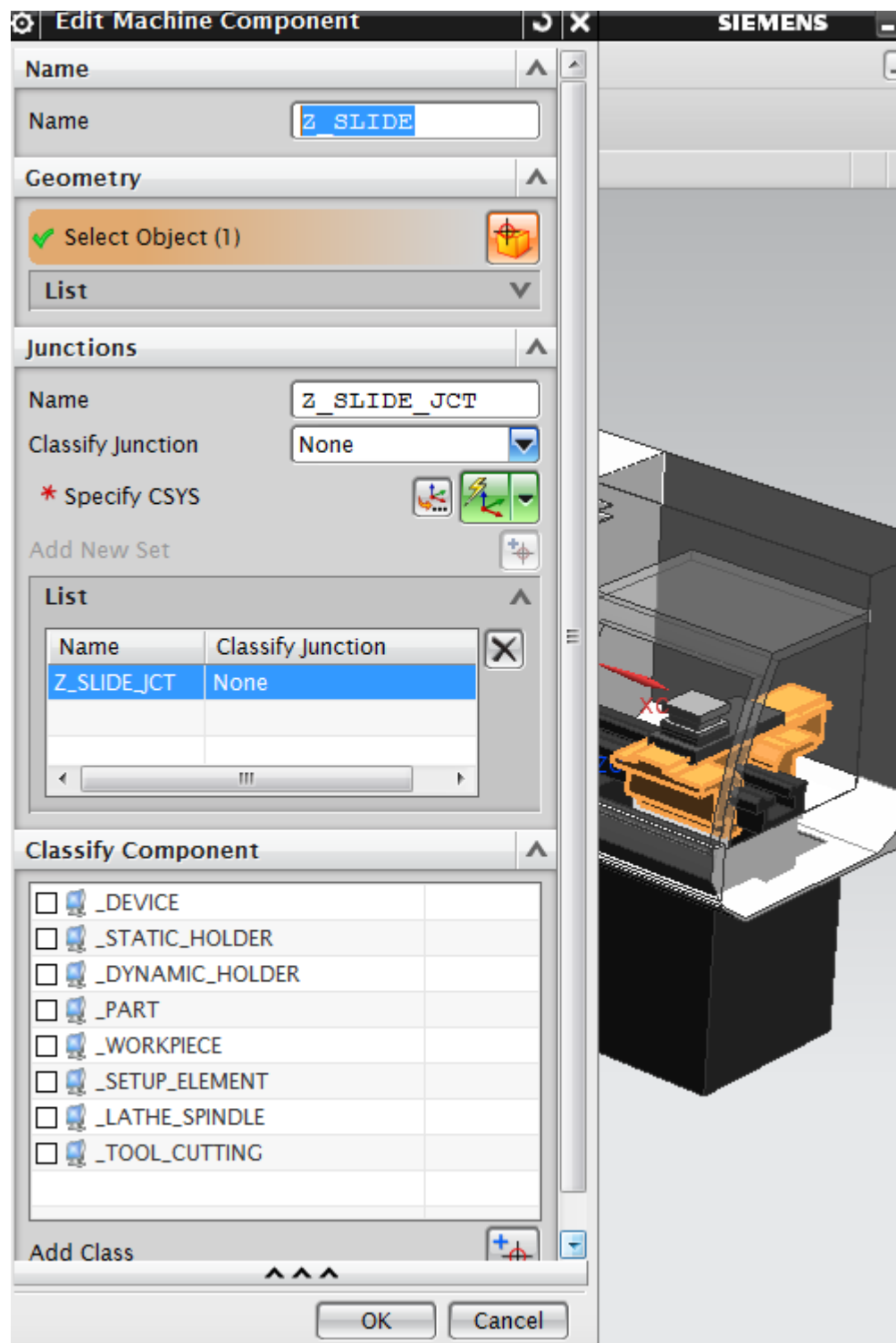


Figura 22. Configuración del movimiento del eje X

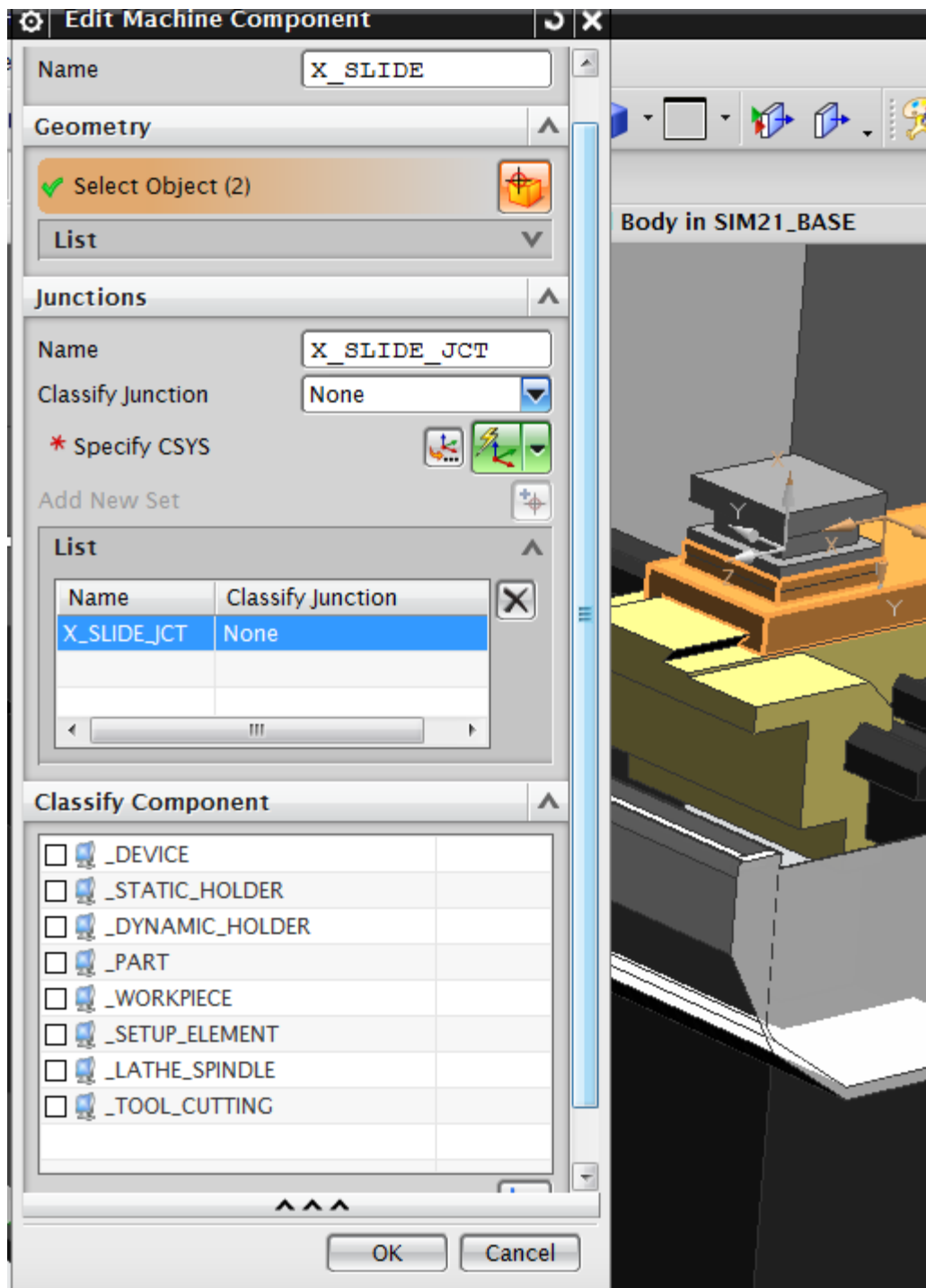


Figura 23. Configuración del movimiento del cambio de herramienta y la torreta

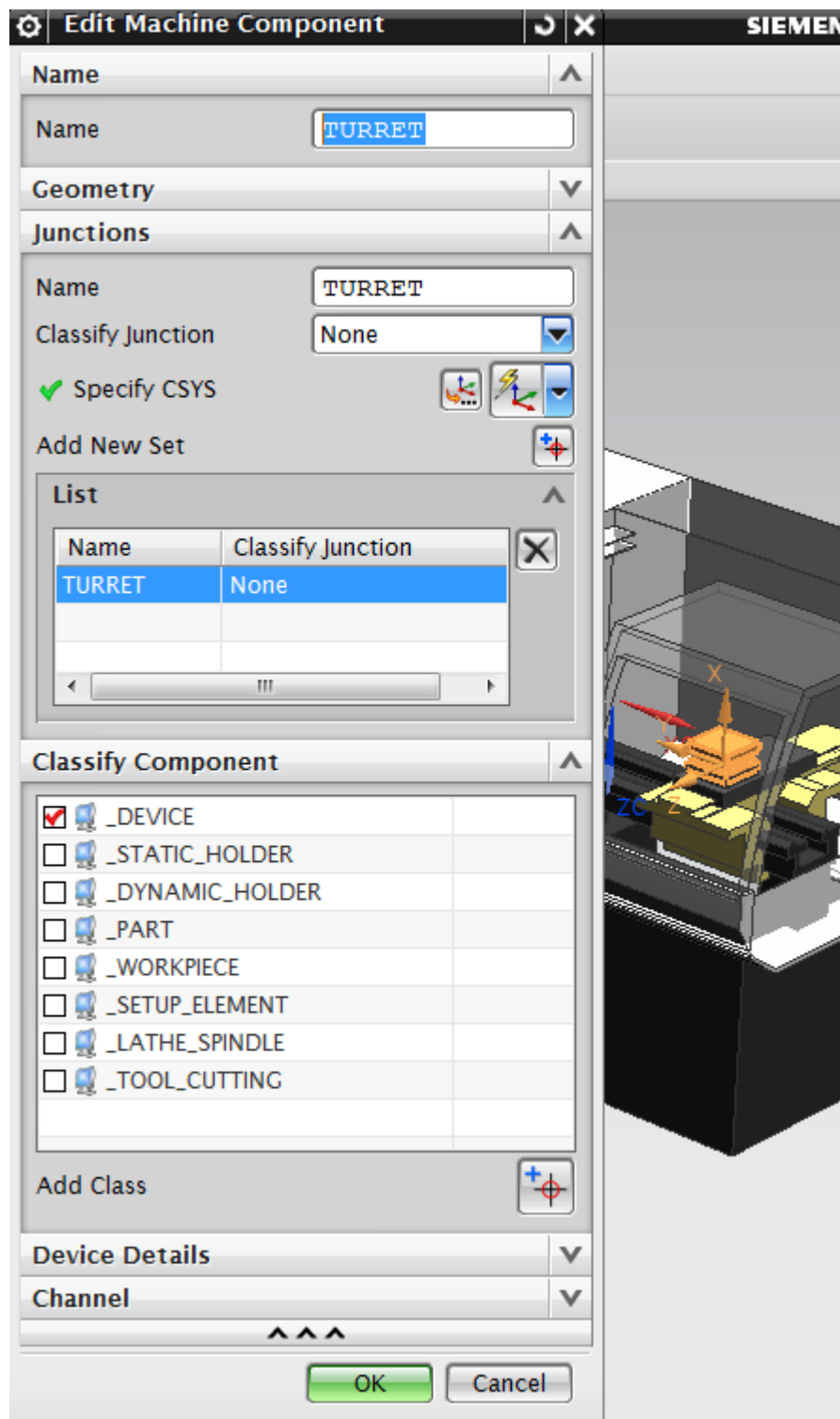


Figura 24. Movimientos Rotatorios y Lineales del Torno Biaxial

Machine Tool Navigator - Machine Tool Builder				
Name	Axis Name	Initial Value	Axis Type	Axis Limits
CK6130				
└ MACHINE_BASE				
├ SPINDLE	C	0	Rotary	None
├ Z_SLIDE	Z	370	Linear	60, 400
├ X_SLIDE	X	0	Linear	-10, 200
└ TURRET	TURRET	0	Rotary	-360, 360

La configuración de cada uno de los ejes de los movimientos se hace con la interfaz de edición de ejes (Figura 24 y 25). Los valores iniciales y límites máximos son basados en los de la Máquina real, fueron tomados uno a uno en el taller en donde se encuentra el torno.

Para hallar estos valores, fue necesario contar con el catálogo de la máquina, en el Anexo A se observa la ficha técnica de la misma. Partiendo del cero absoluto de la Máquina real (el mismo que la máquina virtual), se hallaron los limites superior e inferior de cada uno de los ejes (Figura 27), llevándolos hasta sus recorridos máximos, se verificó que efectivamente esos límites corresponden al recorrido total descrito en el catálogo.

Name	Axis Name	Initial Value	Axis Type
CK6130			
└ MACHINE_BASE			
├ SPINDLE	C	0	Rotary
├ Z_SLIDE	Z	370	Linear
├ X_SLIDE	X		Linear
└ TURRET	TURRET		Rotary

Figura 25. Acceso Interfaz de edición de ejes

En la ventana de la interfaz de edición de ejes (Figura 26), es sencillo ingresar los valores anteriormente mencionados, e incluso simular el movimiento para verificar que esté configurado correctamente.

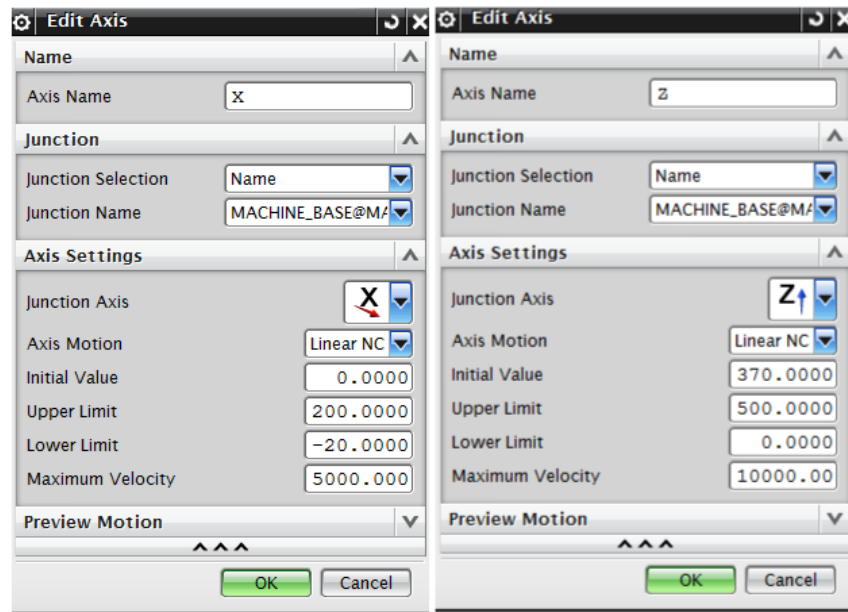
Figura 26. Interfaz de edición de ejes

The image shows a 'Create Axis' dialog box with several sections and fields. Red arrows point from Spanish labels to specific fields in the dialog:

- Name**: Points to the 'Axis Name' field containing 'NEW_NAME'.
- Selección de Juntas que se relacionan con el Eje**: Points to the 'Junction Name' dropdown menu showing 'MACHINE_BASE@M'.
- Eje a Involucrar**: Points to the 'Junction Axis' dropdown menu showing 'Y'.
- Tipo de grado de libertad**: Points to the 'Axis Motion' dropdown menu showing 'Linear NC'.
- Valor de inicio (en posición de home)**: Points to the 'Initial Value' field containing '0.0000'.
- Límite superior del recorrido**: Points to the 'Upper Limit' field containing '100.0000'.
- Límite inferior del recorrido**: Points to the 'Lower Limit' field containing '-100.000'.
- Velocidad Máxima del componente**: Points to the 'Maximum Velocity' field containing '10000.00'.
- Visualización previa del movimiento del eje, previamente configurado**: Points to the 'Preview Motion' section, which includes 'Step Size' (10.0000), 'Current Value' (0.0000), and four directional buttons (left, right, up, down).

The dialog box also includes an 'OK' button and a 'Cancel' button at the bottom.

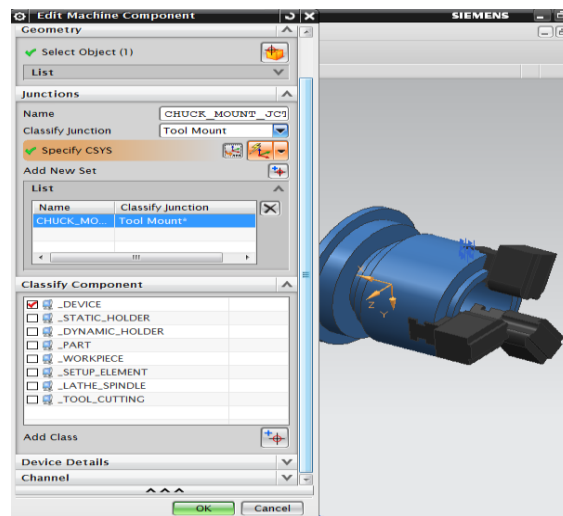
Figura 27. Configuración de Ejes X y Z



4.2.2. Desarrollo de accesorio de máquina (copa o “chuck”)

Para que la copa sea montada en el momento de la simulación correctamente, se abrió el archivo CAD del “Chuck” por aparte, se inició el Machine Tool Builder y se configuró como componente cinemático de la siguiente forma (Figura 28).

Figura 28. Configuración de la copa como componente cinemático



En la *Figura 29*, se logra observar la estructura de movimiento del componente rotatorio.

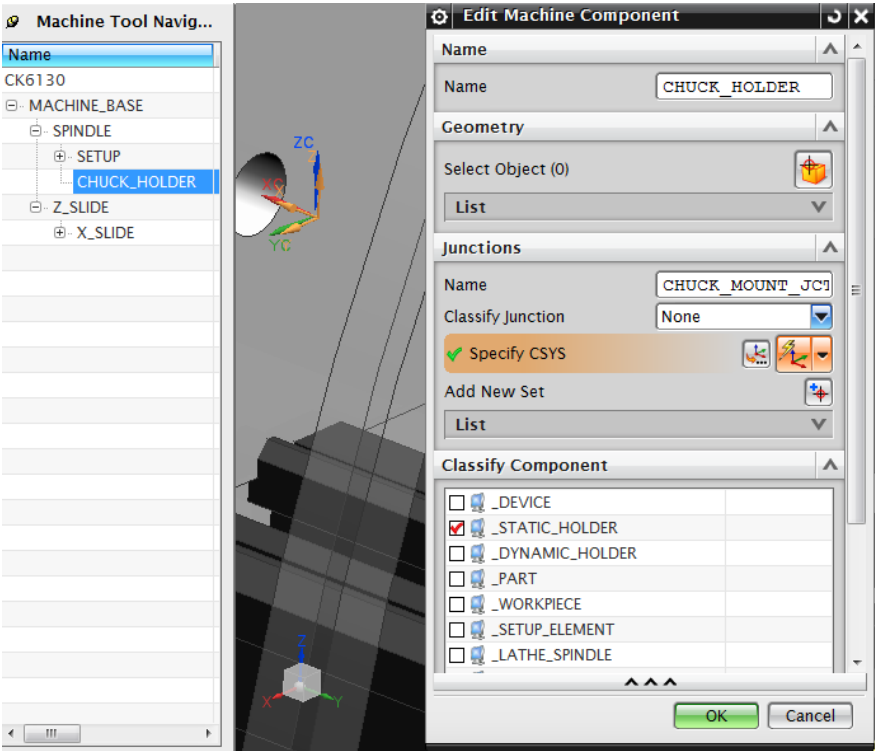
Figura 29. Árbol cinemático de la Copa


Machine Tool Navigator - Machine Tool Builder

Name	Axis Name	Initial Value	Axis Type	Axis Limits	
NO_NAME					
..... CHUCK					

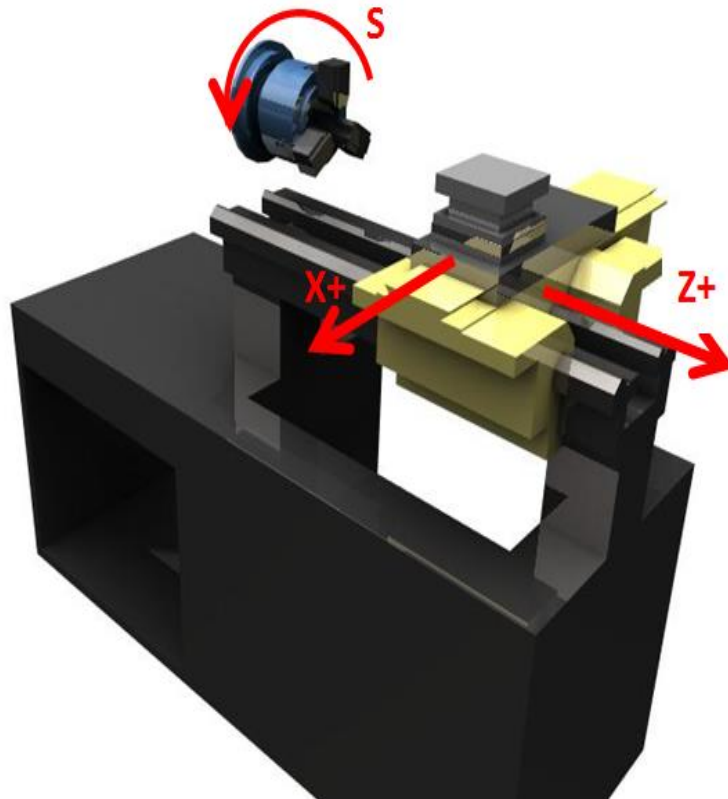
En la *Figura 30* se observa que el nombre de la Junta de la referencia de montaje y de la copa, es el mismo. La copa es considerada un dispositivo; mientras que la referencia de montaje, es considerada un sujetador estático; en este caso, un soporte para el “Chuck”. En la configuración de estos dispositivos, en el sistema de referencia, solo deben coincidir, el Eje de rotación, su rotación y el punto exacto de montaje; es por esta razón que al iniciar la configuración con el machine Tool Builder de la máquina virtual, tomamos ciertas referencias de la Copa antes de retirarla del ensamble.

Figura 30. Copa Montada como Dispositivo



4.3. Agregar la máquina virtual a la librería de NX

Figura 31. Movimientos Lineales y Rotatorios de la máquina herramienta



El modelo cinemático virtual del torno CJK_6130 fue creado exitosamente (Figura 31); se agregó a la biblioteca del software para que lograra ser reconocido como simulador por NX.

4.3.1. Creación de carpetas y copia de modelos digitales, controlador digital y postprocesador

Se tomó como base la estructura de carpetas de un simulador por defecto que venía en el programa y tuviera características similares al que se agregó (en este caso Torno horizontal de arquitectura paralela Biaxial). Se tomó como referencia el torno horizontal de dos ejes, nombrado en la carpeta de NX como “sim11_turn_2ax”, que según la sintaxis trabajada por el fabricante quiere decir, simulador 11 de torno de 2 ejes. Se entró en la siguiente ruta y se copiaron las carpetas allí contempladas.

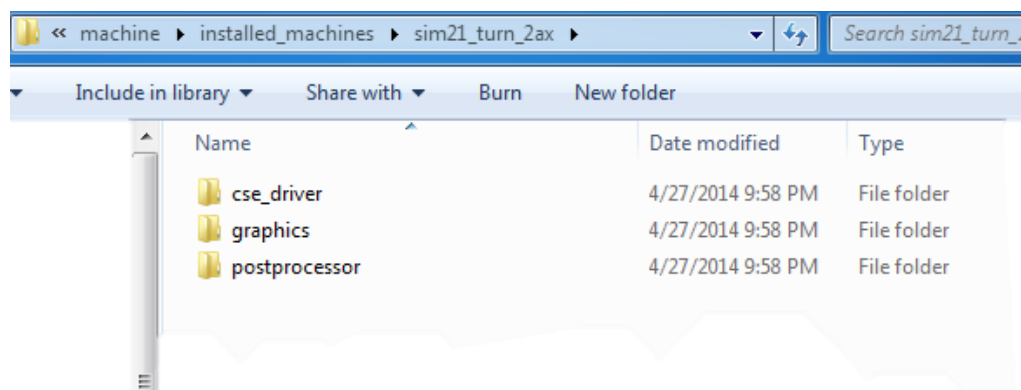
C:\ProgramFiles\Siemens\NX8.5\MACH\resource\library\machine\installed_machines\sim11_turn_2ax

En la siguiente ruta se creó una carpeta llamada “sim21_turn_2ax”, y se pegaron allí dentro los archivos previamente copiados.

C:\ProgramFiles\Siemens\NX8.5\MACH\resource\library\machine\installed_machines\

Se tienen 3 carpetas como se observa en la *Figura 32*. En la carpeta “graphics”, se copió el simulador previamente creado, con todas sus partes; excluyendo la copa, ya que esta no hace parte del ensamble de la máquina herramienta al ser tratada como un accesorio.

Figura 32. Carpetas de librería de Máquinas



4.3.2. Creación de carpetas y copia de archivos (accesorio)

Para agregar la copa como accesorio se siguió un procedimiento similar. Se tomó base en una copa ya existente (la copa del simulador 11), se copiaron los archivos y se creó una carpeta para ese accesorio, en la siguiente ruta:

<C:\ProgramFiles\Siemens\NX8.5\MACH\resource\library\device\graphics>

Se reemplazaron los archivos CAD dentro de la siguiente ruta por los del simulador 21:

C:\ProgramFiles\Siemens\NX8.5\MACH\resource\library\device\graphics\sim21_chuck_assy

4.3.3. Indexación de librería de máquina a NX

Se hizo la indexación de la máquina virtual, esta se logró gracias a la modificación de un archivo .DAT que contiene las rutas de cada una de las Máquinas, este archivo lo lee el software para poder llamar y diferenciar los simuladores. El archivo “machine-database.DAT”, se encuentra en la siguiente ruta:

<C:\ProgramFiles\Siemens\NX8.5\MACH\resource\library\machine\ascii>

En este archivo .DAT se debe copiar lo siguiente:

```
DATA|sim21_turn_2ax_fanuc_mm|MDM0201|2-Ax          Turn  
Horizontal|Fanuc|Example|${UGII_CAM_LIBRARY_INSTALLED_  
MACHINES_DIR}sim21_turn_2ax\sim21_turn_2ax_fanuc_mm.dat|  
1.000000|${UGII_CAM_LIBRARY_INSTALLED_MACHINES_DIR  
}sim21_turn_2ax\graphics\sim21_CJK6130_assembly
```

Debajo de la última máquina de la primera parte referenciada; hay dos partes de la lista de máquinas; la primera en donde están las Máquinas con unidades en milímetros, y la segunda donde están las Máquinas con unidades en pulgadas; el texto anterior fue copiado, al finalizar la lista de las Máquinas en milímetros. Y basado en el texto que referenciaba el simulador 11.

4.3.4. Indexación de librería de accesorio a Nx

Se modificó el archivo device_database.DAT, agregando el siguiente texto, basado en la indexación de la copa del simulador 11:

```
DATA |sim21_chuck_assy  |1 |Chuck | CHUCK
```

El archivo de indexación de accesorios, fue ubicado en la siguiente ruta:

<C:\ProgramFiles\Siemens\NX 8.5\MACH\resource\library\device\ascii>

4.4. Controlador virtual

El control o controlador de una máquina de control numérico computarizado, es el sistema que guía los desplazamientos de los componentes de una máquina herramienta, mediante coordenadas precisas haciendo la manufactura mucho más eficiente, que con una Máquina convencional.

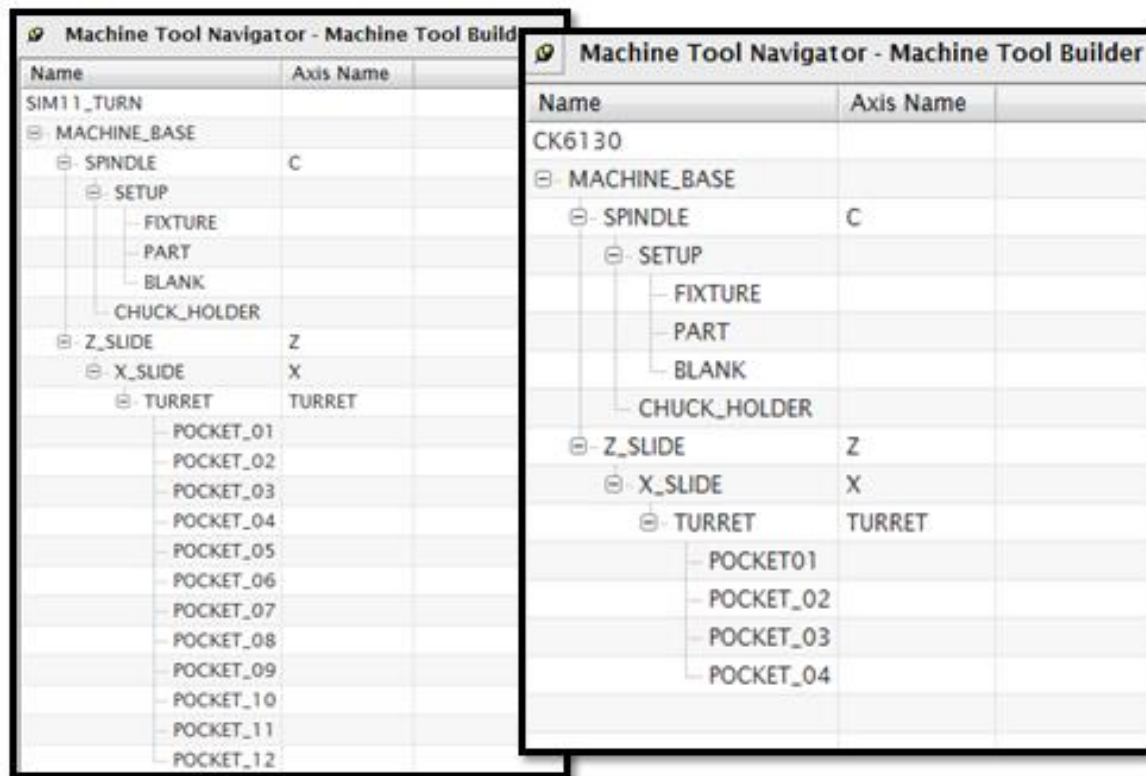
Cuando se habla de un control virtual, se refiere a la interpretación del código de texto plano (traducido de las trayectorias CLDATA en formato .NC) hecha por el módulo CAM del software NX, que toma las coordenadas y los parámetros del código .NC; convirtiendo estos, en movimientos del prototipo virtual, mediante los archivos del controlador virtual que se encuentran dentro de la primera carpeta que se copió anteriormente (“cse_driver”), permitiendo así la verificación del código para lograr correr el mismo en la Máquina real, sin ningún problema.

4.4.1. Adaptación de controlador virtual existente

El controlador del simulador número 11 de la librería por defecto de máquinas virtuales de NX es útil, ya que como se ha mencionado a lo largo de este documento, este posee la misma arquitectura que la máquina para la cual estamos desarrollando el Sistema de Simulación y Verificación.

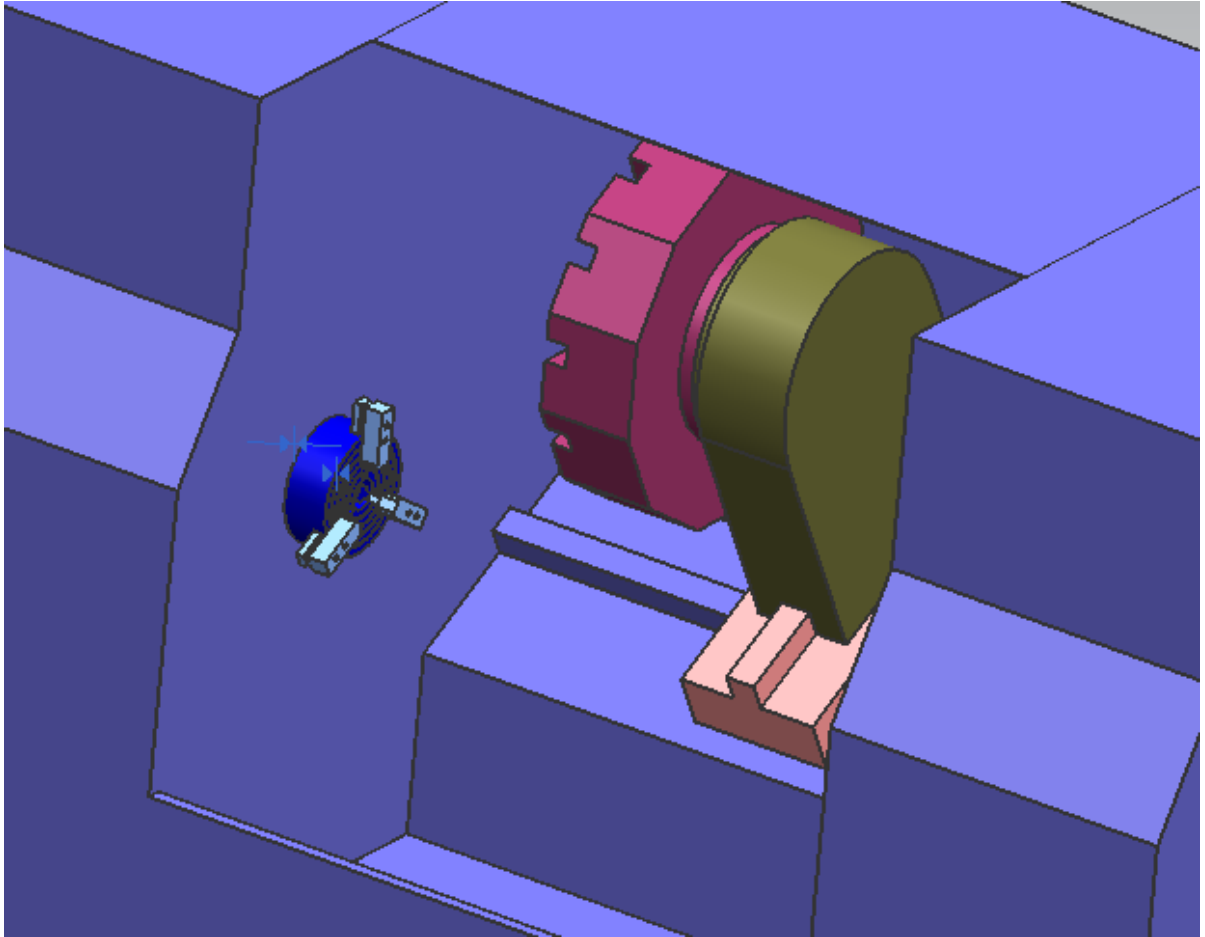
El simulador 11 cuenta con su propio control, control que está en capacidad de mover los componentes cinemáticos del torno digitalizado por el autor, ya que se basó en la estructura de movimientos de este para crear el árbol cinemático del Sistema que se viene desarrollando.

Figura 33. Comparación de Arboles Cinemáticos



Observando la Figura 33, se puede notar que ambos arboles cinemáticos serían exactamente iguales si tuvieran el mismo número de portaherramientas. El simulador base (sim11-turn_2ax) posee 12 pockets o portaherramientas, pertenecientes a una torreta tipo revolver que se puede observar en la Figura 34. También es de notar que las herramientas se encuentran en el mismo eje, pero en diferente dirección; esta última diferencia no es relevante, ya que al configurar el sistema de coordenadas del simulador desarrollado, se invirtió la dirección del Eje X, teniendo en cuenta esta diferencia entre ambos tornos; en resumen, la dirección positiva del Eje X debe apuntar a la posición en la que está ubicada la torreta, para poder utilizar el control del simulador 11; es de resaltar que el cambio de dirección del Eje X, no tiene ninguna inferencia en los demás ejes involucrados en la manufactura, ya que el eje Z permanece intacto y el Eje Y (por la ley de la mano derecha) si cambia de dirección pero es irrelevante en el proceso, ya que el torno es Biaxial y los ejes usados son X y Z.

Figura 34. Máquina virtual Genérica

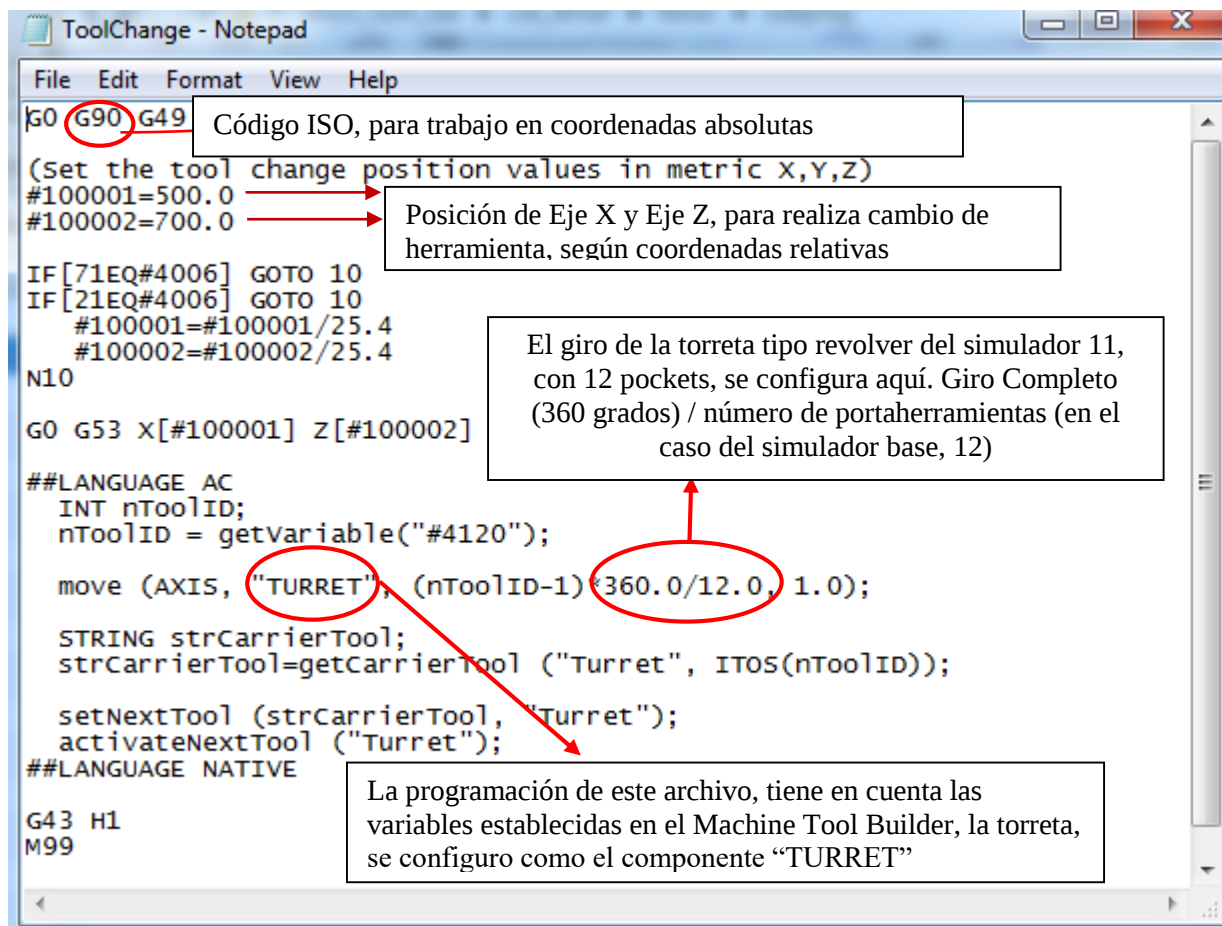


Siendo así, se evidencia que solo se debe hacer un cambio en el controlador virtual; el archivo que controla el cambio de herramienta debe ser modificado para que la torreta no gire cada 30 grados, sino cada 90 grados. Es de resaltar que todo lo demás, permanece intacto.

El archivo a ser modificado, se llama (ToolChange) y se encuentra dentro de la siguiente ruta.

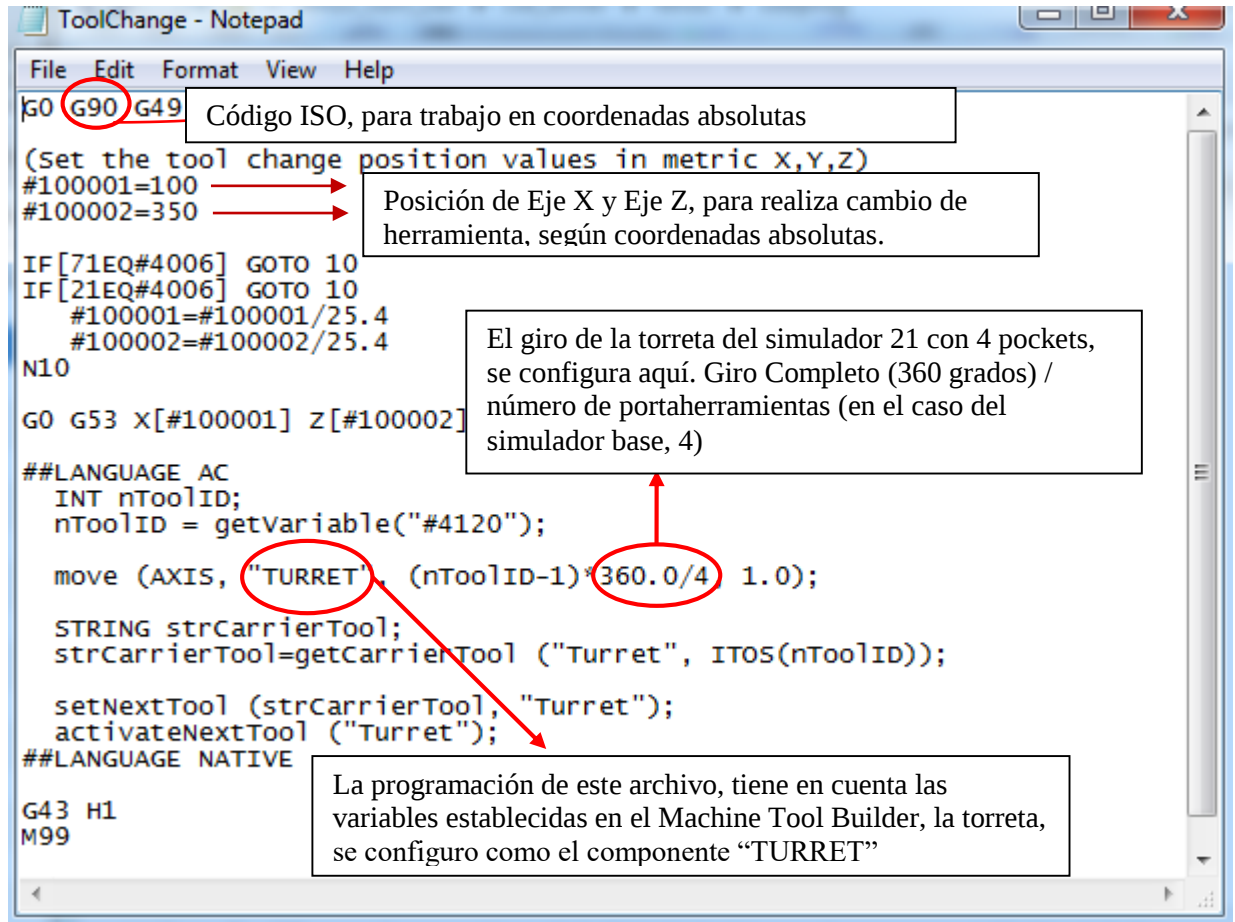
[C:\ProgramFiles\Siemens\NX8.5\MACH\resource\library\machine\installed_machines\sim11_turn_2ax\cse_driver\fanuc\subprog](#)

Figura 35. Archivo "Tool Change" Genérico



Dentro del archivo a modificar, se encuentra una programación que controla el cambio de herramienta (Figura 35). El proyecto se centra netamente en el desarrollo del IS&V y el postprocesador para el control GSK980TDa, no se centra en el desarrollo del controlador virtual, por ello, solamente se hicieron las modificaciones necesarias para usar un control ya existente. Dentro de esta programación, los únicos valores que se cambiaron fueron las posiciones en X y en Z para el cambio de herramienta (posición segura); y el número de portaherramientas que tiene la torreta que se está configurando, para que el controlador este en la capacidad de enviar bien la orden en un cambio de herramienta presente en el programa.

Figura 36. Archivo "Tool Change" Modificado



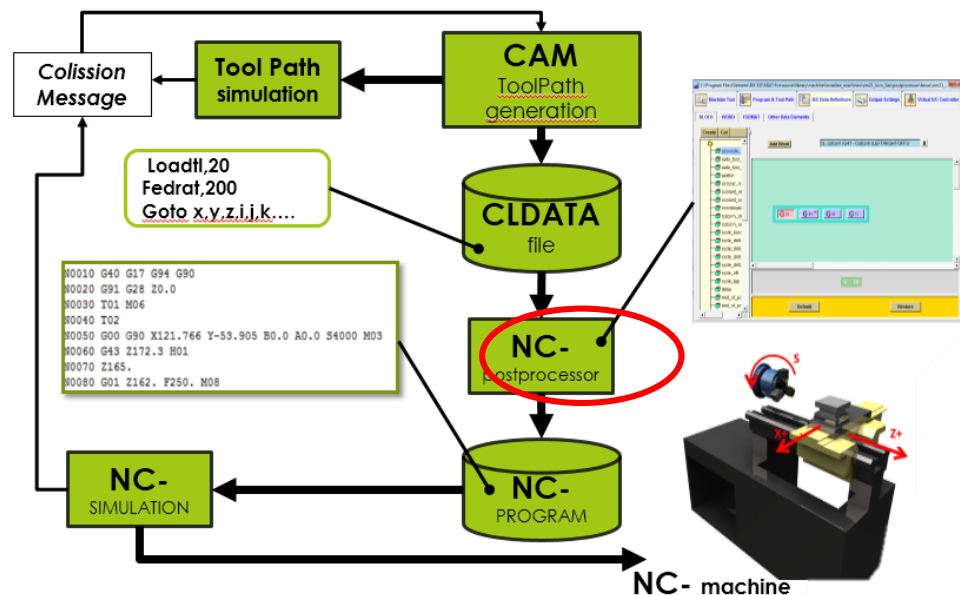
Siendo así, el resultado de esta edición (Figura 36) es el ángulo de giro al cambiar la herramienta, como se había mencionado anteriormente, la torreta con esa configuración estaba girando 30 grados cada vez que recibía una orden de cambio de herramienta; adicional a esto generaba una alerta de "Overtravel" por la violación de los límites máximos en las que incurría al ir a las coordenadas anteriormente establecidas como posición segura. Con las modificaciones hechas y descritas en la imagen, el cambio de herramienta de la máquina virtual, queda igual al de la Máquina real.

5. DESARROLLO DE POSTPROCESADOR PARA EL TORNO CJK_6130

5.1. Postprocesador para control GSK 980TDa

El Postprocesador de un modelo virtual es el archivo de traducción de trayectorias de código CLDATA (código generado por cualquier software CAM, por medio del cual comunica las coordenadas y parámetros de sus rutas de corte), en un archivo de texto plano NC. No todas las Máquinas tienen el mismo controlador, para cada una debe ser desarrollado el Postprocesador (el postprocesador debe ser hecho para el software CAM usado, no existen Postprocesadores genéricos), los fabricantes de software y máquinas herramientas no entregan el Postprocesador a menos de que la empresa asuma un costo extra; en este caso se construyó el Postprocesador para un control GSK980TDa, integrado a un torno horizontal CJK_6130 de procedencia asiática. En la siguiente imagen, Figura 37, se observa el trabajo del Postprocesador, que es traducir el archivo CLDATA en el archivo de texto plano .NC, que a su vez es enviado al controlador virtual del prototipo digital para la Simulación Y Verificación del código NC generado.

Figura 37. Funcionamiento Postprocesador



Para obtener el Postprocesador deseado se sigue un orden establecido por el autor. Lo primero es integrar un Postprocesador genérico para partir de allí y construir el

que se requiere; el que se tomará de referencia será el Postprocesador del simulador 11 de la librería de NX. Seguido de esto, se establecerá el formato de código establecido, es decir, se definirá la estructura que debe tener el código generado por el traductor de trayectorias. Se iniciará el desarrollo del Postprocesador final, usando la herramienta “Post Builder” de Siemens, un ayudante para la construcción de Postprocesadores compatibles con NX.

5.1.1. Especificaciones control GSK980TDa

Para el desarrollo adecuado del Postprocesador se tienen en cuenta los códigos usados por el fabricante del controlador.

A continuación se relacionarán una serie de tablas que son de total necesidad al momento de desarrollar el Postprocesador, ya que nos van a brindar toda la información necesaria, para entender el lenguaje del control de la Máquina real.

En la Tabla 2, se encuentran las especificaciones técnicas del controlador real de la máquina; los ejes utilizados, los códigos soportados y otro tipo de información como velocidades máximas, paso de Maquinado de roscas, etc.

Tabla 2. Especificaciones técnicas del Controlador GSK_980TDa

Control de Movimiento	Ejes controlable: 2 (X, Z); Ejes controlables en simultaneo: 2 (X, Z)
	Interpolación: Lineal, interpolación en arco en la dirección X, Z
	Dimensión de los programas: -9999.999 - 9999.999 mm; unidad min. 0.001 mm
	Velocidad de desplazamiento rápido: máx. 16000 mm/min
	Anulación rápida: F0, 25%, 50%, 100%
	Avance de corte: máx. 8000 mm/min o 500 mm/rev (Avance por revolución)
	Anulación de avance: 16 pasos en tiempo real de torneado para 0 - 150%
	Avance manual: 16 pasos en tiempo real de torneado para 0 - 1260 mm/min

	Avance del volante: 0.001, 0.01 y 0.1 mm
Códigos G	28 clases de código G: G00, G01, G02, G03, G04, G28, G32, G33, G34, G40, G41, G42, G50, G71, G72, G73, G74, G75, G76, G90, G94, G97, G98, G99 y el código macro G65 para ejecutar 27 clases de cálculos, operaciones lógicas y programas patrón.
Maquinado de roscas	Paso: 0.001 - 500 mm o 0.06 - 25400 dientes/pulgada
	Encoder del husillo: Líneas que puede establecer (100 - 5000p/r)
	Radio de dirección entre encoder y husillo: (1-255)
Compensación de precisión	Compensación del retroceso: (X, Z) 0 - 200 mm
	Compensación del error del paso: 255 puntos de compensación con ± 0.255 x compensación invalidada para cada una en la dirección X, Z.
	Compensación de la herramienta: 32 grupos de compensación de la longitud de la herramienta, compensación del radio de la herramienta (Compensación C de la herramienta)
	Método de posicionamiento de la herramienta: Posicionamiento de la herramienta En un punto fijo
	Método de ejecución de la compensación de la herramienta: herramienta en desplazamiento transversal o deducción de la coordenada.
Códigos M	Códigos M (sin repetición): M02, M30, M98, M99, M9000 - M9999
	Otros códigos M están definidos y ejecutados por programas PLC
	Códigos M definidos por programas PLC estándar: M00, M03, M04, M05, M08, M09, M10, M11, M12, M13, M32, M33, M41, M42, M43, M44.

Códigos T	Más 32 selecciones de herramienta (T01 - T32), el tiempo de secuencia de cambio de herramienta, que es definido por el programa PLC. La selección de la herramienta está establecida en 1 y el cambio de herramienta no es ejecutado por el PLC cuando la posición de la herramienta en la fila es empleada. El programa PLC estándar da la opción de 2 - 8 selecciones de postura de las herramientas, rotación en sentido de las manecillas del reloj para la selección de las herramientas y rotación en contra del sentido de las manecillas del reloj para la sujeción de la postura de la herramienta
Velocidad del husillo	Control del cambio de valor de la velocidad: Código S es definido y ejecutado por el programa PLC, la salida directa de S1, S2, S3, S4 es controlada por un programa PLC estándar y S0 es usado para detener los comandos S1, S2, S3, S4.
	Control de voltaje analógico de velocidad: Los códigos S especifican la velocidad del husillo por minuto o la velocidad de corte en la superficie de la pieza (control de la velocidad de corte en la superficie constante), el potencia del sistema de 0 - 10V, el voltaje del convertidor del husillo, cuatro velocidades de cambio del husillo con engranaje de cambio paso a paso.

Extraído de [14]

La tabla 3 contiene todos los código G, soportados con su respectiva función dentro del control. Los códigos G son los que se relacionan directamente con las trayectorias de corte, es decir, con los ejes de la máquina.

Tabla 3. Códigos G permitidos por el torno CJK_6130

Códigos	Función	Códigos	Función
G00	Movimiento rápido	G70	Ciclo finalizado
G01	Interpolación lineal	G71	Ciclo de desbaste axial
G02	Interpolación circular (CW)	G72	Ciclo de desbaste radial
G03	Interpolación circular (CCW)	G73	Ciclo de corte cerrado

G04	Extender el tiempo de programación	G74	Ciclo de ranurado axial
G28	Punto de referencia de retorno automático de la máquina	G75	Ciclo de ranurado radial
G32	Roscado con guía constante	G76	Ciclo de roscado múltiple
G33	Ciclo de agujeros en la dirección Z	G90	Ciclo de corte axial
G34	Roscado con guía variable	G92	Ciclo de roscado múltiple
G40	Cancelación la compensación del radio de la herramienta	G94	Ciclo de corte radial
G41	Compensación del contorno izquierdo del radio de la herramienta	G96	Velocidad de corte constante ON
G42	Compensación del contorno derecho del radio de la herramienta	G97	Velocidad de corte constante OFF
G50	Configuración del sistema coordinado de la pieza de trabajo	G98	Avance por minuto (mm/min)
G65	Código macro	G99	Avance por revolución (mm/rev)

Extraído de [14]

La tabla 4 contiene todos los código M, soportados con su respectiva función dentro del control. Los códigos M son los que se relacionan directamente con las funciones adicionales de la Máquina (refrigerante, calentamiento previo del husillo, etc.).

Tabla 4. Códigos M permitidos por el torno CJK_6130

Código	Función
M00	Pausa del programa
M03	Husillo en el sentido de las manecillas del reloj
M04	Husillo en el sentido contrario de las manecillas del reloj

M05	Parada del husillo
M08	Refrigerante ENCENDIDO
M09	Refrigerante APAGADO
M32	Lubricante ENCENDIDO
M33	Lubricante APAGADO

5.1.2. Integrar postprocesador genérico

Ya se cuenta con un Postprocesador genérico integrado con el controlador virtual del prototipo, ya que la tercera carpeta (“PostProcessor”) incluida en los archivos que se copiaron en la dirección del simulador 21, contiene el Postprocesador simulador 11 (sim11_turn_2ax_fanuc_mm). Ubicado en la siguiente dirección de carpetas:

C:\ProgramFiles\Siemens\NX8.5\MACH\resource\library\machine\installed_machines\sim21_turn_2ax\postprocessor\fanuc

Cabe resaltar que el Postprocesador es un simple archivo de traducción, que de hecho puede estar ubicado en una carpeta diferente a la del simulador; la librería de NX lo maneja con esa estructura de carpetas para mantener un estándar de organización. Igual, al momento de Postprocesar, si el archivo de traducción está en la ruta estándar, NX lo referenciará por defecto en la lista de Postprocesadores a usar.

5.1.3. Verificación de estado de un postprocesador

Los puntos importantes a evaluar en un Postprocesador, se encuentran en la siguiente tabla:

Tabla 5. Plantilla Evaluación de Postprocesadores

G-CODE LAYOUT	
Program Start Sequence	Valor alfanumérico
Valores que aparecen al INICIO del código antes de las operaciones de mecanizado	
Operation Start Sequence	

Valores o condiciones cada vez que INICIE un bloque de operación en la Máquina CNC	Valor alfanumérico
Tool Path	Valor alfanumérico
Valores o condiciones importantes DURANTE el recorrido de las operaciones de corte	
Operation End Sequence	Valor alfanumérico
Valores o condiciones cada vez que TERMINE la operación o proceso a realizar	
Program End Sequence	Valor alfanumérico
Valores o condiciones cuando TERMINE el programa	

Esta tabla fue desarrollada por los ingenieros de soporte técnico de la empresa colombiana IDCAE S.A.S. (Reseller De Siemens), basándose en las herramientas que brinda la interfaz del "Post Builder". Esta empresa es especialista en el desarrollo de sistemas de simulación y verificación; también se emplean a fondo en el desarrollo y la construcción de Postprocesadores para cualquier tipo de máquina herramienta. No es necesario generar un código y analizarlo para poder llenar la tabla, en el editor de Postprocesadores, se pueden abrir los archivos de traducción para consultar o editar su configuración.

5.1.4. Post Builder

El Post Builder como ya se ha mencionado anteriormente en este documento, es la herramienta de Siemens que permite la edición y creación de un Postprocesador. A continuación se muestra la interfaz del Post Builder para entender mejor el desarrollo hecho (Figura 38).

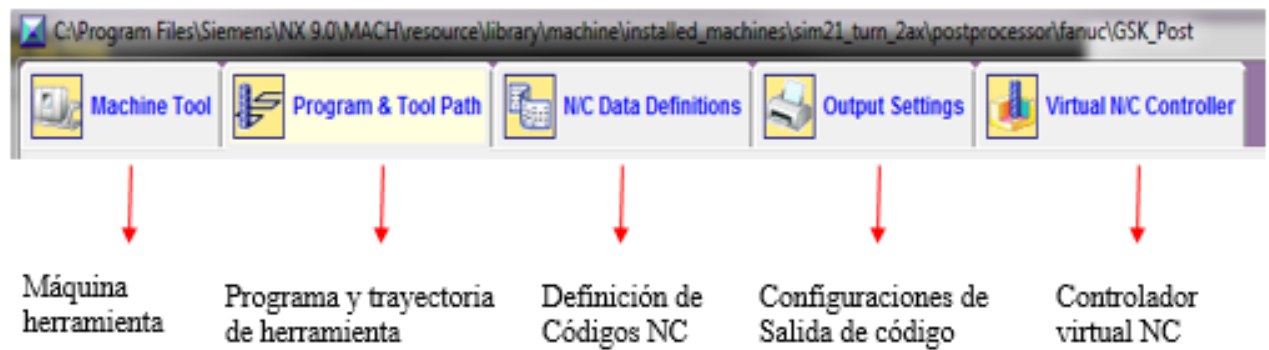


Figura 38. Menú PostProcessor Builder

En el desarrollo y la edición del Postprocesador solo se va a trabajar con los módulos de MÁQUINA HERRAMIENTA, PROGRAMACION Y TOOL PATH.

5.1.4.1. Máquina herramienta

En esta parte del Postprocesador se define la máquina herramienta que se va a utilizar. La plantilla que se utiliza ya tiene por definición una máquina herramienta de arquitectura paralela horizontal de dos ejes.

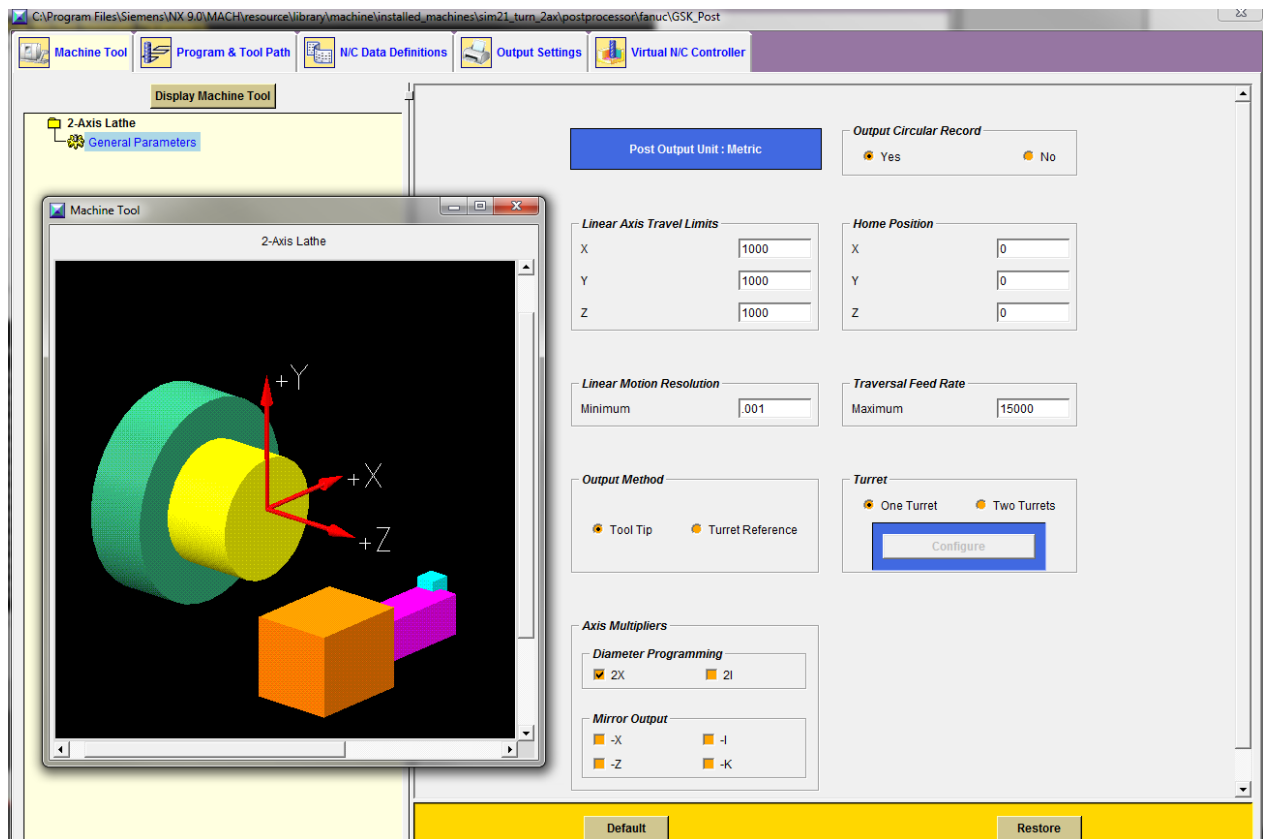


Figura 39. Definición de ejes de Máquina

En la Figura 39 se observa la definición de los ejes en una visualización previa de la estructura de la máquina herramienta; los puntos importantes a modificar en esta pantalla son los límites lineales de los ejes (recorrido máximo) y la posición inicial del portaherramientas (Figura 40). Todo lo demás permanece de la misma forma.

Post Output Unit : Metric

Output Circular Record
☒ Yes
☐ No

Linear Axis Travel Limits
X
Y
Z

Home Position
X
Y
Z

Linear Motion Resolution
Minimum

Traversal Feed Rate
Maximum

Output Method
☒ Tool Tip
☐ Turret Reference

Turret
☒ One Turret
☐ Two Turrets

Configure

Axis Multipliers

Diameter Programming
☒ 2X
☐ 2I

Mirror Output
☐ -X
☐ -I
☐ -Z
☐ -K

Figura 40. Definición de Límites Axiales

5.1.4.2. Programa y trayectoria de herramienta

En esta opción el Post Builder permite hacer la edición del formato de código, en esta parte es en donde se van a realizar la mayoría de modificaciones.



Figura 41. Módulo de programación y Trayectoria de Herramienta

En la Figura 41 se observan las opciones que tiene este módulo del editor de Postprocesadores. Se trabajarán solamente con las tres primeras (PROGRAM, G CODES y M CODES) y con la sexta (CUSTOM COMMAND), en la primera se edita la estructura del código como tal, en la segunda y tercera, simplemente se definen los códigos G y los códigos M, según el control de la máquina; en la sexta se define la conexión entre la información de las operaciones CAM y el Postprocesador, mediante programación.

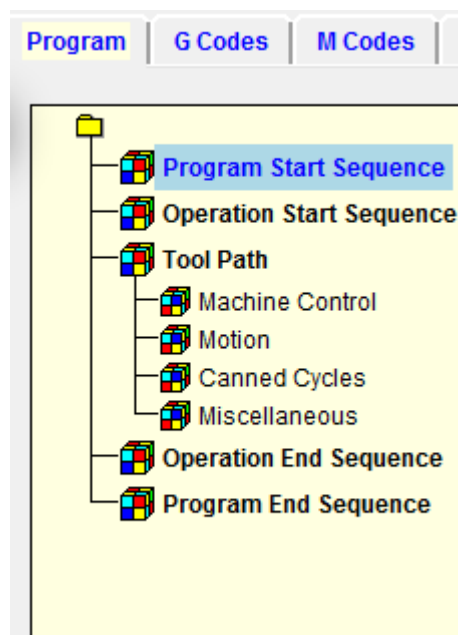


Figura 42. Programa de Inicio de Secuencia

En esta Figura 42 se observa la solapa PROGRAM y sus opciones. Es de resaltar que estas son las opciones que se tienen en la tabla de verificación de Postprocesadores que se puede observar anteriormente en el documento.

Estas son las opciones que se tienen en esta la edición de la estructura del programa.

- Program Start Sequence.

Valores que aparecen al INICIO del código antes de las operaciones de mecanizado.

- Operation Start Sequence.

Valores o condiciones cada vez que INICIE un bloque de operación en la Máquina CNC.

- Tool Path.

Valores o condiciones importantes DURANTE el recorrido de las operaciones de corte.

- Operation End Sequence.

Valores o condiciones cada vez que TERMINE la operación o proceso a realizar.

- Program End Sequence.

Valores o condiciones cuando TERMINE el programa.

Las solapas G CODES y M CODES, son para la configuración de códigos G y códigos M (Figura 43); en esta parte basta con tener la lista de códigos a la mano para poder relacionarlos correctamente en el Postprocesador. Más adelante en el desarrollo del Postprocesador para el torno, se mostrarán imágenes de estas interfaces.

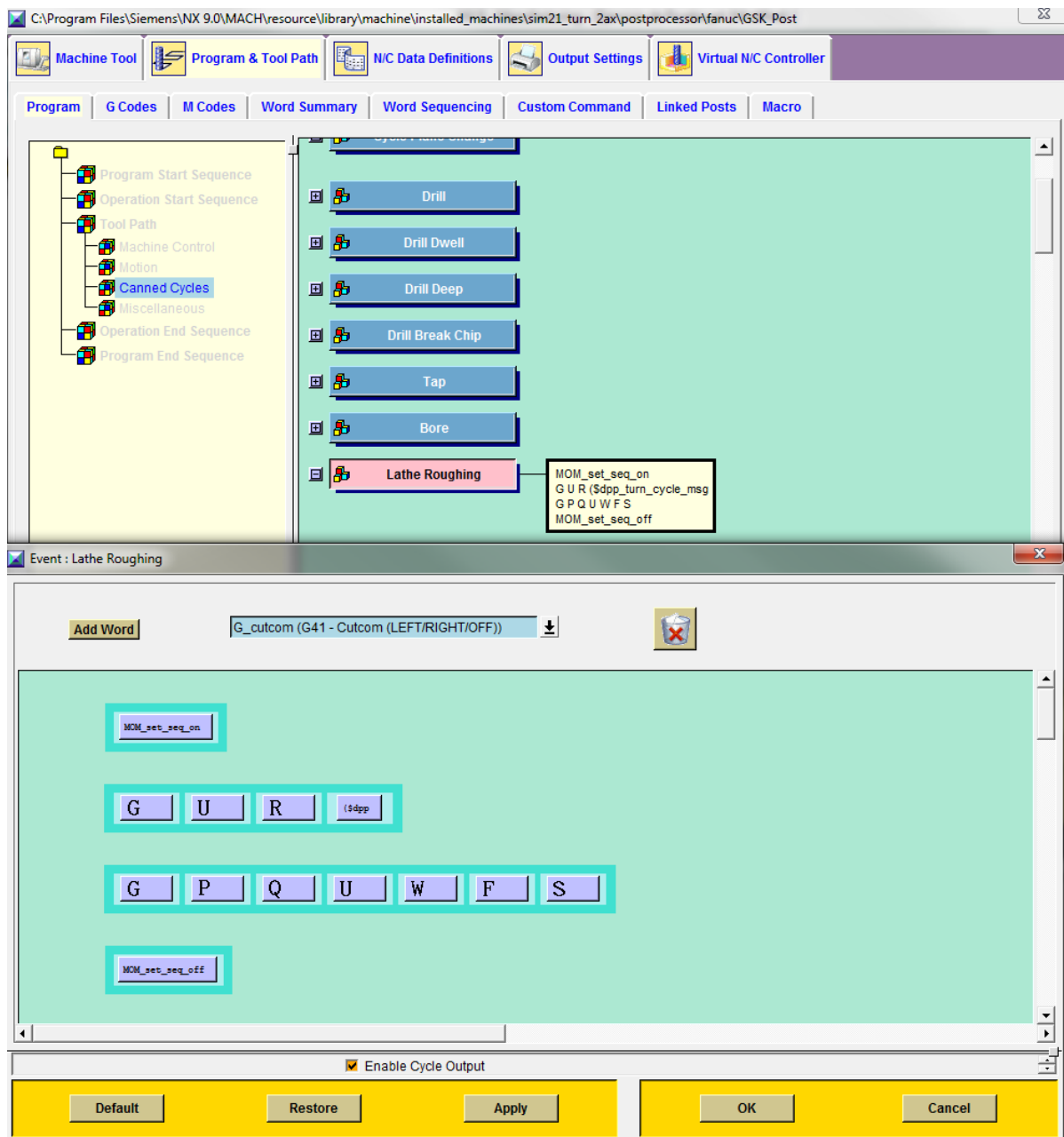


Figura 43. Interfaz de Edición

5.1.5. Obtención de postprocesador objetivo

5.1.5.1. Estado de postprocesador genérico

El Postprocesador genérico se pone a prueba generando el código de manufactura para la pieza que se observa a continuación, las operaciones utilizadas para la generación de trayectorias del archivo son: Refrentado (facing) y Cilindrado o

desbaste (Rough_turn_OD), en la Figura 44 se observan las operaciones, y las trayectorias.

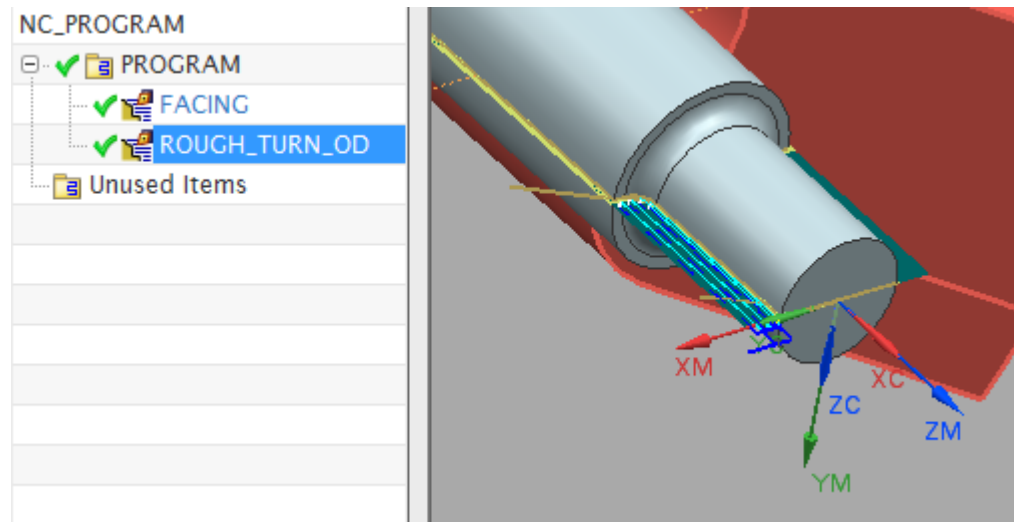


Figura 44. Generación de Código para Pieza Ejemplo

Al Postprocesar el programa, se obtiene el siguiente código:

%	Inicio de Programa
N1 G18 G94 G90 G71	
N3 G0 X70 Z100	
(OPERATION: FACING)	Inicio de Operacion
N5 G92 X0.0 Z0.0	
: 7 T01 H01 M06	
: 9 G54	Trayectoria de Herramienta
N11 G97 S500 M03	
N13 G94 G00 X11. Z3.	
N15 X13.8	
N17 Z1.	
N19 G92 S1500	
N21 G96 S40 M03	
N23 G95 G01 X13. F.1	
N25 X-.8	
N27 X-1.6	
N29 G94 G00 Z4.	
N31 X13.8	
N33 Z0.0	

N35 G95 G01 X13.
 N37 X-.8
 N39 X-1.6
 N41 G94 G00 Z3.
 N43 X11.
 (OPERATION: ROUGH_TURN_OD_1)
 N45 G97 S500 M04
 N47 X9.
 N49 Z3.8
 N51 G95 G01 Z3.
 N53 Z-19.8
 N55 X9.725
 N57 Z-29.8
 N59 X10.
 N61 X10.566 Z-29.234
 N63 G94 G00 Z3.8
 N65 X8.
 N67 G95 G01 Z3.
 N69 Z-19.8
 N71 X9.
 N73 X9.566 Z-19.234
 N75 G94 G00 Z3.8
 N77 X7.
 N79 G95 G01 Z3.
 N81 Z-19.537
 N83 G02 X7.75 Z-19.8 I.75 K.937
 N85 G01 X8.
 N87 X8.566 Z-19.234
 N89 G94 G00 Z.566
 N91 X7.116
 N93 G95 G01 X6.55 Z0.0
 N95 Z-18.6
 N97 G02 X7. Z-19.537 I1.2 K0.0
 N99 G01 X7.566 Z-18.971
 N101 G94 G00 Z3.
 N103 X11.

%

Final de Programa

Con el código generado y el archivo de trayectoria abierto en el “Post Builder”, se procede al diligenciamiento de la tabla de identificación de código generado por Postprocesador (Tabla 6).

Tabla 6. Evaluación Postprocesador Genérico

G-CODE LAYOUT	
Program Start Sequence	% N1 G18 G94 G90 G71
Valores que aparecen al INICIO del código antes de las operaciones de mecanizado	
Operation Start Sequence	G92 X__ Z__ (Posición Segura) T0__ M06(Llamar herramienta de corte) G96/G97 S__ M3/M4
Valores o condiciones cada vez que INICIE un bloque de operación en la Máquina CNC	
Tool Path	G97 S__ M03
Valores o condiciones importantes DURANTE el recorrido de las operaciones de corte	
Operation End Sequence	No existe código al finalizar la trayectoria
Valores o condiciones cada vez que TERMINE la operación o proceso a realizar	
Program End Sequence	No existe código al finalizar el programa
Valores o condiciones cuando TERMINE el programa	

5.1.5.2. Estado postprocesador objetivo

El Postprocesador del torno CJK_6130 con control GSK980TDa, será desarrollado de acuerdo a lo comprendido en la tabla 7.

Tabla 7. Evaluación Postprocesador Objetivo

G-CODE LAYOUT	
Program Start Sequence	(UNIVERSIDAD SANTO TOMAS) (FECHA)
Valores que aparecen al INICIO del código antes de las operaciones de mecanizado	
Operation Start Sequence	G40 G99 G21 G50 S1500
Valores o condiciones cada vez que INICIE un bloque de operación en la Máquina CNC	G0 X__ Z__ (Posición Segura) T0_0__ (Llamar herramienta de corte)G96/G97 S__ M3/M4
Tool Path	G0 X__ Z__ (Acercamiento Pieza de Trabajo)
Valores o condiciones importantes DURANTE el recorrido de las operaciones de corte	M8 (Refrigerante ON) G1 - G2 - G3 (Interpolaciones de corte) G71 (Ciclo de Desbaste)
Operation End Sequence	G0 X70 Z100 (Posición Segura)
Valores o condiciones cada vez que TERMINE la operación o proceso a realizar	/M9 /M5 /M01
Program End Sequence	M30
	%
Valores o condiciones cuando TERMINE el programa	Tiempo Total (min.___, sec.___) Tiempo de Corte (min.___, sec.___)

Se puede observar un código generado a partir de la tabla anterior, de esta forma NX debe generar el código automáticamente.

5.1.5.3. Desarrollo de postprocesador objetivo

En este literal se mostrará el desarrollo hecho para la obtención del Postprocesador, basando este en los anteriores literales, en especial el 10.4.

Se crea este Postprocesador utilizando una plantilla desarrollada por Siemens para Postprocesadores de tornos biaxiales. Esta plantilla en especial tiene la opción de desarrollar un ciclo para los Maquinados de desbaste. En este caso el código de desbaste es el G72, se va a configurar según especificaciones del control.

5.1.5.3.1. Máquina herramienta

Como se observa en la Figura 45, la configuración de la máquina herramienta es muy similar a la genérica, con excepción de los límites axiales, la posición inicial y la velocidad máxima.

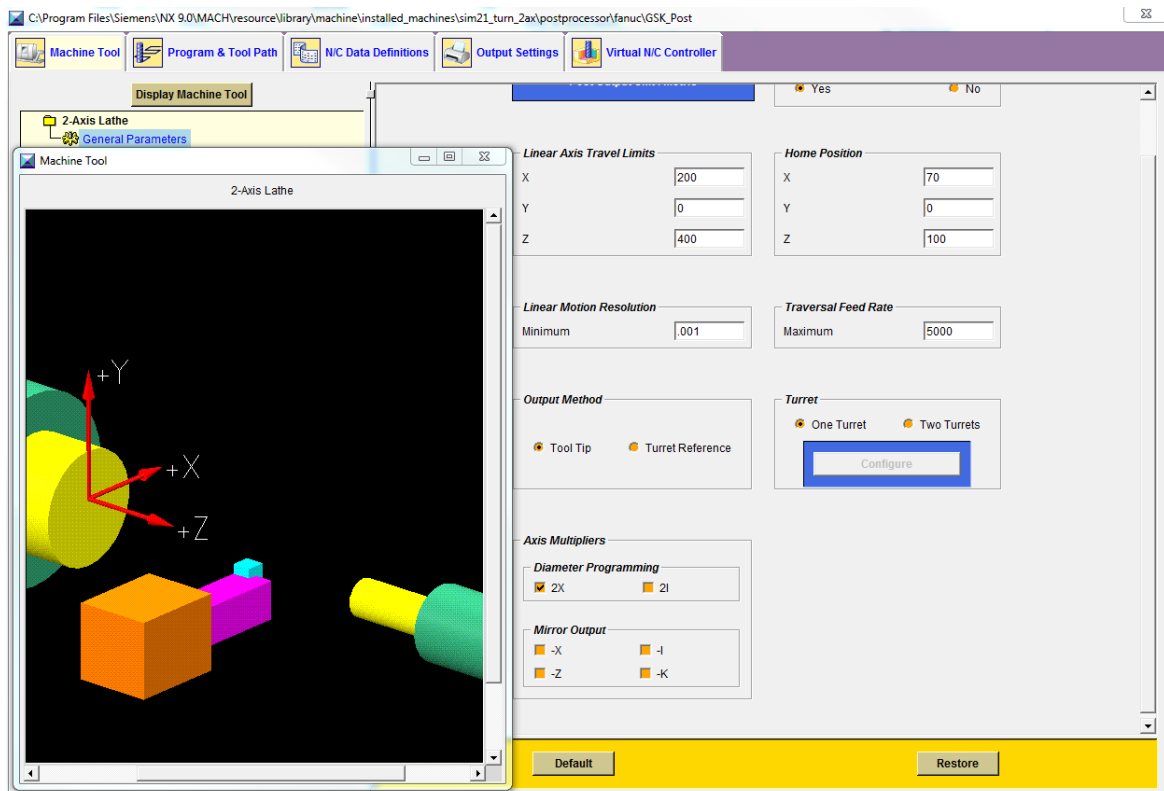


Figura 45. Configuración de Máquina Herramienta

5.1.5.3.2. Programa y trayectoria de herramienta

El programa generado debe ser idéntico al objetivo. Para ello se debe editar el Postprocesador.

La pestaña de programa y trayectoria de herramienta que se encuentra en el Post Builder, permite que el código generado sea el que se desea.

Se mostrará el desarrollo del Postprocesador paso a paso, primero se mostrarán las entradas por defecto que tiene el Postprocesador genérico (en cada una de las entradas que se debe editar) y se mostrarán las modificaciones hechas. Para editar las entradas contamos con las herramientas de postbuilder de agregar (Add Block) y eliminar líneas (Figura 46).

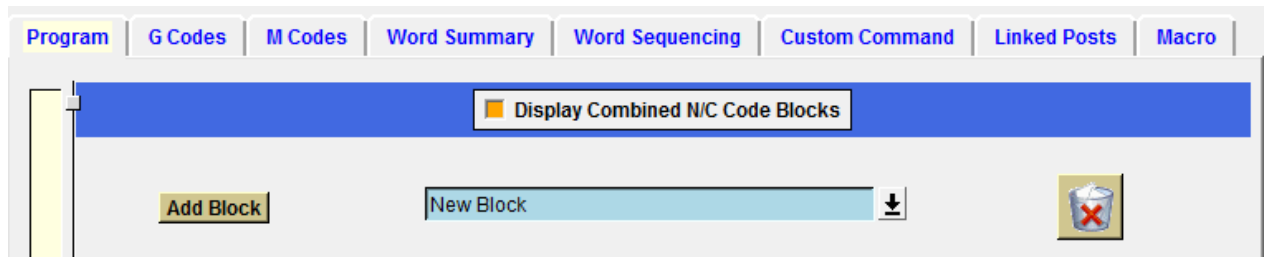


Figura 46. Entorno de Edición de Bloques

5.1.5.3.3.Program Start Sequence

Estas líneas de código son las de inicio, en estas se relacionan encabezados de texto, y/o códigos misceláneos propios para el funcionamiento del control de la máquina para el que se está creando el Postprocesador (Figura 47).

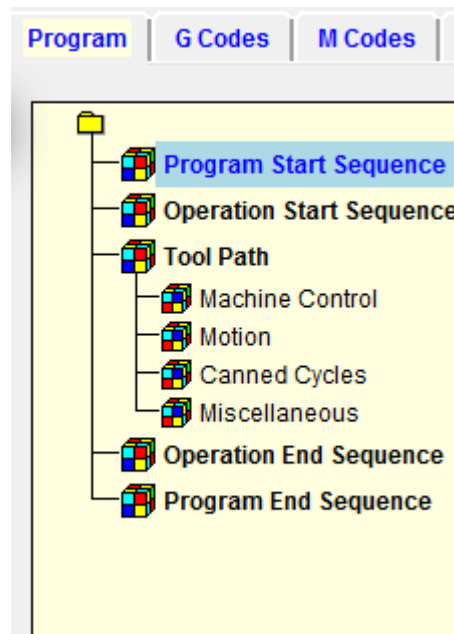


Figura 47. Secuencia de Inicio de Programa

▪ Postprocesador Genérico

En el Postprocesador genérico se tiene como encabezado unos códigos misceláneos de ejemplo, y un símbolo porcentual. Estos bloques no aportan nada al postprocesador objetivo por lo que fueron totalmente eliminados en la edición (Figura 48).

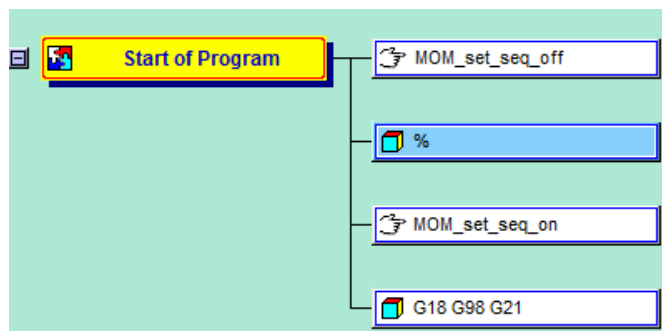


Figura 48. Bloques de Secuencia de Inicio de Programa

▪ Postprocesador Objetivo

Para el Postprocesador Objetivo (Figura 49) se definió según la tabla 7 que en el encabezado iba a estar el nombre de la Universidad, y en la línea de abajo la fecha (parámetro “PB_CMD_date” dentro de NX).

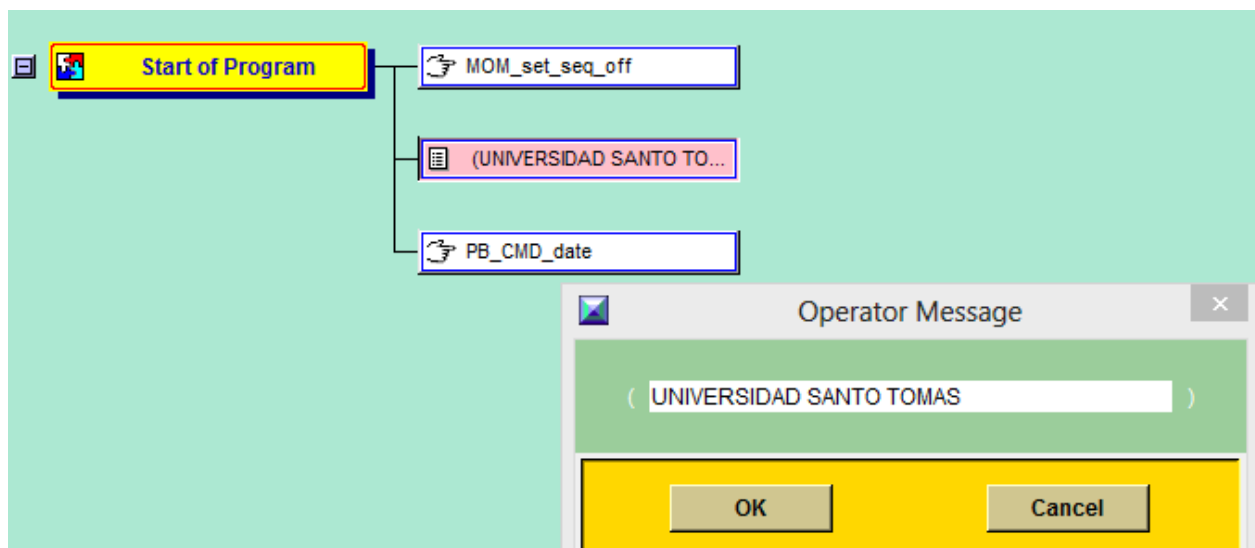


Figura 49. Modificación de Bloque de Secuencia de Inicio de Programa

5.1.5.3.4.Operator Start Sequence

En las secuencias de inicio de programa (Figura 50) se describen los valores iniciales al momento de iniciar un bloque de programa (operaciones).

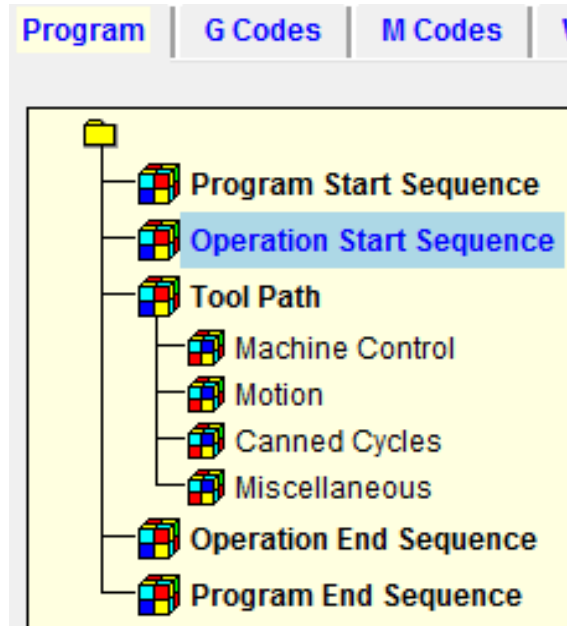


Figura 50. Secuencia de Inicio de Operación

- **Postprocesador Genérico**

El Postprocesador genérico muestra el nombre de la operación (tal cual como en NX, un código misceláneo para identificar coordenadas absolutas, desplazarse a un punto seguro para hacer el cambio de herramienta, el cambio de herramienta, la compensación de herramienta y el encendido del Husillo. También se encuentran bloques de comandos como alistamiento de husillo y alineamiento de bloques (Figura 51).

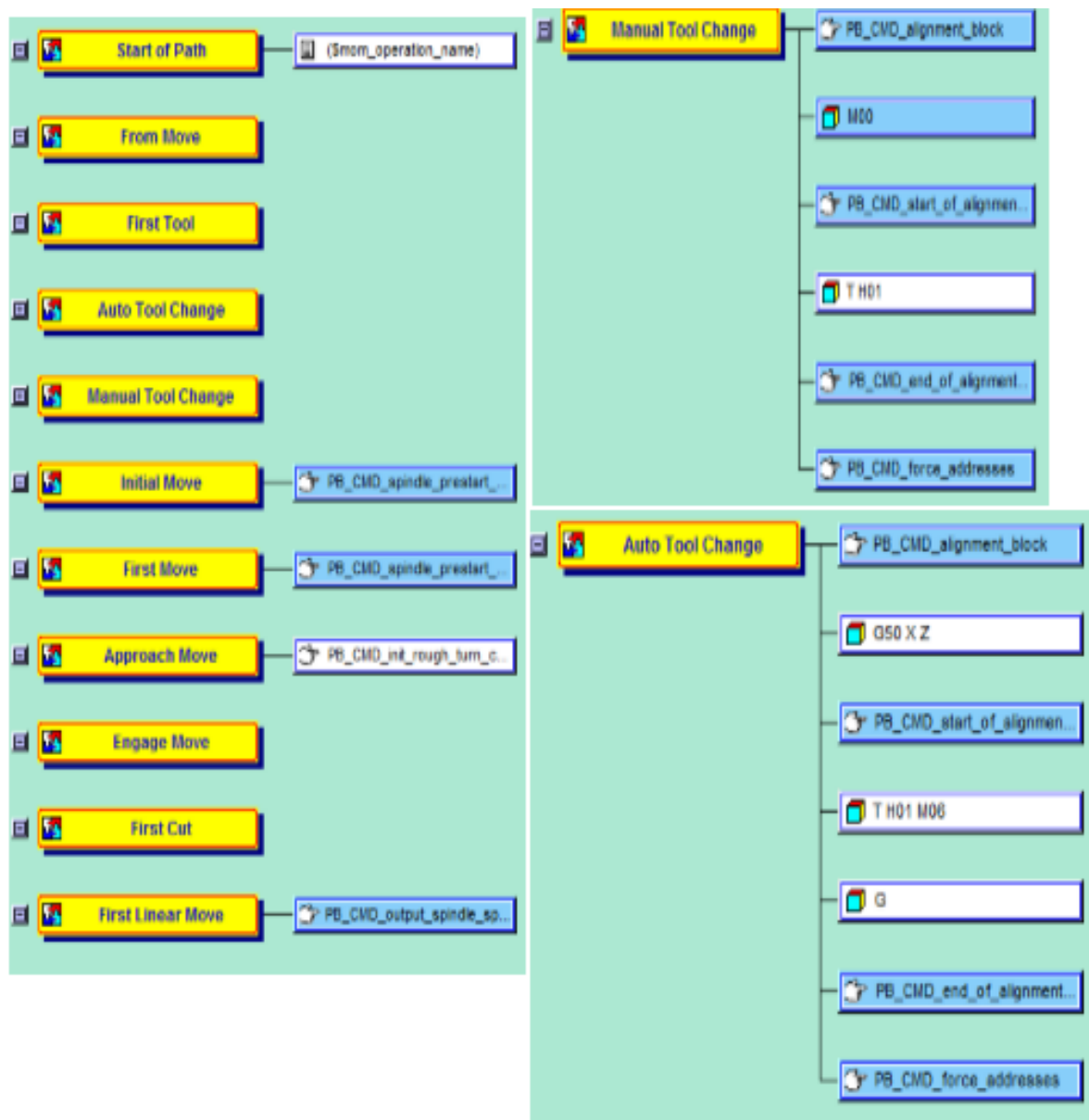


Figura 51. Bloques de Postprocesador genérico.

▪ Postprocesador Objetivo

El Postprocesador objetivo en el campo de secuencias de inicio (Figura 52) de programa lleva los siguientes códigos misceláneos:

- G40: Cancelación de compensación de Radio.
- G99: Avance por revolución (mm/rev).
- G21: Trabajo en Milímetros.
- G50: Coordenadas relativas a la pieza de trabajo.

- S1500: Precalentamiento de husillo a 1500 rev/min.

El Postprocesador Objetivo también lleva la torreta a una posición segura. Y cambia de herramienta.

- G0 X__ Z__: Movimiento rápido a coordenada en x y coordenada en z (Posición Segura).
- T0_0_ :Llamar herramienta de corte, más compensación de la misma sin necesidad de código de compensación H. Ejemplo: T0101
- G96/G97: Encendido o apagado de velocidad constante.
- S__: velocidad para mecanizado.
- M3/M4: Husillo en sentido horario (M3), o sentido anti horario.

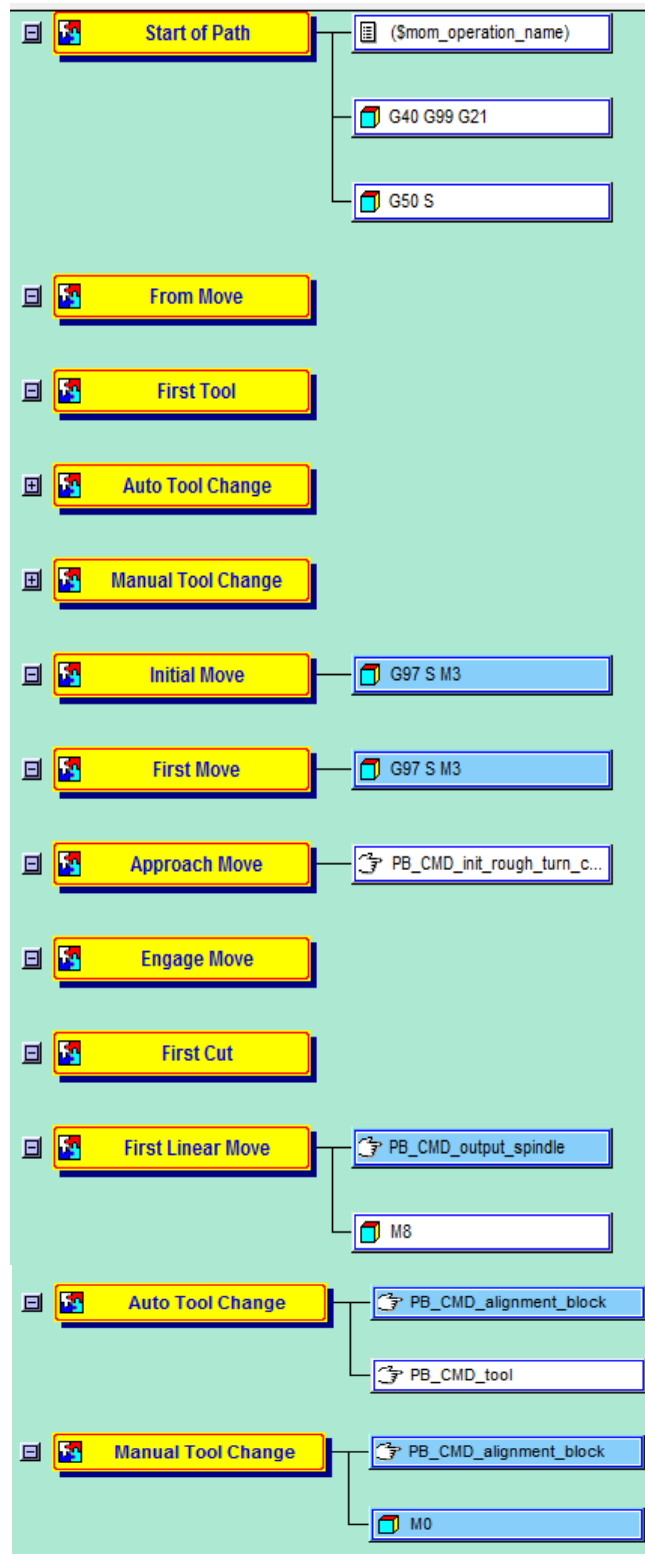


Figura 52. Bloques de Secuencia de Inicio Para Postprocesador Objetivo

5.1.5.3.5. Tool Path

Son los valores y/o condiciones que definen la trayectoria de corte.

5.1.5.3.5.1. Machine Control

El Postbuilder de Siemens permite editar los campos de código en los que se indican, movimientos propios de la Máquina (compensación de radios, encendido de husillo, encendido de refrigerante, etc.) (Figura 53).

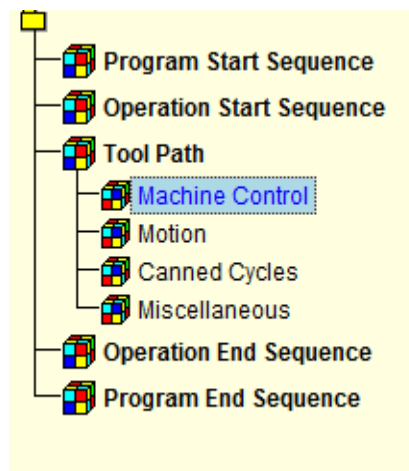


Figura 53. Códigos Misceláneos

▪ Postprocesador Genérico

En la configuración genérica se pueden observar los siguientes códigos (Figura 54).

- H01: Compensar Herramienta.
- M05: Apagar Husillo.
- M08: Encender Refrigerante (programable desde NX).
- M09: Apagar Refrigerante
- G41 G17 D01: Compensar radios, trabajar con plano XY y lubricar máquina.
- G40: Apagar compensación de radios.
- G04: Demora predeterminada de movimiento.
- M01: Detener todas las operaciones.

- M: Código Auxiliar predeterminado.
- G: Código Predeterminado.
- M00: Detener Programa.



Figura 54. Códigos Misceláneos para Postprocesador Genérico

▪ Postprocesador Objetivo

En la Figura 55 se observa el estado de los bloques del Postprocesador Objetivo.

- 01: Compensar Herramienta.
- M5: Apagar Husillo.

- M8: Encender Refrigerante (programable desde NX).
- M9: Apagar Refrigerante
- G41 G17 D1: Compensar radios, trabajar con plano XZ y lubricar máquina.

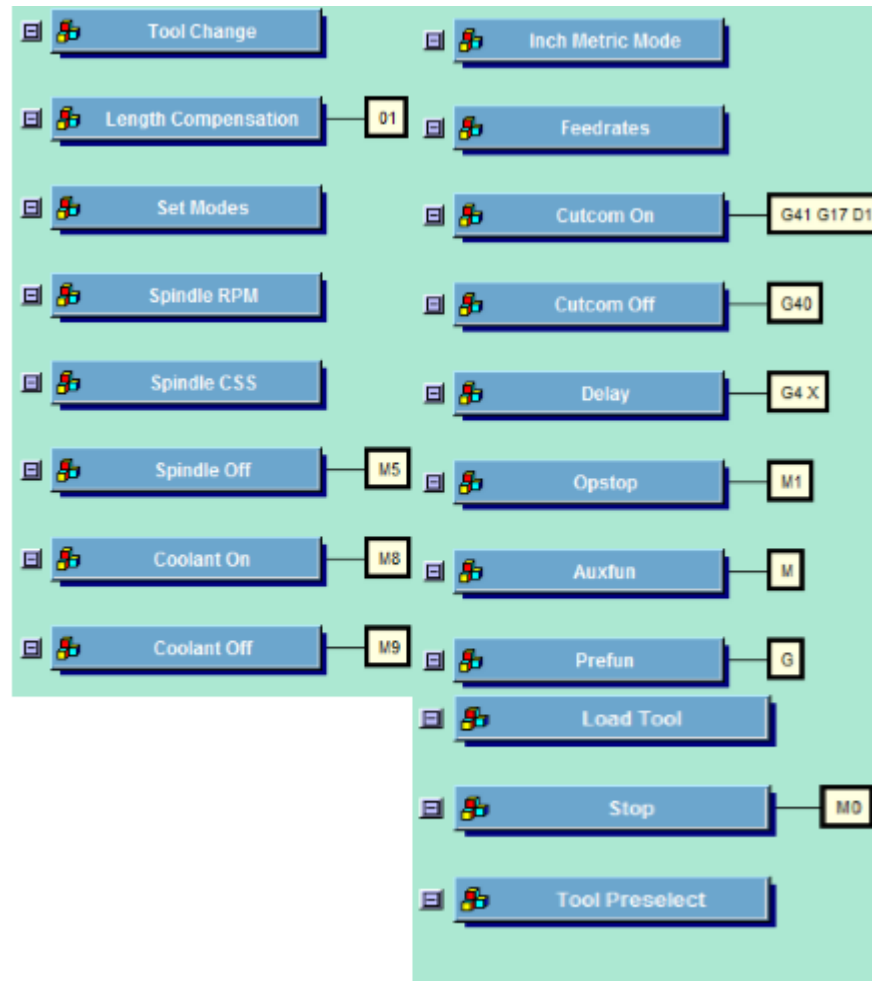


Figura 55. Códigos Misceláneos para Postprocesador Objetivo

- G40: Apagar compensación de radios.
- G4: Demora predeterminada de movimiento.
- M1: Detener todas las operaciones.
- M: Código Auxiliar predeterminado.
- G: Código Predeterminado.
- M0: Detener Programa.

5.1.5.3.5.2. Motion

- **Postprocesador genérico**

La configuración de los movimientos de máquina (Figura 56), está regida por los valores indicados en la barra Motion del Postprocesador. Se puede notar que la configuración por defecto de la máquina de librería interna de NX, llama los siguientes comandos.

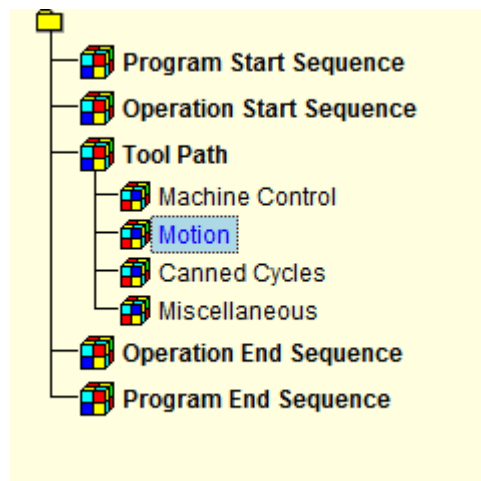


Figura 56. Códigos de Movimiento

- PM_CMD_output_spindle_speed: Velocidad de Husillo.
- G98: Velocidad de corte constante.
- G01: Movimiento de corte en línea recta.
- G02: Movimiento de corte en línea circular (Sentido Anti- Horario).
- G03: Movimiento de corte en línea circular (Sentido Horario).
- X: Coordenada en eje x.
- Z: Coordenada en Eje Z.
- F: Velocidad de corte.
- M08: Encender Refrigerante.
- G00: Movimiento rápido (de posicionamiento).
- I: Coordenada en X para centro de radio.

- K: Coordenada en Z para centro de radio.

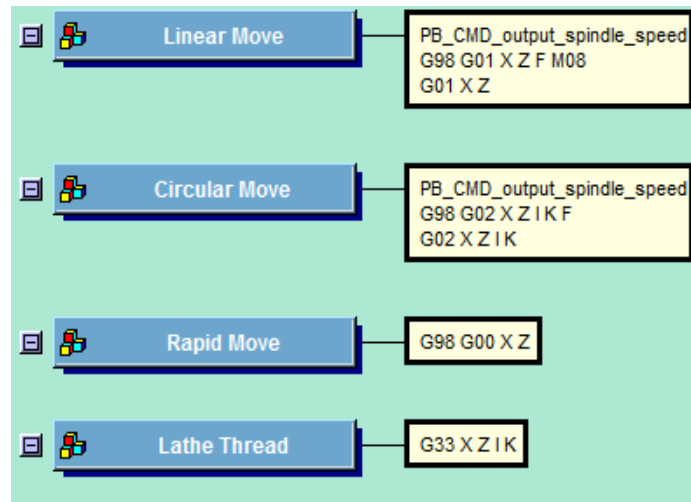


Figura 57. Bloques de Configuración de Movimientos de la Máquina para Postprocesador genérico

▪ Postprocesador Objetivo

La configuración Motion fue editada para obtener el código deseado en la generación de código G del Torno de control numérico GSK980TDa (Figura 57 y 58).

Las líneas de movimiento se configuraron así:

- Linear Move: Movimiento de corte en línea recta. Los códigos que componen la línea generan esta información: Corte en línea recta, coordenada objetivo en X, coordenada Objetivo en Z y avance (velocidad de corte), para el primer movimiento lineal, para los siguientes las líneas son iguales pero sin el avance.
- Circular Move: Movimientos de corte en línea curva. Las líneas de código correspondientes a geometrías circulares comienzan siempre con un código G2 o G3. Seguido de G2/G3 vienen las coordenadas objetivo en X, en Z, el radio de corte y el avance.
- Rapid Move: Los movimientos rápidos permiten el posicionamiento de la herramienta antes de empezar a cortar. El código G0 seguido

de las coordenadas X y Z, indican al torno desplazarse en velocidad máxima hasta esa coordenada.

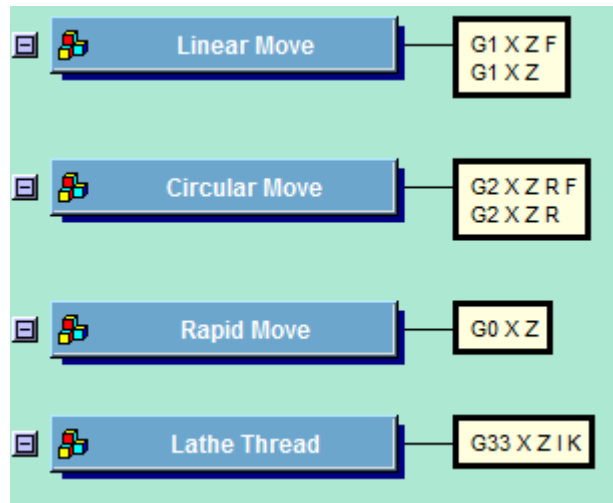


Figura 58. Bloques de Configuración de Movimientos de la Máquina para Postprocesador Objetivo

5.1.5.3.5.3. Canned Cycles

Los ciclos de Maquinado son programaciones que ahorran una cantidad considerable de líneas de código (Figura 59).

Es posible programar operaciones como perforados de agujeros y desbaste de material en bruto en solo unas pocas líneas. El ciclo define parámetros como Coordenada Objetivo, avance, profundidad de corte (ancho de pasadas máximas, hasta coordenada objetivo), velocidad de Husillo, etc.

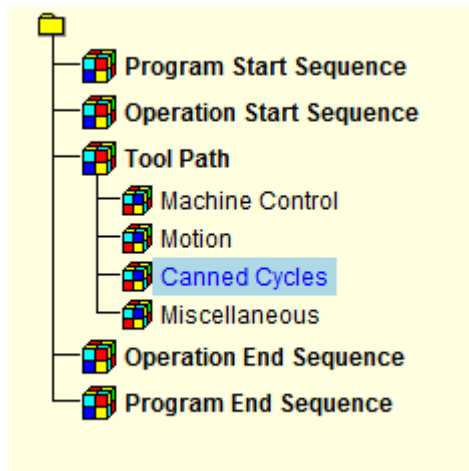


Figura 59. Ciclos de Mecanizado

El autor no editó ningún ciclo de programación, ya que estos solamente es posible editarlos directamente de mano del fabricante (Siemens Europa). Se decide pedir colaboración al fabricante para que el Postprocesador Generara el ciclo de desbaste, logrando así él envió por parte de ellos de una plantilla de Postprocesador de torno genérico con la inclusión de un ciclo de Maquinado, el ciclo de desbaste para el torno CJK_6130.

El ciclo de desbaste (Figura 60) está definido por los siguientes códigos:

- G71: Ciclo de desbaste.
- U (Δd):
- R (e) :
- F: Avance o Velocidad Lineal de corte.
- S: Velocidad de Husillo:
- P: Numero de Línea en la que Inicia el Código.
- Q: Numero de Línea en la que finaliza el Código.
- U (Δu):
- W (Δw):

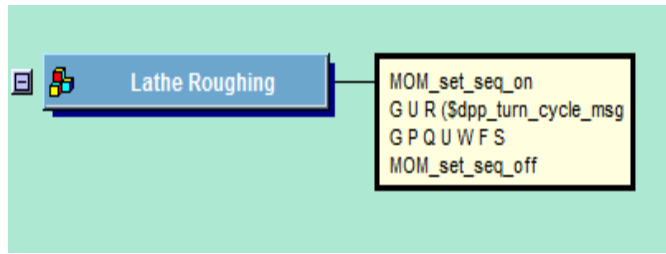


Figura 60. Bloque de ciclo de desbaste para Postprocesador Objetivo

5.1.5.3.6. Operation End Sequence

El constructor de Postprocesadores permite editar las líneas de finalización de cada una de las operaciones (Figura 61).

El autor configuro de tal forma el Postprocesador, que al final de cada código, fuese generado por línea cada uno de los siguientes Códigos, en este orden.

- M9: Apagar Refrigerante.
- M5: Detener Husillo.
- M1: Detener Operación.

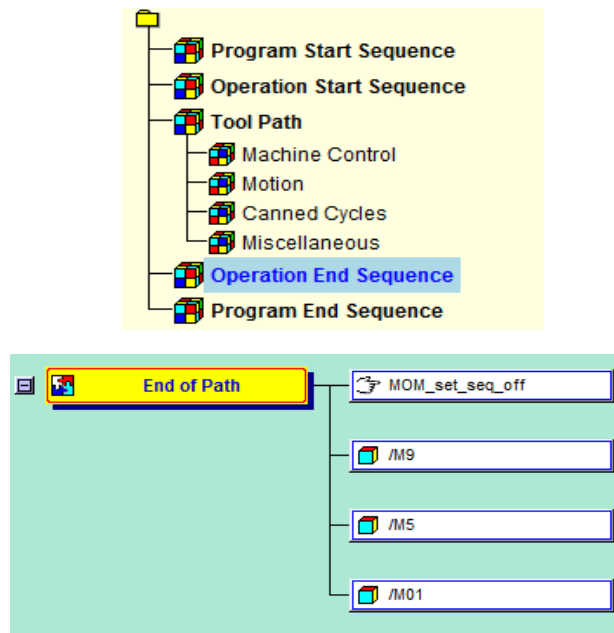


Figura 61. Secuencia de final de Operación con Bloques de Finalización

5.1.5.3.7. Program End Sequence

Se programan también las líneas que deben ser generadas al finalizar el documento (Figura 62) de texto plano que será ingresado al torno, inmediatamente después de ser generado por la máquina.

- M30: Final de Programa.
- %: Símbolo de Porcentaje que indica que no existen más líneas de código (es lo único que venía en esta parte del Postprocesador genérico).
- PB_CMD_TIME: Tiempo completo de Mecanizado.

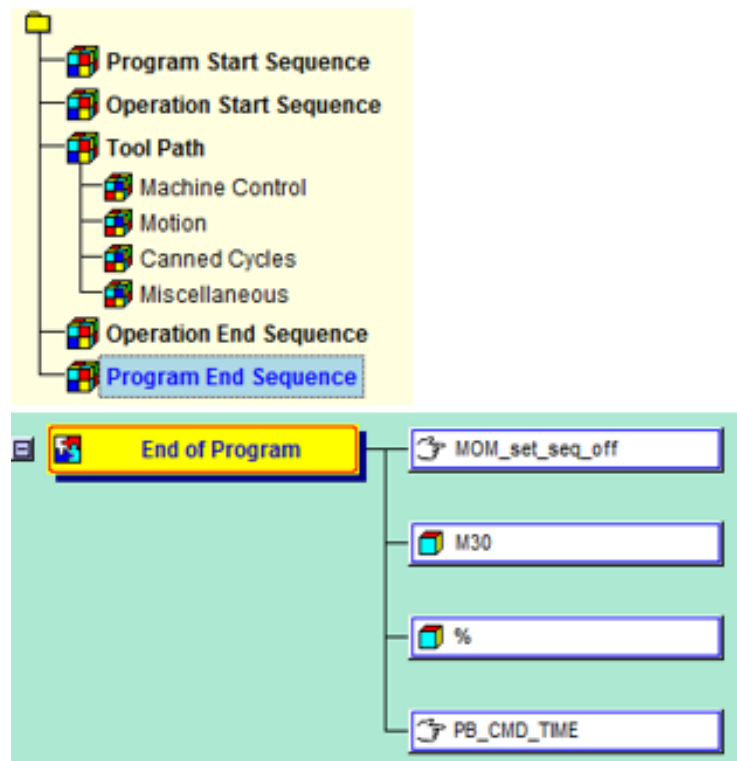


Figura 62. Secuencia de final de Programa con Bloques de Finalización

5.2. Código generado con el nuevo Postprocesador

Haciendo la generación del programa para el mismo ejercicio del inicio del capítulo, Nx arroja el siguiente código. Algunas líneas de código están precedidas por un “slash (/)” para ser omitidas si el operario de la maquina así lo decide (la maquina posee un botón específico para este fin).

UNIVERSIDAD SANTO TOMAS	Inicio de Programa
Día de la semana Mes Día Hora Año	
O0000	Nombre Programa
G0 X70 Z100	Movimiento a Zona Segura
(FACING)	Inicio de Operación
G40 G99 G21	
G50 S1500	
T0101	
G96 S48 M3	
G0 X22. Z3.	Inicio de ToolPath
X27.6	
Z1.	
M8	
G1 X26. F.125	
X-1.6	
X-3.2	
G0 Z4.	
X27.6	
Z0.0	
G1 X26.	
X-1.6	
X-3.2	
G0 Z3.	
X22.	
/M9	Finalización de Operación
/M5	
/M01	
(ROUGH_TURN_OD_1)	Inicio de Operación
G40 G99 G21	
G50 S1500	

G96 S60 M3 X18.	
N0010 G71 U1. R1. (ROUGH TURN CYCLE)	Inicio de Ciclo de desbaste
N0020 P0030 Q0040 U.4 W.2 F.125 S60	Parámetros de Ciclo
N0030 (CONTOUR TURN START)	
G1 X12.7 Z.8 Z-18.	
G2 X16.7 Z-20. R2.	
G1 X19.05 Z-30.	
X21.6 N0040 (CONTOUR TURN END)	
/M9 /M5 /M01	Finalización de Operación
M30 % (TOTAL TIME: 0.68 sec.) (CUTTING TIME: 0.61 sec.)	Finalización de Programa

6. PROCESO DE MANUFACTURA UTILIZANDO METODOLOGIA A IMPLEMENTAR

En este capítulo se desarrollaran las pruebas necesarias para comprobar que el trabajo realizado en los capítulos anteriores haya sido exitoso.

Esto se hará basado en el flujo definido de la metodología a implementar del capítulo 2 (Figura 63).

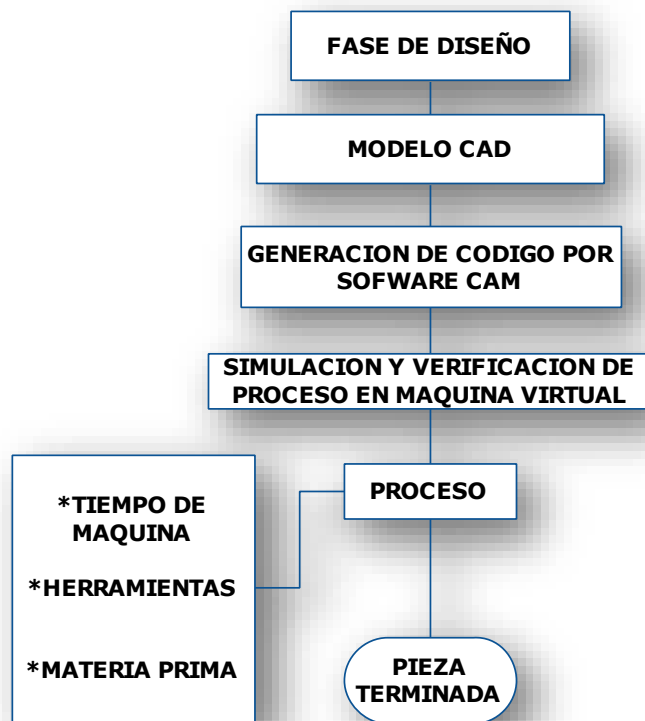


Figura 63. Flujo Definitivo

6.1. Fase de diseño y modelo CAD

La puesta a punto del proceso a implementar, requiere de la planificación del mismo.

Lo primero a desarrollar es el modelo CAD, se modela una pieza que solo requiere de dos operaciones (Refrentado y desbastado) que ponen a prueba el trabajo

desarrollado. En la Figura 64 se observa la pieza a trabajar con sus medidas generales y una visualización isométrica de la misma.

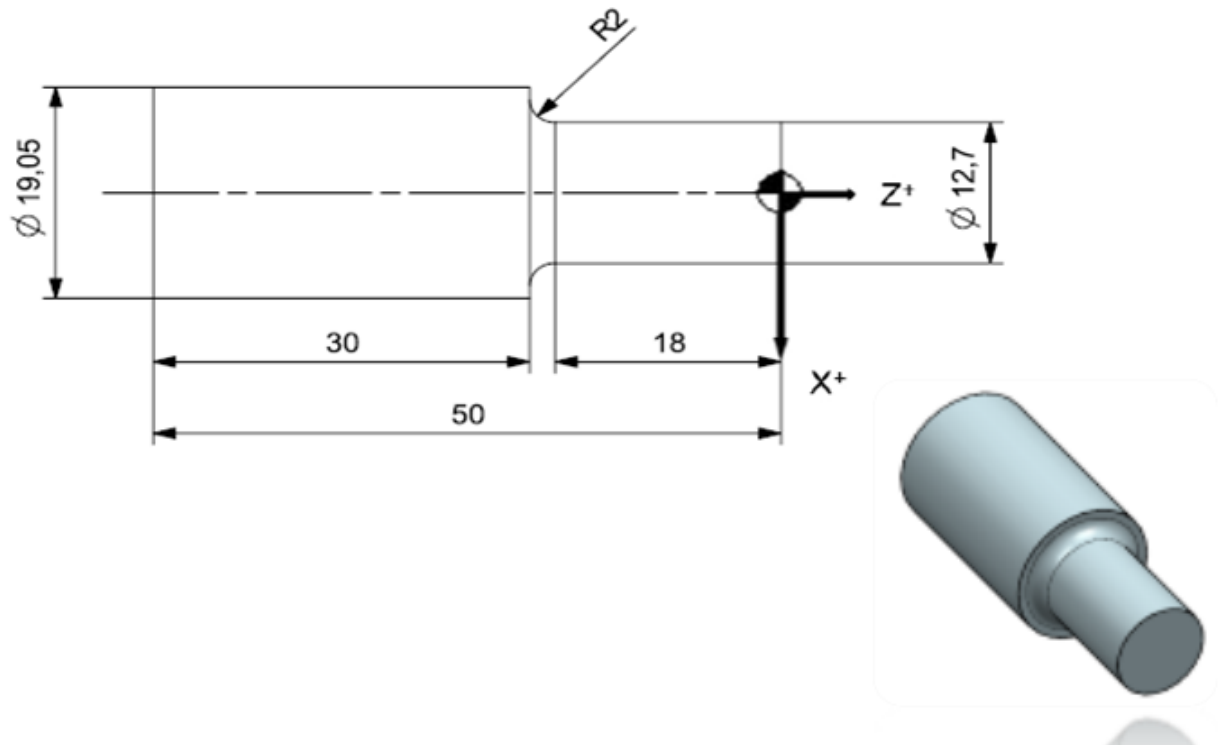


Figura 64. Medidas e Isométrico de Pieza Ejemplo

6.2. Montaje de la pieza en la máquina virtual

Desde la interfaz de dibujo nos desplazamos dentro de NX hacia la interfaz de Manufactura (Figura 65).

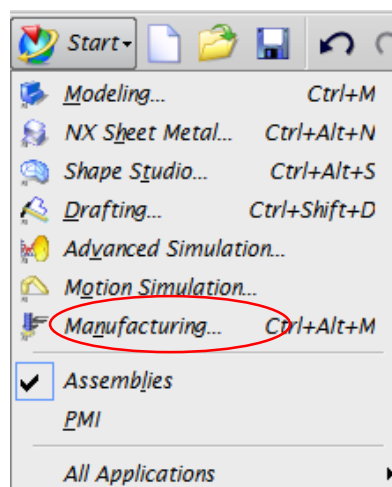


Figura 65. Interfaz de Manufactura de NX

Dentro de la interfaz de manufactura procedemos a definir el cero de la pieza, basado en este cero el programa crea las trayectorias de corte. Para definirlo se deben crear unas referencias internas dentro del software, esto con el fin de recrear el espacio real dentro de la estación de trabajo.

El cero de máquina es una de las referencias internas, esta está definida por la variable “MCS_SPINDLE” que se encuentra en la vista geométrica. Esta geometría representa el sistema coordenado principal de la máquina. En la Figura 66 se puede apreciar la configuración de la referencia interna mencionada.

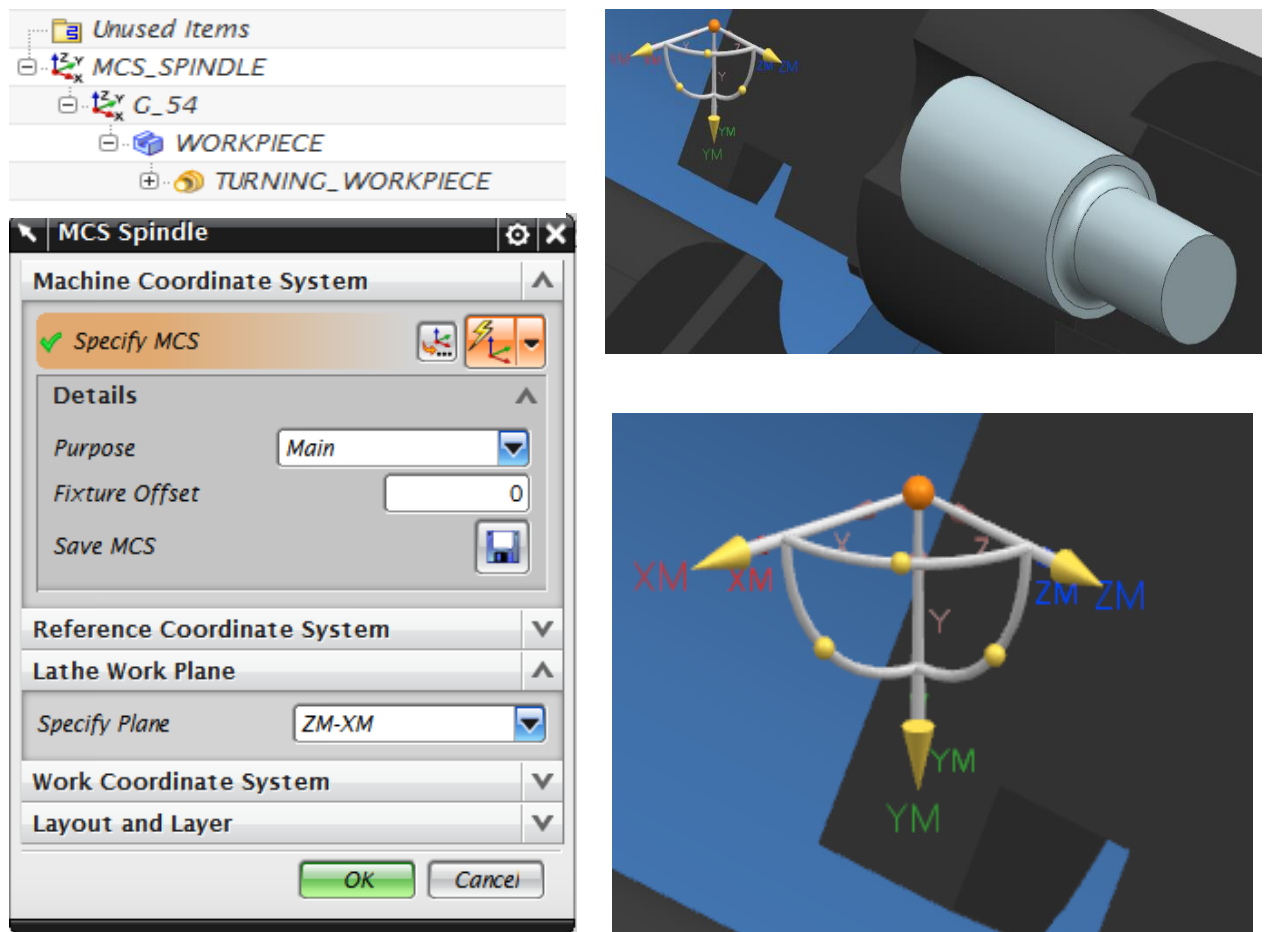


Figura 66. Cuadro diálogo propiedades del cero de máquina

A continuación y para la creación del cero de pieza se da clic en el icono de “Create Geometry” (Figura 67), seleccionamos torneado para el campo de tipo de la lista desplegable del menú de configuración, a la vez, en el subtipo, seleccionamos punto

de referencia; en la configuración de locación, le decimos que posicione esa nueva referencia dentro de “MSC_Spindle”, la geometría la nombramos G_54, para que sea reconocida como cero por la herramienta. Como se muestra en la siguiente figura.

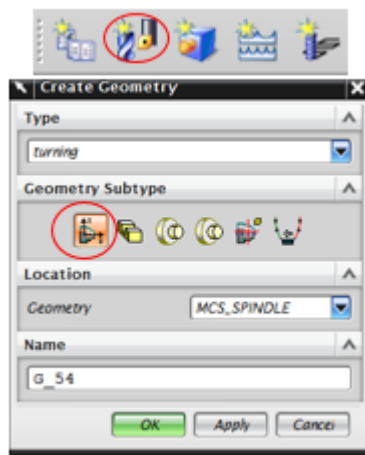


Figura 67. Creación de geometría del cero de pieza

Se debe definir el punto en el que va ubicado el cero de pieza, y las direcciones de la triaxial. Para ello se debe hacer doble clic sobre G_54 en la “Geometry view” (Figura 68).

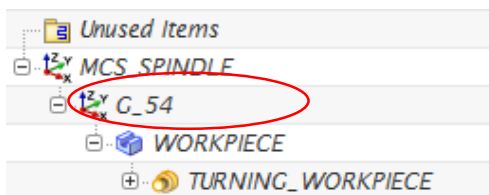


Figura 68. Cuadro diálogo propiedades del cero de pieza

En el menú de configuración de “G_54”, se da clic sobre la herramienta “Specify MCS” como se muestra en la Figura 69:

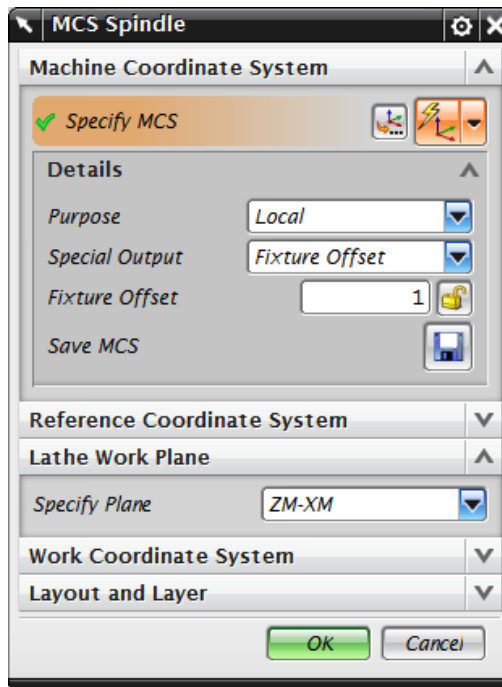


Figura 69. Especificación de Eje coordinado

Ya dentro de la configuración de la misma se designan los ejes y el punto de inicio basado en un montaje REAL como se muestra en la Figura 70.

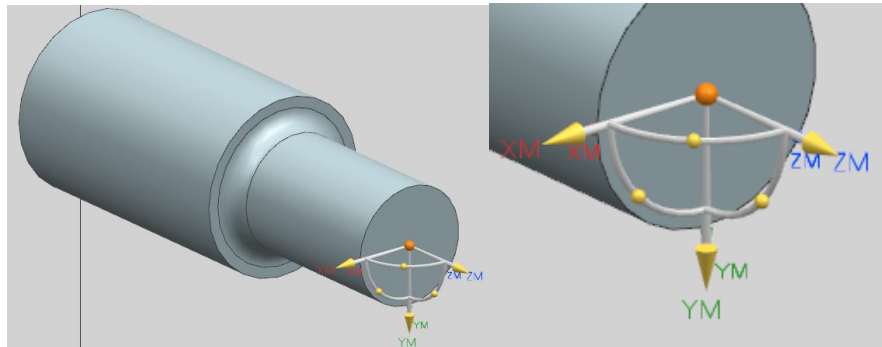


Figura 70. Sistema coordinado local. Cero de pieza. G_54. Manufactura (XM-ZM)

Al definir los ejes coordinados y el cero de pieza, se procede a fijar el material en bruto, para poder simular el maquinado de la pieza. Nuevamente en el panel “Geometry view” se da doble clic sobre “Workpiece”, en Workpiece, se define la geometría a trabajar, es decir el modelo CAD, en la Figura 71 se puede apreciar una imagen del proceso.

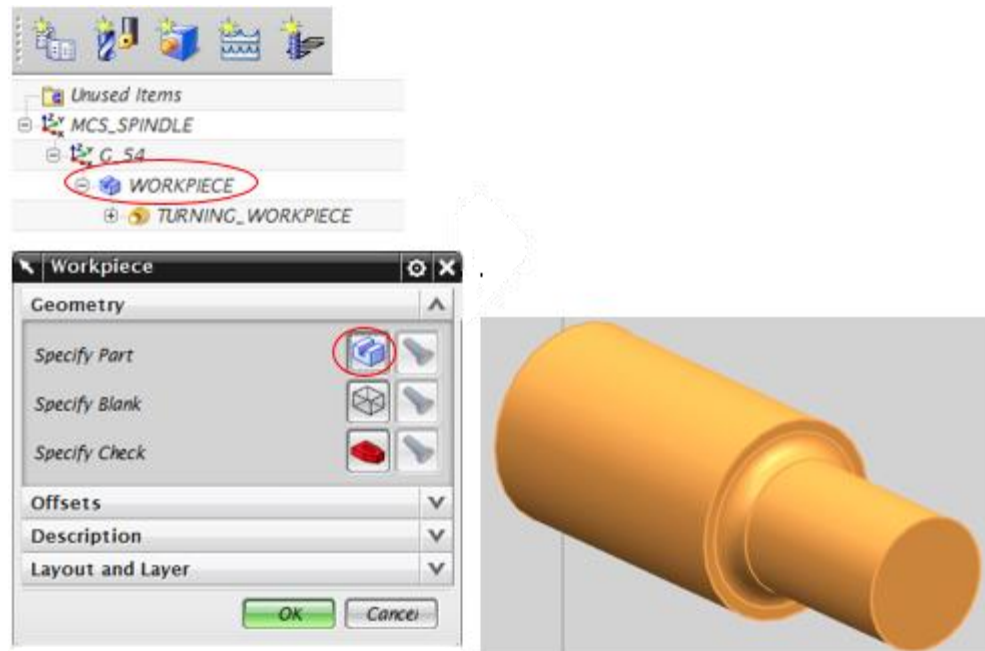


Figura 71. Cuadro diálogo propiedades del cero de pieza

Para definir las dimensiones del material en bruto, del material a maquinar, se debe ir nuevamente al panel de vista de geometrías y seleccionar “Turning Workpiece”, dentro de este menú de configuración, se da clic sobre “Specify Blank Boundaries” como se muestra en la Figura 72 para definir punto de referencia, diámetro y longitud.

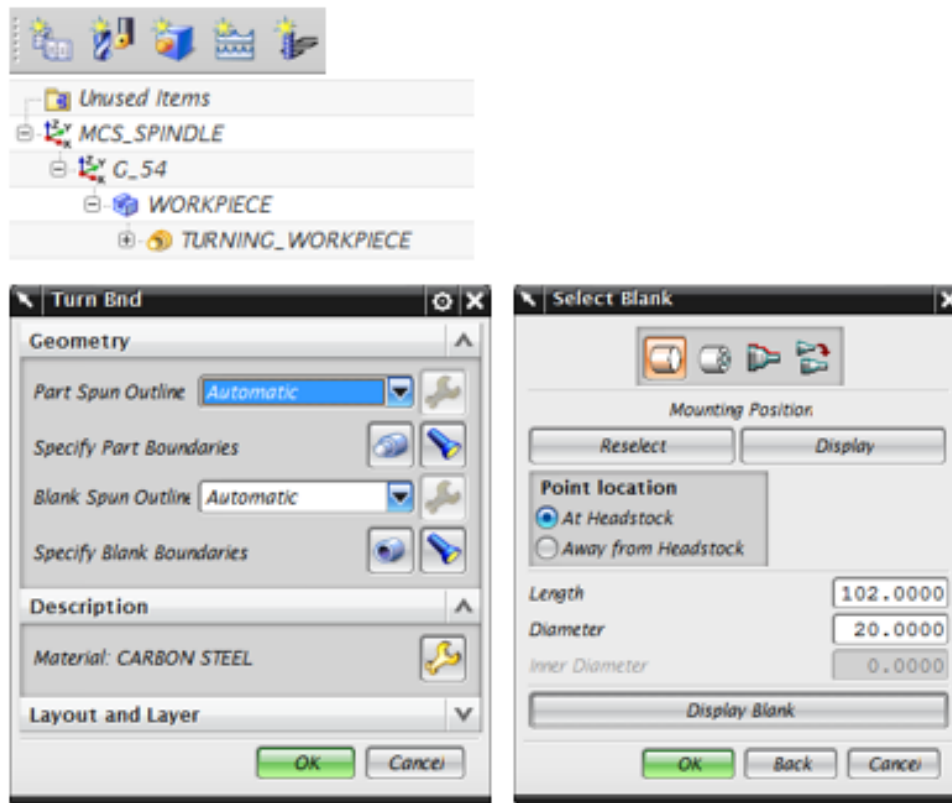


Figura 72. Cuadro diálogo propiedades del material en bruto

Al definir el material en bruto la herramienta permite la visualización del mismo mediante la línea naranja que se puede apreciar en la figura, nótese que el material sobrante tanto lineal como diametralmente, puede ser mecanizado con dos operaciones básicas ya mencionadas, Refrentado y desbaste, que serán las que se van a usar en la prueba. Al finalizar la edición del stock NX lo muestra en color azul, y sin dejar ver el modelo CAD, como se aprecia en la parte inferior de la figura 73.

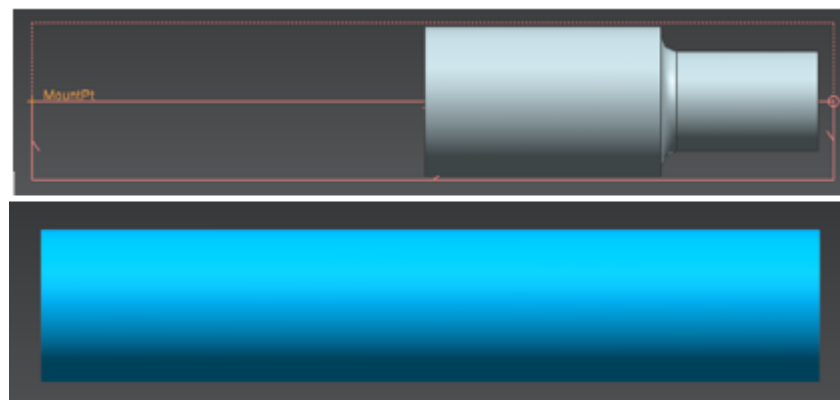


Figura 73. Material en bruto

Para hacer el montaje de la máquina virtual es necesario dirigirse al “Machine tool view” (ver icono señalado en la Figura 74). Clic en “Generic_Machine”, una vez aparece el menú de configuración se escoge la máquina de la librería dando clic en “Retrieve Machine From Library”.

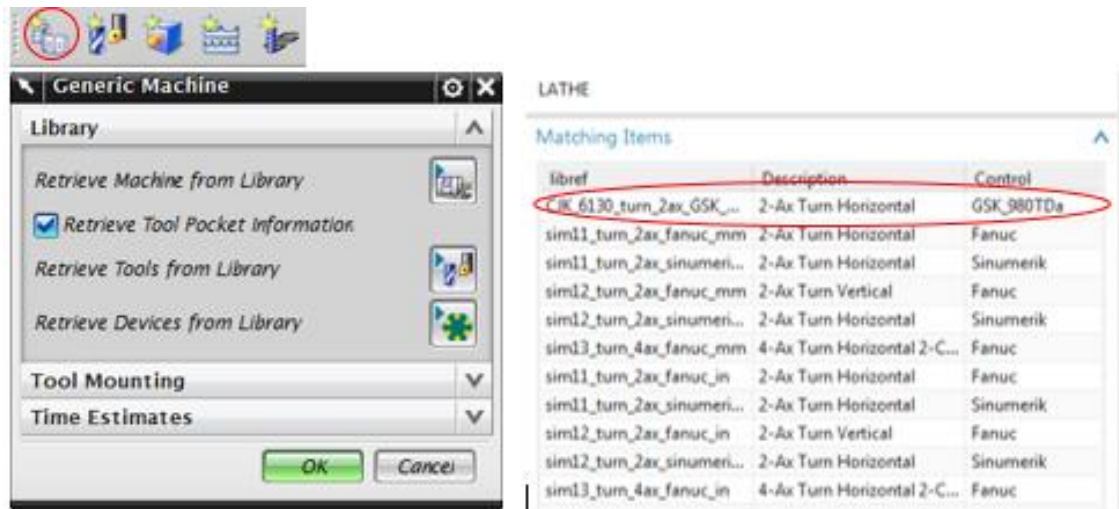


Figura 74. Llamar el torno desde la librería

Al estar definidos el cero de máquina (MCS_SPINDLE) y el cero de pieza (G_54), no es necesario ensamblar la maquina con la pieza, basta con dar clic en la opción “Orient Machine zero to main MCS” y seleccionar la parte como se muestra en la Figura 75 para hacer el montaje.

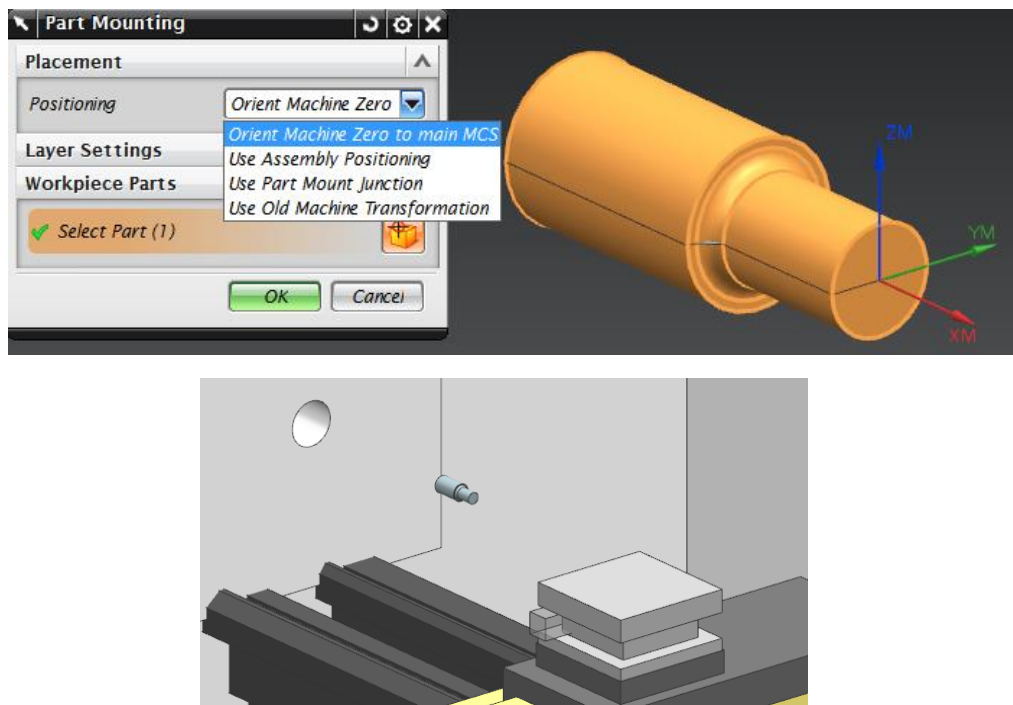


Figura 75. Montaje de Pieza en Máquina Virtual

La pieza queda posicionada en la máquina, pero para poder simular el proceso completamente, es necesario el montaje del husillo que como ya se vio en el capítulo 7 se encuentra en la librería de accesorios. Para este proceso se da clic nuevamente en “Machine Tool view”, esta vez seleccionamos “Retrieve Devices from Library” como se encuentra en la Figura 76. Al estar en la librería se escoge el “Chuck” para el simulador 21 como se observa en el lado derecho de la Figura 76. En la Figura 77 se observa el montaje final de la pieza.

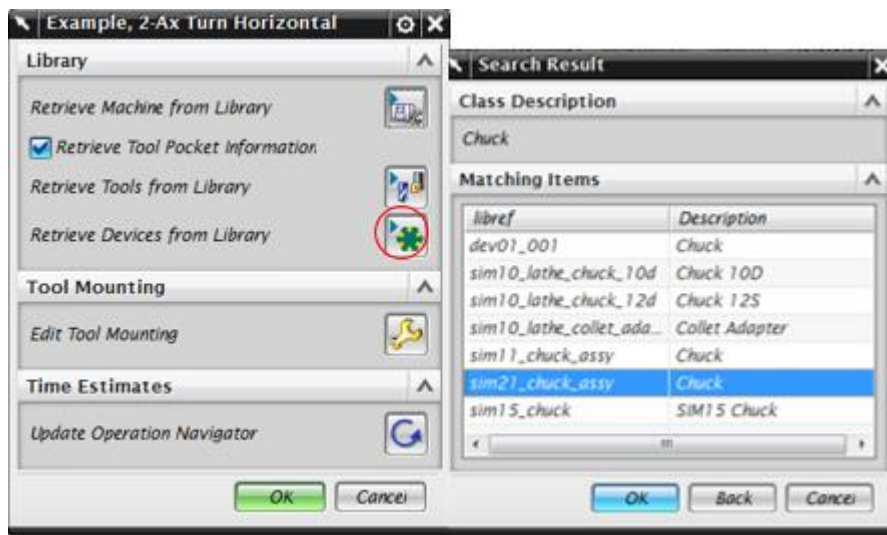


Figura 76. Llamar el husillo desde la librería

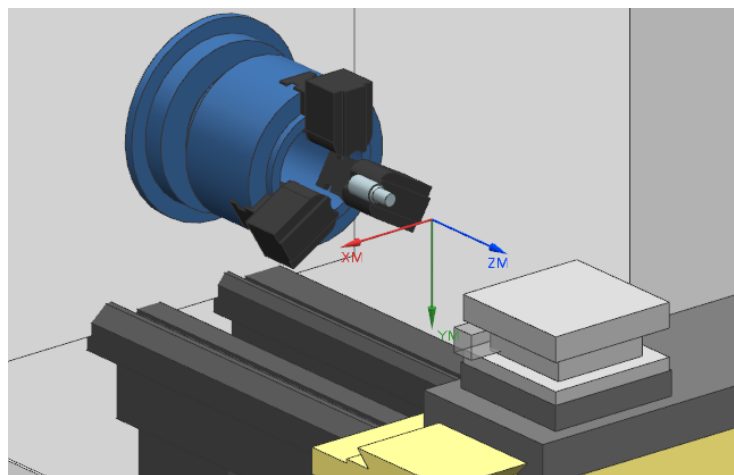


Figura 77. Posicionamiento pieza de trabajo con el husillo en el torno

6.3. Definición de herramientas y trayectorias de corte

Crear un herramienta de corte dentro de NX es un proceso sencillo, se debe dar clic sobre “Create New Tool” como se observa en la esquina superior izquierda de la Figura 78, esto activa automáticamente un menú de configuración en donde aparecen las diferentes geometrías de herramientas que se pueden utilizar para procesos de torneado, la forma seleccionada es la de la herramienta de desbaste de perfil izquierdo (el perfil depende de la geometría del torno); al seleccionar la geometría de la herramienta también se debe seleccionar el “pocket” en el que va montada, vale la pena denotar que en el capítulo 7 se definieron 4 “pockets” para este simulador.

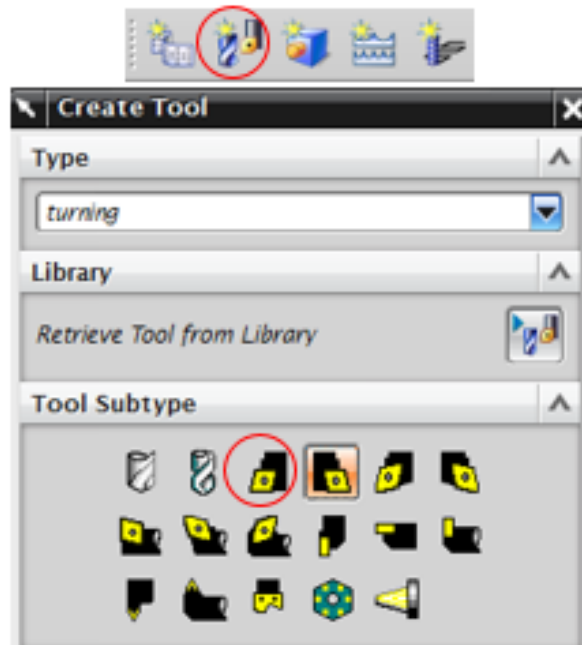


Figura 78. Cuadro diálogo creación herramientas de torneado

Al dar clic en la herramienta se abre un menú de configuración para la selección previa. En este menú se configuran, las dimensiones de la herramienta, las dimensiones del Porta Inserto y dimensiones de montaje, este menú se puede observar en la Figura 79.

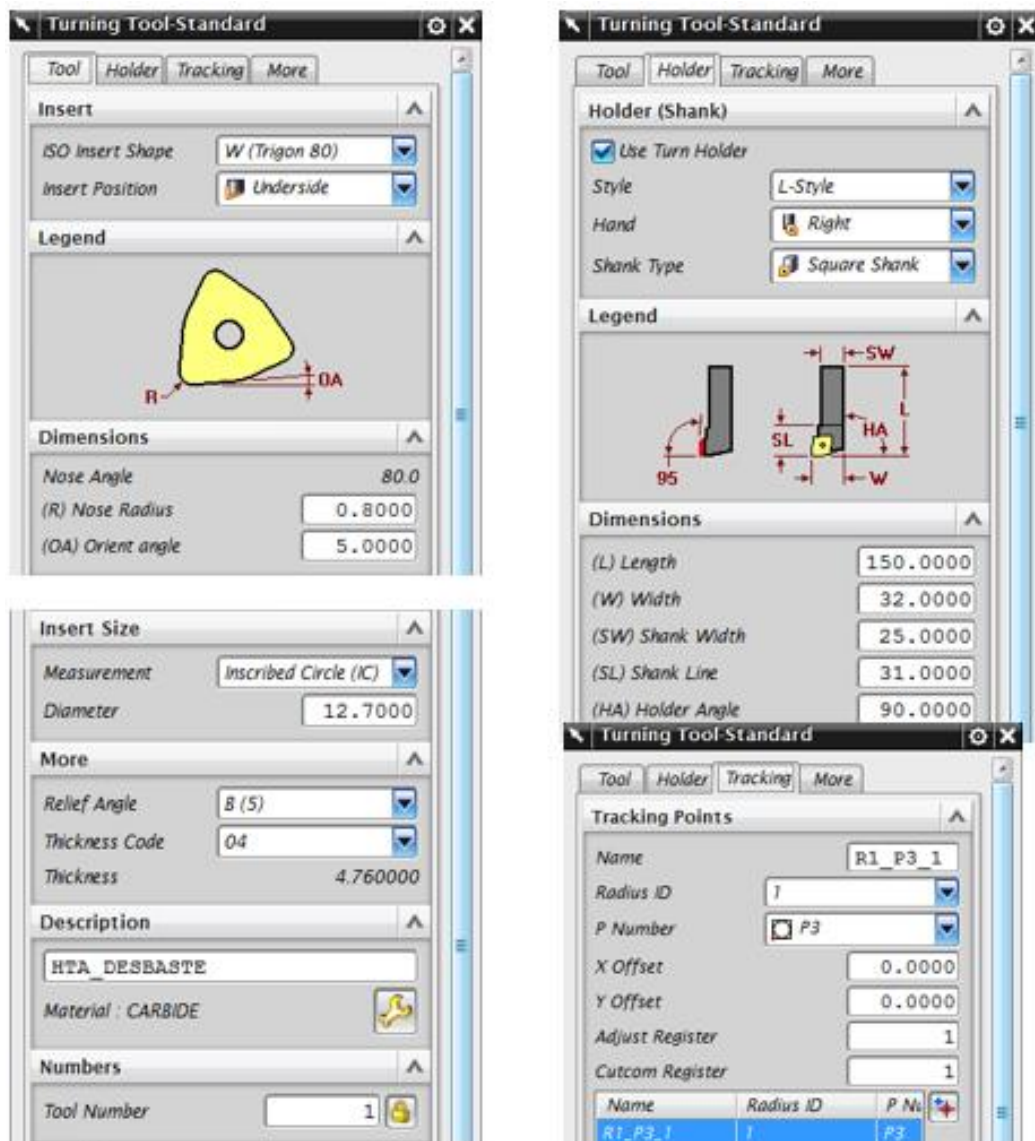


Figura 79. Cuadro diálogo creación de herramienta (cilindrado)

Al finalizar se obtiene el montaje automático de la herramienta como se ve en la Figura 80.

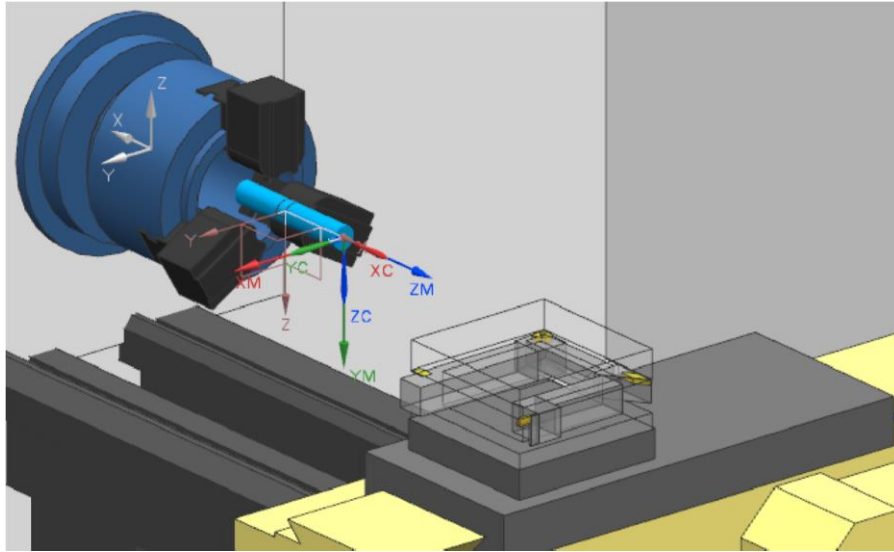


Figura 80. Montaje de Mecanizado Virtual Completo

Para la definición de las trayectorias de corte se debe ir al panel de programación, ya en el panel de programación, se da clic derecho sobre “program” y se selecciona la opción “new”, dentro del menú de configuración en la lista desplegable de operaciones, se escoge “Turning”, al darle clic a “Turning” en la parte inferior de la ventana aparecen todas las operaciones de torno posibles dentro de la herramienta como se ve en la Figura 81, se selecciona la opción señalada “facing” (Refrentado)”).

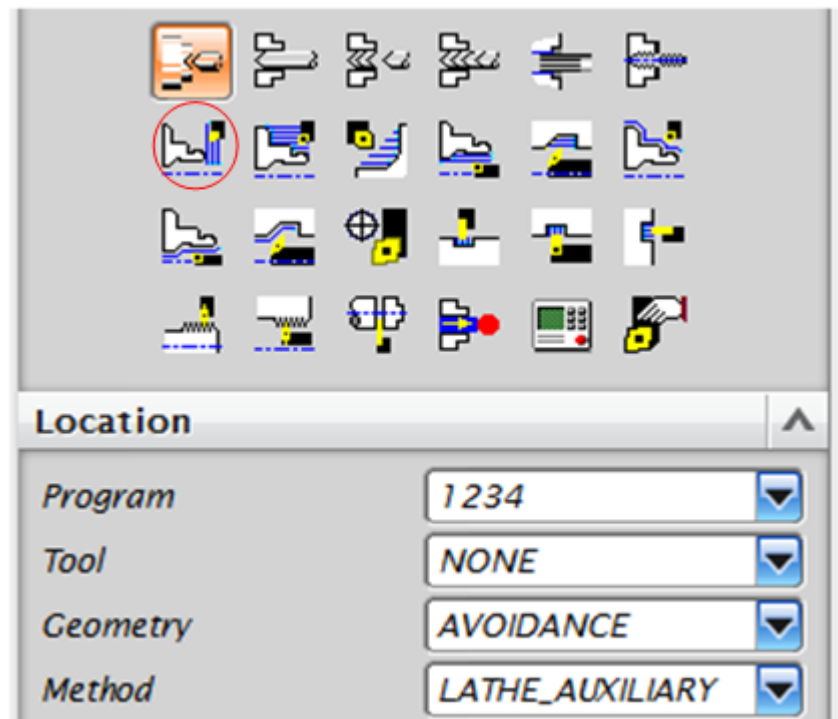


Figura 81. Proceso de Refrentado en NX

Al dar clic en OK, sobre este menú, aparece una ventana emergente con toda la configuración del programa, estrategia de mecanizado, herramienta a utilizar (se selecciona la creada anteriormente), parámetros de corte, geometría a mecanizar, etc., como se puede apreciar en la Figura 82.

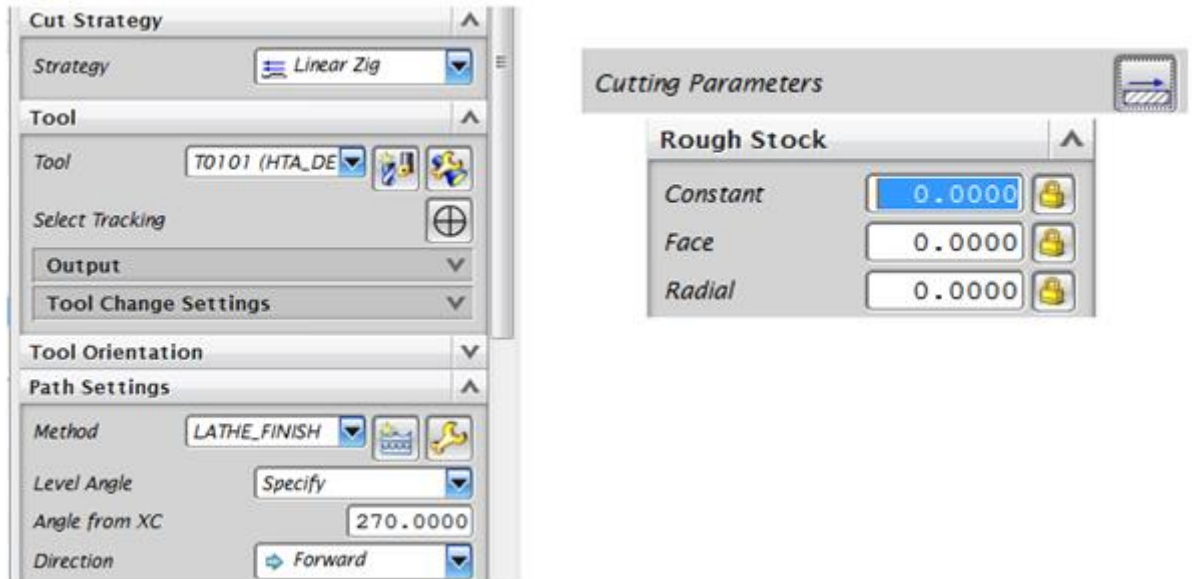


Figura 82. Parámetros de Proceso de Refrentado

Cuando se acepta la configuración de la trayectoria anterior, se procede a hacer el mismo procedimiento de generación de trayectoria para el desbaste radial, el icono a seleccionar corresponde a la herramienta “Rough” que en español significa desbaste, como se puede observar en la Figura 83, los iconos son bastante claros.

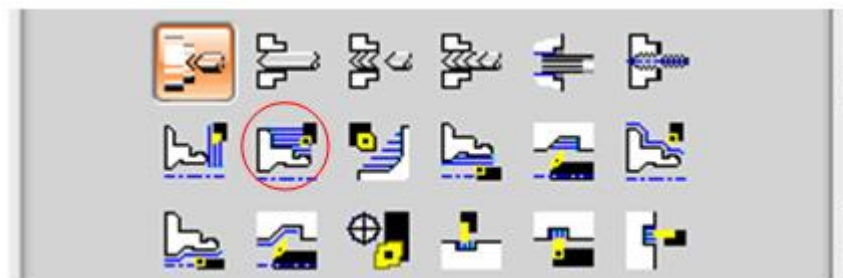


Figura 83. Ciclo de Desbaste en NX

Para la configuración de esta trayectoria se debe configurar la herramienta para que el “ToolPath” sea creado en base al ciclo de desbaste, configurado en el capítulo 10 dentro del Postprocesador para que la generación del código sea la deseada. En la Figura 84 se observa que en la opción “Motion Output” se selecciona “Machine cycle”.

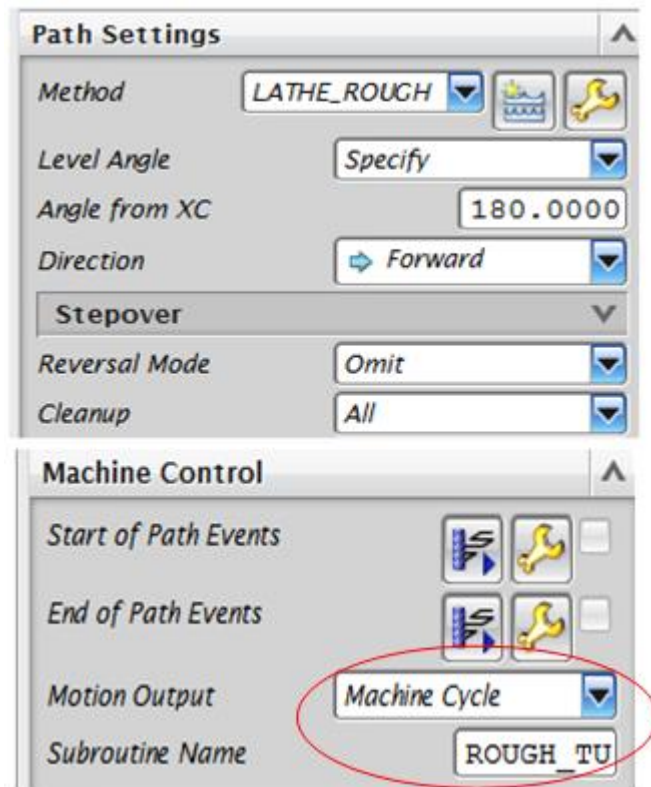


Figura 84. Parámetros de Ciclo de Desbaste

Después de dar el visto bueno a la configuración del desbaste se da clic sobre “Generate Tool Path”, el icono señalado en la parte izquierda de la figura; después de haber generado todas las trayectorias en base a lo configurado, se procede a verificar esas trayectorias dando click en “verify” (ver parte derecha de la Figura 85).



Figura 85. Verificación de ToolPath dentro de NX

En la Figura 86 se observan ambas trayectorias de corte generadas y verificadas por NX. El paso a seguir es hacer la simulación de máquina.

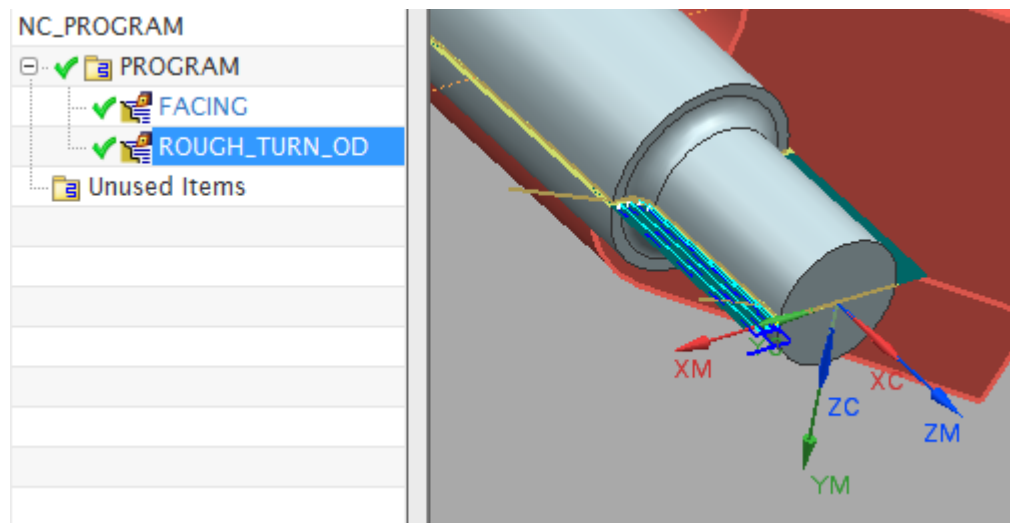


Figura 86. ToolPath Generado

En el mismo panel de programa se pueden observar los tiempos totales reales de las operaciones y del programa, como lo muestra la figura 87.

NC_PROGRAM				02:00:53	
PROGRAM				02:00:53	Tiempo De programa
FACING	✓	OD_80_L	0	01:31:43	TURNING_
ROUGH_TURN_OD	✓	OD_80_L	0	00:28:59	TURNING_
Unused Items				00:00:00	

Figura 87. Tiempos de Programa de y de Operación

6.4. Simulación y verificación (IS&V)

Se da clic derecho sobre “Program”, se escoge la opción “Simulate” y aparece el menú que aparece en la figura, dentro de esta ventana se configuran los detalles de la simulación, mostrar material en bruto, mostrar trayectorias de corte, velocidad de simulación, etc. Al dar clic sobre OK, la simulación inicia y en una ventana emergente NX muestra detalles del proceso como posiciones de los ejes, línea de código actual, tiempo de mecanizado, etc. Es muy importante resaltar que se debe seleccionar en la opción “Visualization”, “Machine code Simulation”, para que NX simule los movimientos de la máquina, basado en el código generado internamente por el Postprocesador asociado a la máquina (Figura 88).

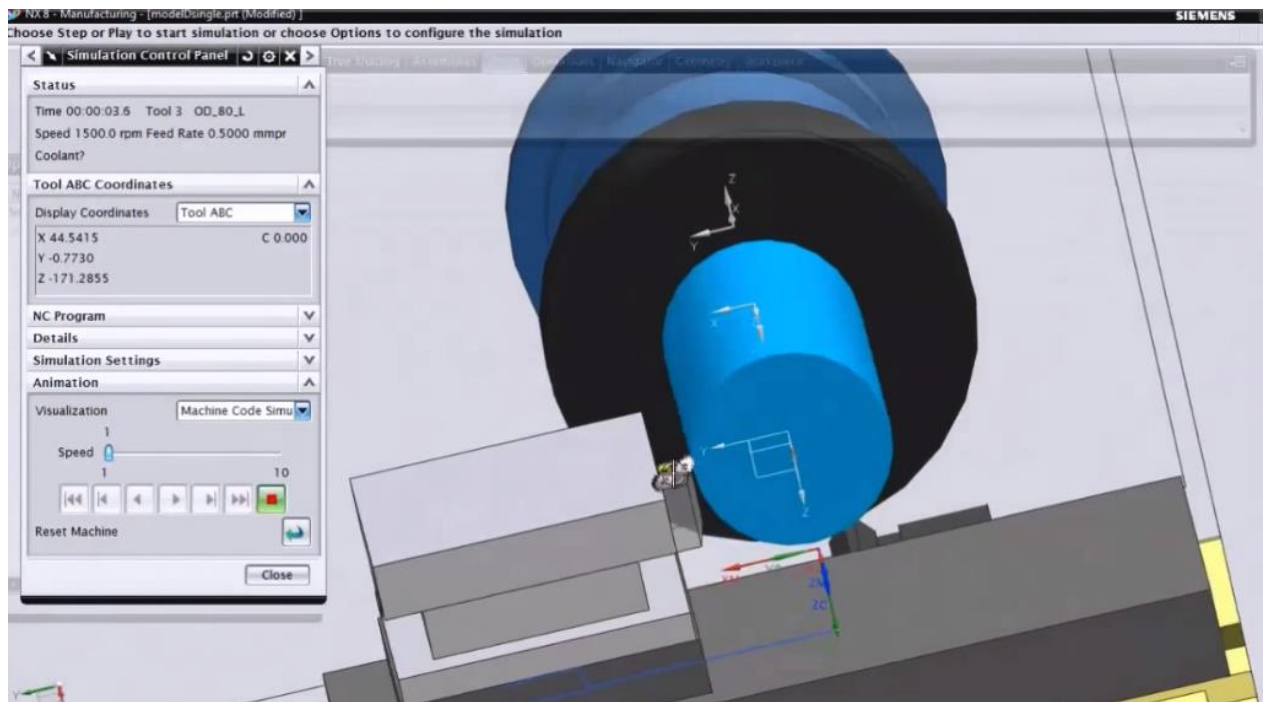


Figura 88. Simulación de Corte en Proceso

6.5. Postproceso

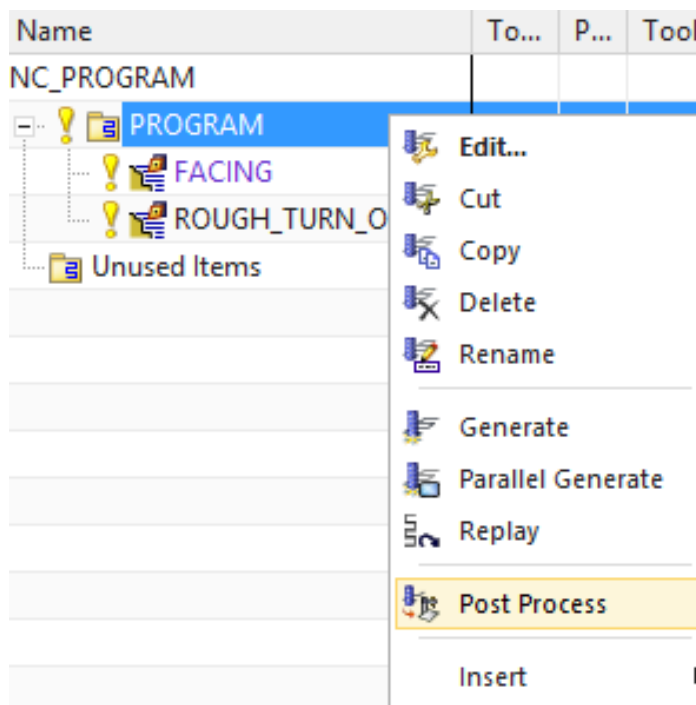


Figura 89. Generación de Código en NX

Postprocesar significa generar el código que se enviara a la máquina de las trayectorias de corte que se acaban de simular y verificar. Para generar el código se debe dar clic derecho sobre “Program” en el panel de programación y seleccionar “Post Process” como se muestra en la Figura 89.

Después de esto, se debe dar clic en el icono siguiente a “Browse for a PostProcessor”. Ya allí, NX mostrará un explorador de Windows en el cual debemos buscar el archivo Wdesarrolló (Ver Capítulo 10). En

la Figura 90 se muestra la ventana de configuración para postprocesamiento.

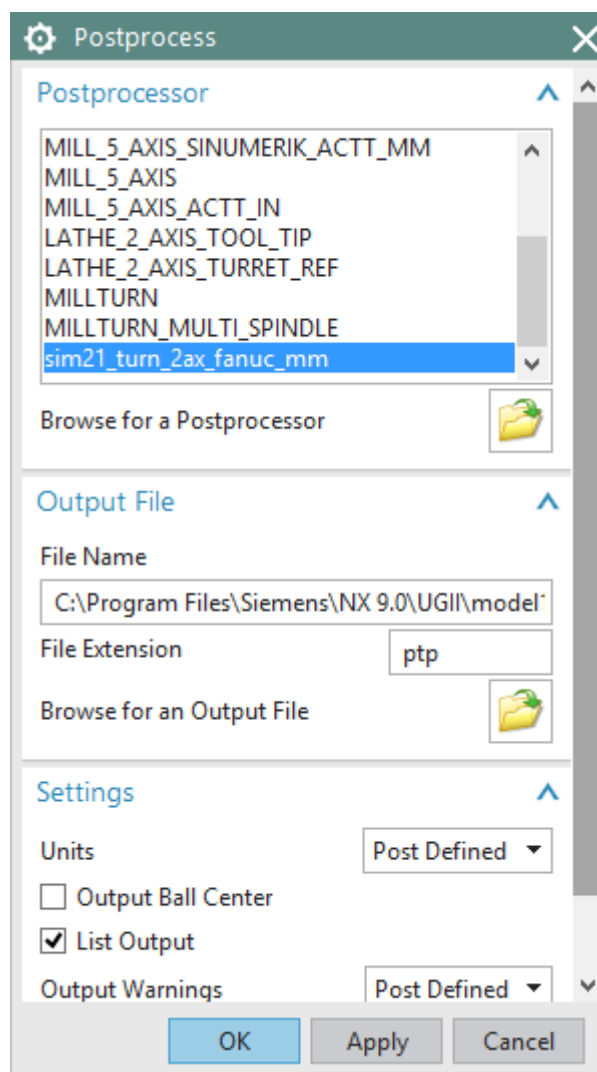
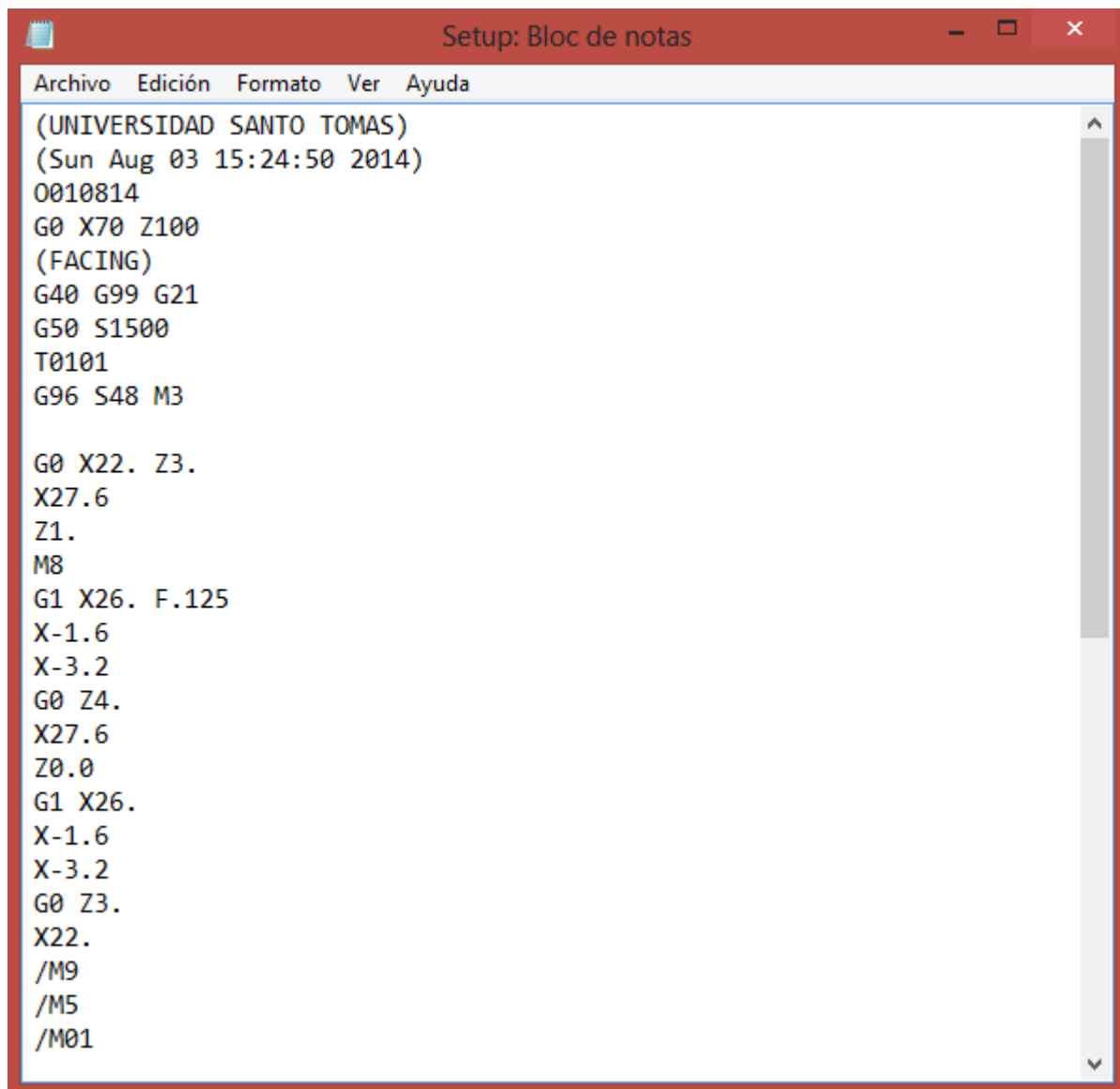


Figura 90. Selección de Postprocesador

Al darle clic en OK, después de haber configurado el menú de postproceso para que generara un archivo .txt, NX genera y muestra en una venta de notas emergente un documento de texto plano, listo para enviar a la maquina e iniciar con el proceso de mecanizado, como se observa en la Figura 91.



The image shows a screenshot of a Notepad application window titled "Setup: Bloc de notas". The window has a menu bar with the following options: Archivo, Edición, Formato, Ver, and Ayuda. The text content of the Notepad is as follows:

```
(UNIVERSIDAD SANTO TOMAS)
(Sun Aug 03 15:24:50 2014)
0010814
G0 X70 Z100
(FACING)
G40 G99 G21
G50 S1500
T0101
G96 S48 M3

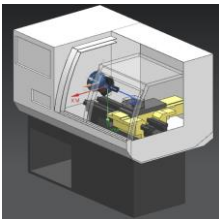
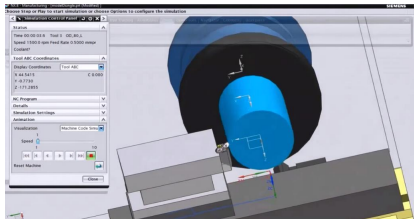
G0 X22. Z3.
X27.6
Z1.
M8
G1 X26. F.125
X-1.6
X-3.2
G0 Z4.
X27.6
Z0.0
G1 X26.
X-1.6
X-3.2
G0 Z3.
X22.
/M9
/M5
/M01
```

Figura 91. Código Generado Automáticamente, Listo para ingresar a la Máquina

6.6. Hoja de Proceso

La hoja de proceso tiene como fin brindar al operario de la maquina la información necesaria para el mecanizado. La hoja de proceso fue generada por NX, después de esto se incluyeron las primeras cuatro actividades.

Tabla 8. Hoja de Proceso de Metodología a Implementar

Nombre:	Pieza Ejemplo	Dibujo:	Pieza Ejemplo					
Material:	Acero 1020	Numero:	N/A					
Maquina:	GSK 6130	Codigo:	Codigo IS&V					
								
Actividad	Nombre de la Operacion	Nombre de la Htta	Numero de la Htta	Profundidad Maxima (mm)	Revoluciones Maximas (RPM)	Velocidad de Corte (m/min)	Avance por revolucion (mm/rev)	Tiempo (Min)
1	Revision Modelo CAD	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1
2	Gereneracion ToolPath	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	3
3	Ingreso Codigo	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	1
4	Montaje De pieza	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4
5	FACING	T0101	01	1	1500	48	0.125	0.27
6	ROUGH_TURN_OD_1	T0101	01	1	1500	60	0.125	0.86
							TOT	10.13

En la Tabla 8 se puede observar que el tiempo total del proceso fue de 10.13 Minutos, incluyendo montaje de pieza e ingreso de código, el tiempo total de corte fue de 1.13 minutos.

6.7. Mecanizado de pieza

No fue posible realizar las pruebas en los talleres de la Universidad Santo Tomas Sede Bogotá. Estas se realizaron en las instalaciones de TASERVIN CIA S en C, empresa que cuenta con un torno CJK_6130 con control GSK980TDa, igual al ubicado en las instalaciones de la institución educativa.

Se Cortó el material en bruto, una pieza de 19.05cm de diámetro con 80cm de largo. Los operarios de Taservin hicieron el montaje de la misma, ellos mismos configuraron el cero de pieza para la prueba real. El código generado fue entregado en un archivo .txt a las oficinas de Taservin, código revisado por el jefe de planta e ingresado SIN modificaciones a la maquina real mediante USB (el torno de Taservin cuenta con esta adaptación tecnológica debido a programas). En la Figura 92 se observa el código.



Figura 92. Código Ingresado a la máquina real por USB

Después, el operario dio inicio al mecanizado. En la Figura 93 se puede observar la pieza mecanizada dentro de la máquina. También en este link de YouTube se puede observar en video el mecanizado mencionado; Jose Luis Baquero Rivera, 2015. TURNING MACHINING AFTER POSTPROCESSING FROM IS&V SYSTEM, Recuperado de <https://www.youtube.com/watch?v=aQ4Cd5GxND0>.

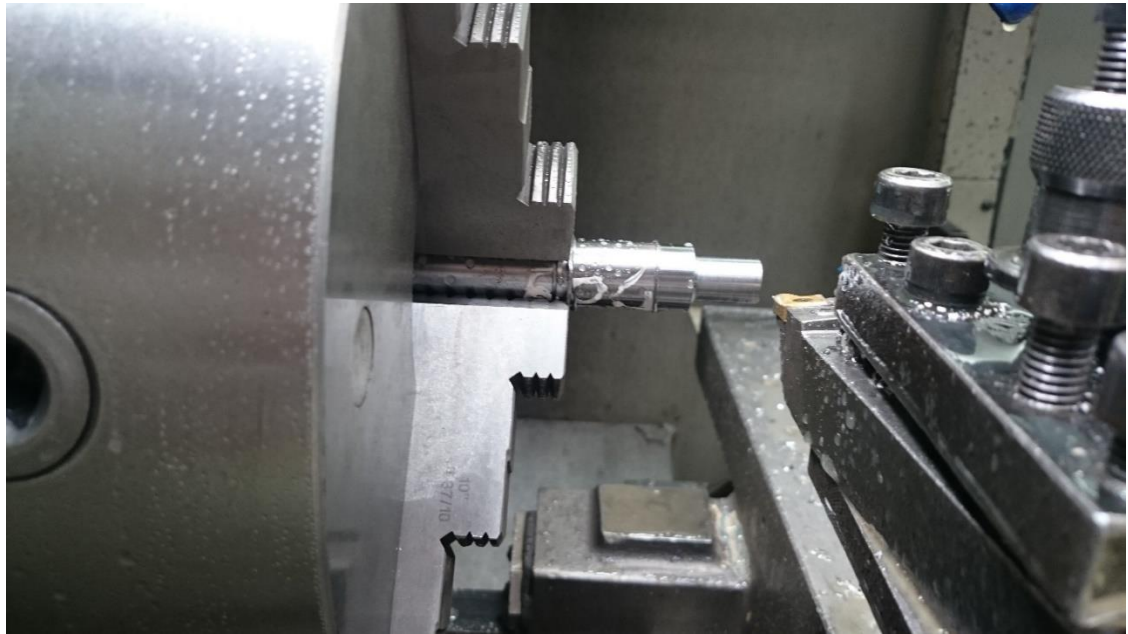


Figura 93. Pieza Ejemplo Mecanizada

En la Figura 94 se pueden observar algunas medidas de la pieza mecanizada en el torno siguiendo el código generado por el sistema IS&V de la metodología a implementar.



Figura 94. Medidas de Pieza Ejemplo Mecanizada

6.8. Máquina virtual

La universidad ya cuenta con una máquina virtual en la que se pueden verificar los códigos creados a mano por los estudiantes. NX permite usar la máquina virtual como simulador de códigos ingresados, mostrando alertas de choques y códigos mal ingresados. En el siguiente video de YouTube se puede apreciar la máquina virtual en funcionamiento; Jose Luis Baquero Rivera, 2013. MACHINE CODE SIMULATION OF A TURNING PROCESS IN A CJK_6130 LATHE - NX, Recuperado de https://www.youtube.com/watch?v=FarP_Z47fjE.

6.9. Postprocesador

La Universidad ya cuenta con el Postprocesador para el Torno CJK6130 con control GSK980TDa (Único capaz de generar ciclos de mecanizado).

Los trabajos realizados por los estudiantes podrán adoptar la metodología a implementar, incrementando el nivel y la visión de los futuros Ingenieros Mecánicos Tomasinos en el área de manufactura metalmecánica; en ambas áreas, mecanizados complejos y mecanizados en producción.

7. COMPARACION DE TIEMPOS DE PROCESO (Metodología Tradicional vs. Metodología Implementada)

Para hacer la comparación efectiva de ambas metodologías, se comparan los tiempos de todo el proceso y los tiempos de corte neto (corte efectivo o en vacío). En el capítulo 6 se observó que el proceso de manufactura basado en la metodología a implementar, tiene una duración de 10.13 minutos, y que el tiempo de corte neto fue de 1.13 minutos.

En la Tabla 9 se describen las actividades (con tiempos) del proceso utilizando la metodología tradicional. De aquí se tiene que la duración total del proceso es de 40 minutos desde la entrega del plano de manufactura a planta, y que el tiempo de corte neto es de 4 minutos incluyendo la prueba en vacío.

Tabla 9. Hoja de Proceso de Metodología Tradicional

Nombre:	Pieza Ejemplo	Dibujo:	Pieza Ejemplo					
Material:	Acero 1020	Numero:	N/A					
Maquina:	GSK 6130	Codigo:	Codigo Manual					
								
Actividad	Nombre de la Operacion	Nombre de la Htta	Numero de la Htta	Profundidad Maxima (mm)	Revoluciones Maximas (RPM)	Velocidad de Corte (m/min)	Avance por revolucion (mm/rev)	Tiempo (Min)
1	Interpretacion de Plano	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	2
2	Redaccion Codigo	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	15
3	Ingreso Codigo	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	15
4	Prueba en Vacio	T0101	1	1	1500	48	0.125	2
5	Montaje de Pieza	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	N/A	4
6	Mecanizado	T0101	1	1	1500	48	0.125	2
							TOT	40

De los datos extraídos de las Tablas 8 y 9, se concluye el logro de un incremento en la eficiencia del proceso del 75% y de un aumento del 72% en la disponibilidad de máquina.

8. CONCLUSIONES

El modelo virtual creado servirá para comprobaciones de códigos manuales hechos por los estudiantes de Ingeniería Mecánica de la universidad Santo Tomas, sede Bogotá; también será utilizado para hacer programaciones de solidos de revolución complejos que conlleven un problema en la programación manual. Es también necesario contar con un equipo de entrenamiento virtual para capacitación de usuario de máquina, ya que debido a los entrenamientos se pierde disponibilidad de máquina, siendo la capacitación un costo adicional; las máquinas virtuales aumentaran la disponibilidad de las reales.

La Universidad ya cuenta con el Postprocesador para el Torno CJK6130 con control GSK980TDa (capaz de generar ciclos de mecanizado). Los trabajos realizados por los estudiantes podrán adoptar la metodología implementada, incrementando el nivel y la visión de los futuros Ingenieros Mecánicos Tomasinos en el área de manufactura metalmecánica; en ambas áreas, mecanizados complejos y mecanizados en producción.

Se logró planificar y ejecutar un proceso de manufactura basado en la metodología implementada, permitiendo así la comparación de tiempos de manufactura y tiempos de corte entre esta y la metodología tradicional.

Se disminuyen tiempos muertos en pruebas en vacío del programa, capacitación de operarios y verificaciones manuales. La metodología implementada es un 75% mas eficiente en comparación a la metodología tradicional. La red de tiempos muertos disminuirá, gracias a las planificaciones y verificaciones previas hechas por el software.

9. RECOMENDACIONES

Este proyecto se desarrolló mediante software de alto nivel (High-end), estas herramientas brindan a las industrias la capacidad de integrar todo su flujo de trabajo bajo un ciclo de vida de producto, involucrando herramientas CAD/CAM/CAE. En Colombia pocas son las industrias que se preocupan por innovar y ser más competitivas. Implementando herramientas de este tipo, la competitividad de las empresas del sector metalmecánico colombiano, aumentará, haciendo más eficaz la planificación de los procesos, reduciendo costos de manufactura y elevando la producción.

Este proyecto podrá ser tomado como base para simular y verificar procesos de torneado en tornos tipo suizo y en tornos fresadores, especiales para la fabricación de piezas médicas en el país. Se busca evolucionar en el uso de las herramientas CAD/CAM logrando implementar cadenas de planificación **CAD/CAM/CNC** [15], que permitan un mejoramiento pleno de los procesos de mecanizado en máquinas de control numérico.

Fruto de este trabajo se ha logrado implementar en empresas como INDUMIL, que hoy por hoy cuenta con uno de los pocos centros de mecanizado de 5 ejes Simultáneos en el país, equipado con Simulador IS&V y Postprocesador personalizado mediante herramientas OpenMind, a través de Ingeniería Asistida por Computador. Otro ejemplo claro de que en el país ya se está adoptando la metodología planteada en este documento es TASERVIN, empresa que no posee ninguna herramienta tecnológica capaz de seguirla, pero a la cual la empresa MAIR presta sus servicios, servicios enfocados en integrar nuevas tecnologías, mediante conocimiento y estudio de la industria local y global; MAIR entrega a TASERVIN códigos listos para correr en su centro de mecanizado de 4 Ejes, generados a través de la metodología propuesta.

BIBLIOGRAFIA

- [1] T. Moriwaki. *Manufacturing Technology*. CIRP Annals 57. Pág., 736–749. 2008
- [2] Pablo Etter. *Una lección que debemos aprender de los tigres asiáticos*. Periódico infotech- octubre2012.
- [3] José María Lasheras. *Tecnología mecánica y metrotecnica*. Octavio y félez. 1996
- [4] McIntosh DG. *Success Stories of 5-axis Machining in North America. Proceedings of the 12th International Conference on Machine Tool Engineers*, Pag. 157–166. 2006
- [5] Jovane F, Koren Y, Boer CR. *Present and Future of Flexible Automation: Towards New Paradigm*. CIRP Annals 52. Pág. 543–560. 2003
- [6] Kakino Y, Ihara Y, Nakatsu Y, Okamura K. *The Measurement of Motion Errors of NC Machine Tools and Diagnosis of their Origins by Using Telescoping Magnetic Ball Bar Method*. CIRP Annals 36. Pág. 377–380. 1987
- [7] Kawai T, Ebihara K, Takeuchi Y. *Improvement of Machining Accuracy of 5-axis Control Ultraprecision Machining by Means of Laminarization and Mirror Surface Finishing*. CIRP Annals 54. Pág. 329–332. 2005
- [8] B. Lauders, J. Kruth, P. Dejonghe, R. Vreys. *Efficient NC-Programming of Multi-Axes Milling Machines through the Integration of Tool Path Generation and NC-simulation*. 2000
- [9] Takeuchi Y., Watanabe. *Generation of 5-Axis Control Collision-Free Tool Path and postprocessing for NC-Data*. CIRP Annals 41 Pag. 539-542.
- [10] Enciclopedia de ciencia y técnica. Salvat editores. 1982
- [11] Geovanny Gómez Aguirre. Guías prácticas para la implementación de procesos de torneado, en el torno biaxial cjk_6130 con un control gsk_980tda, utilizando una herramienta avanzada de planificación is&v (integrated simulation and verification) del software Siemens nx8.0. Pag. 16.}

- [12] GSK980TDa CNC Turning Controller User Manual. Turning Machine CNC System. GSK CNC Equipment CO. LTD. China.
- [13] Suk-Hwan Suh, Dae-Hyuck Chung, Byeong-Eon Lee, Seungjun Shin, Injunhoi, Kwang-Myung Kim. *STEP-compliant CNC system for turning: Data model, Architecture, and Implementation*. Computer-Aided design 38 Pag. 677-688. 2006
- [14] *Documentation about working with the Mach Simulation content*. Siemens. 2011
- [15] Hatamura Y, Nakao M, Sato T. *Construction of an Integrated Manufacturing System for 3-D Micro Structure—Concept, Design and Realization*. CIRP Annals 46. Pág, 313–318. 1997
- [16] *Turning manufacturing process*. UGS corp. 2006
- [17] *NX documentation*. Siemens. 2011
- [18] Daniel Andrés Ramírez Rodríguez, Luis Carlos Sandoval Rodríguez. *Aplicación industrial y experimental del software Unigraphics en procesos CAM*. 2004
- [19] ANDI. *Colombia: Balance 2012 y perspectivas 2013*. <http://www.larepublica.co/sites/default/files/larepublica/andi.pdf>. Diciembre 2012
- [20] Kanxin Machine Manufacturing & Co. Ltda, Catalogo de máquinas herramientas en stock. <http://www.vhkc-cnc.com/en/open.asp?product=4911&sort=1099>

ANEXO A

产品特点:
Product trait

- 1、采用凯恩帝或广数系统及混合式步进或伺服电机;
- 2、半封闭式防护;
- 3、床身导轨及拖板采用超音频淬火,耐磨性好、使用寿命长;
整体铸件工作台经人工时效处理,长期使用可靠;
- 4、精密滚珠丝杆副传动;
- 5、弹性夹头与三爪卡盘可选;
- 6、直排刀架与电动刀架可互换亦可双配置;
- 7、集中式润滑;
- 8、变频无级调速或双速电机。

适用范围:
Fit range

- 1、具有车削圆柱面、圆锥面、圆弧面、端面、切槽、钻绞孔的加工及各种螺纹等功能;
- 2、适用于汽摩配、阀门、电动工具、五金仪表等行业的使用,可进行各种金属以及非金属的加工。

型号: CJK-6130

工作范围 WORK RANGE	导轨上最大回转直径 Max.swing over bed		Φ360mm		
	中拖板上最大回转直径 Max.swing over turret		Φ150mm		
	最大棒料直径 Max.bar capacity		Φ50mm		
	最大切削长度 Max.machining length		300mm		
	螺纹加工范围 Thread pich		双速电机 Tow-speed electric motor	无级变速 Infinitric variable speeds	
公制 (Metric)		0.25-4mm	0.25-15mm		
英制 (Inch)		33.5~6牙/英寸 Teeth/Inch	33.5~2牙/英寸 Teeth/Inch		
行程 TRAVEL	最大行程 Max.Travel	X向 (X-axis)	220mm		
		Z向 (Z-axis)	500mm		
进给 FEED	最大移动速度 Max.move speed	X向 (X-axis)	步进电机 Repeating motor	伺服电机 Actuating motor	
		Z向 (Z-axis)	4000mm/min	5000mm/min	
			6000mm/min	10000mm/min	
	最小设定单位 Min.set unit	X向 (X-axis)	0.001mm		
		Z向 (Z-axis)	0.001mm		
主 轴 SPINDLE	主轴转速 Spindle speed range	无级 (Stepless)	≤2500r/min		
		双速 (Tow-speed)	960/1400r/min		
	通孔直径 Thru-hole diameter		Φ52mm		
	中心高 Center height		180mm		
	内孔锥度 Inside taper		40°		
	主电机 Main motor	功率 (Power)	无级 (Stepless)	4kw	
			双速 (Tow-speed)	2.2/2.8kw	
		转速 (Speed)	无级 (Stepless)	1440r/min	
			双速 (Tow-speed)	960/1440r/min	
尾 座	顶尖套锥度 Inside teper of center sleeve		莫氏4号 Morse tape No.4		
	顶尖最大行程 Max.travel of center sleeve		100mm		
	顶尖左右行程 L\R teper of center sleeve		±5mm		
	刀架 TURRET	电动刀架 Electric tool post		四工位	
刀杆尺寸 Tool pole dimensions		20×20mm			
一般规格 GENERAL	机床净重 Net weight		1550kg		
	机床外形尺寸(长×宽×高) Overall dimension(L×W×H)		1650mm×1120mm×1550mm		

Extraído de [19]