

ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL

FACULTAD DE INGENIERÍA MECÁNICA

DISEÑO E IMPLEMENACIÓN DE UN POST-PROCESADOR GENERADOR DE CÓDIGOS G PARA UN TORNO CNC ROMI C 420

PROYECTO PREVIO A LA OBTENCIÓN DEL TÍTULO DE INGENIERO MECÁNICO

MAYRA TATIANA ANDRANGO CORREA
tatiana_andrango@outlook.com

Director: Ing. César Ricardo Ayabaca Sarria, MBA
cesar.ayabaca@epn.edu.ec

Co Director: Ing. Javier Gonzalo Valverde Bastidas
javier.valverde@epn.edu.ec

2016

DECLARACION

Yo, Mayra Tatiana Andrango Correa, declaro que el trabajo aquí descrito es de mi autoría; que no ha sido previamente presentado para ningún grado o calificación profesional; y, que he consultado las referencias que se incluyen en este documento.

La Escuela Politécnica Nacional puede hacer uso de los derechos correspondientes a este trabajo, según lo establecido por la Ley de Propiedad Intelectual, por su Reglamento y por la normativa institucional vigente.

Mayra Tatiana Andrango Correa

CERTIFICACIÓN

Certifico que el presente trabajo fue desarrollado por la señorita Mayra Tatiana Andrango Correa, bajo nuestra supervisión.

Ing. César Ricardo Ayabaca Sarria, MBA

DIRECTOR DEL PROYECTO

Ing. Javier Gonzalo Valverde Bastidas

CO-DIRECTOR DEL PROYECTO

AGRADECIMIENTOS

A Dios porque: “Aunque ande en valles de sombra de muerte, no temeré mal alguno, porque tú estarás conmigo” (Salmo 23:4)

A mi mami Gladys Correa por enseñarme a ser fuerte y jamás rendirme, a que un resbalón no es una caída y entregarme su comprensión.

A mi papi Jorge Andrango por su apoyo constante y amor incondicional sobre todas las cosas y ser la niña de sus ojos.

A mi hermano Byron Andrango por ser mi pilar de esfuerzo y mentor, por darme la lección de que: “aun cuando un ejército me asedie, no temerá mi corazón; aun cuando una guerra estalle contra mí, yo mantendré la confianza” (Salmo 27:3).

A mi hermano Jorge Luis Andrango por ser mi pilar de alegría, consejero, por apoyarme y enseñarme a ver el lado bueno de las adversidades.

A mi hermana Lizeth Andrango por ser mi pilar de amor, amiga y fortaleza, ser mi prueba de paciencia, estar a mi lado cuando más lo necesite y darme un motivo para continuar.

A mi familia que creyó en mí desde el momento que emprendí esta aventura y en especial a mis tíos Vicente Correa y Mary Moreira que estuvieron ahí cuidándome, amaneciéndome y brindándome una mano en momentos difíciles.

Al MSc. César Ayabaca por su colaboración en la realización de este proyecto que empezó como una idea hasta llegar a su culminación con éxito y apoyarme.

Al Ing. Javier Valverde por ser más que un guía para realizar las pruebas de mecanizado, por brindarme su valiosa amistad, consejos y alegría.

A mis amigos del pre politécnico: Mauricio, Valeria, Jairo, Giru, Pablo, Mony, Sofía, Cornelia; del colegio: Janneth, Anita, Fernanda; Gaby; de carrera: David, Henry, Alexis, Juanitos, Marjorie, Robinson, Miguel, Cristian, Luis, Pablo, Andrea, Patricio, Geovany, Edison, Silvia, y demás amigos con los que compartimos grandes momentos y alegrías en cada etapa de mi vida estudiantil.

DEDICATORIA

Dedico este logro a Dios por darme la vida y haberme bendecido infinitamente día a día con su gran amor.

A mi familia en especial a mis padres Jorge y Gladys por su apoyo incondicional, a mis hermanos Byron, Jorge y Lizeth que han sido mi ejemplo para seguir adelante, porque siempre han estado a mi lado aconsejándome, siendo mi fuente de alegría en los momentos difíciles, compartir tantas travesuras, peleas, lágrimas y sobre todo por brindarme su amor y comprensión para cumplir con esta meta.

A mis amigos que estuvieron ahí con sus bromas, enseñanzas y apoyo en pruebas, deberes y por su valiosa amistad.

ÍNDICE DE CONTENIDO

CAPÍTULO I	1
POST-PROCESADORES PARA TORNOS CNC	1
1.1 Introducción	1
1.2 Antecedentes	2
1.3 Integración CAD/CAM.....	3
1.3.1 Definición de integración CAD/CAM	3
1.3.2 Ventajas y desventajas de la integración CAD/CAM en la industria	6
1.3.3 Software de integración CAD/CAM	7
1.4 El post-procesador.....	10
1.4.1 Concepto de post-procesador.....	10
1.4.2 Elementos para crear un post-procesador	11
1.4.2.1 Elemento #1: Controlador numérico (CN- Numerical controller)	12
1.4.2.2 Elemento #2: Tipo de máquina y número de ejes	14
1.4.2.3 Elemento #3: Datos CL (Cutter location data).....	17
1.4.3 Beneficios del Post-procesador.....	18
1.4.4 Estructura de un Post-procesador	19
1.4.4.1 Códigos y funciones de un programa CNC de un post-procesador.....	20
1.4.4.2 Software de edición de Post-procesadores	23
CAPITULO II	27
ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL TORNO ROMI C420	27
2.1 Características físicas del torno Romi C420	27
2.2 Características del software para el torno Romi C420.....	30
2.2.1 Controlador Numérico del torno Romi C420	30
2.2.1.1 Paneles del controlador numérico Sinumerik 828D.....	32

2.2.1.2	Funciones del controlador numérico Sinumerik 828D.....	35
2.2.1.3	Ventajas del controlador numérico Sinumerik 828D	38
CAPITULO III.....		40
SELECCIÓN DEL SOFTWARE Y DISEÑO DEL POST PROCESADOR PARA EL TORNO ROMI C420 GENERADOR DE CÓDIGOS G		40
3.1	Selección del software para diseñar el post-procesador.....	40
3.2	Diseño del post-procesador	44
3.2.1	Paso 1: Ingreso al módulo generador de post-procesadores del software para el controlador numérico Sinumerik 828D	45
3.2.2	Paso 2: Creación del postprocesador para el controlador numérico Sinumerik 828D.....	46
3.2.3	Paso 3: Modificación de la pestaña máquina herramienta para el controlador numérico Sinumerik 828D.....	47
3.2.4	Paso 4: Modificación de la pestaña programa y trayectoria para herramientas para el controlador numérico Sinumerik 828D	47
3.2.4.1	Paso 4.1: Modificación del bloque programa.....	48
3.2.4.2	Paso 4.2: Modificación de los bloques de códigos G & M	57
3.2.5	Paso 5: Modificación de la pestaña definiciones de los datos de N/C.....	58
CAPITULO IV		60
PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL POST-PROCESADOR		60
4.1	Proceso de verificación de la prueba #1: eje de operaciones externas de torneado..	61
4.1.1	Proceso de obtención de la prueba #1	61
4.1.1.1	Diseño en CAD de la prueba #1	61
4.1.1.2	Fabricación en CAM de la prueba #1	62
4.1.1.3	Obtención del código de la prueba #1	71
4.1.2	Proceso de verificación de la prueba #1	81
4.1.2.1	Simulación de la prueba #1 en el torno Romi C420.....	81
4.1.2.2	Maquinado de la prueba #1 usando el código G extraído	83

4.2	Proceso de verificación de la prueba #2: eje de operaciones internas de torneado...	88
4.2.1	Proceso de obtención de la prueba #2	88
4.2.1.1	Diseño en CAD de la prueba #2	88
4.2.1.2	Fabricación en CAM de la prueba #2	89
4.2.1.3	Obtención del código G	94
4.2.2	Proceso de verificación de la prueba #2	97
4.2.2.1	Simulación de la prueba #2 en el torno Romi C420	97
4.2.2.2	Maquinado de la prueba #2 usando en código G extraído	98
CAPITULO V		102
CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES		102
Conclusiones		102
Recomendaciones		105
BIBLIOGRAFÍA		106
GLOSARIO		111
ANEXOS		112

ÍNDICE DE FIGURAS

Figura 1.1: Primera máquina-herramienta CNC	3
Figura 1.2: Simulación del proceso de medición en un software CAD	4
Figura 1.3: Maquinado de una pieza por medio de programación CAM	4
Figura 1.4: Parámetros de entrada y salida del CAM.....	5
Figura 1.5: Parámetros de salida del CAM	6
Figura 1.6: Simulación del mecanizado de una pieza	7
Figura 1.7: Pantalla de inicio de diseño del software MasterCAM.....	8
Figura 1.8: Logotipo del software BobCAD/CAM	8
Figura 1.9: Pantallas de inicio, simulación y maquinado de Solid Edge	9
Figura 1.10: Logotipo del módulo InventorCAM de Autodesk Inventor	9
Figura 1.11: Pantalla de inicio del software CATIA	10
Figura 1.12: Pantalla de Siemens del software NX	10
Figura 1.13: Interfaz de software CAM	11
Figura 1.14: Elementos para crear un post-procesador	12
Figura 1.15: Sistema general de un controlador numérico	13
Figura 1.16: Máquina cinemática serial-torno CNC	14
Figura 1.17: Máquina cinemática paralela-Cabezal paralelo de dos giros	15
Figura 1.18: Ejes +Z & +X del torno Romi C420	16
Figura 1.19: Representación de los datos de corte en la trayectoria de la herramienta	17
Figura 1.20: Diagrama de uso de los datos CL en el post-procesador	18
Figura 1.21: Diagrama de secuencias del programa CNC del post--procesador.....	19
Figura 1.22: Logotipo del software fastPOST de Cenit	23
Figura 1.23: Logotipo de EDITCNC para software CAD/CAM	23
Figura 1.24: Logotipo del software IMSpost	24
Figura 1.25: Pantalla de trabajo del software UltraEdit	24
Figura 1.26: Pantalla de NX de salida de códigos G del Postbuilder	25
Figura 1.27: Logotipo de la marca ICAM del software CAM-POST	25
Figura 1.28: Logotipo de la marca Austin del software G-Post/CAM.....	26
Figura 1.29: Pantalla de trabajo de Era Post	26
Figura 2.1: Torno Romi C420	28
Figura 2.2: Información de seguridad de las partes de lubricación del torno Romi C420 ..	28

Figura 2.3: Puertos de transferencia de información en el panel de operación	31
Figura 2.4: Exactitud de corte de 80 bit del controlador Sinumerik 828D	31
Figura 2.5: Paneles del controlador Sinumerik 828D del torno Romi C420: a) panel de exhibición, b) panel de programación y c) panel de operación	32
Figura 2.6: Componentes del panel de operación del torno Romi C420	33
Figura 2.7: Pantalla de lista de datos de herramientas del panel de exhibición	34
Figura 2.8: Visualización de la trayectoria de corte durante el maquinado	35
Figura 2.9: Pantalla de llamado del ciclo siemens 83	38
Figura 2.10: Tarjeta de memoria de uso industrial SanDisk	39
Figura 3.1: Pasos para crear un post-procesador	44
Figura 3.2: Acceso al módulo generador de post-procesadores de NX	45
Figura 3.3: Barra de herramientas de la ventana del editor	45
Figura 3.4: Ventana de selección del tipo de máquina-herramienta	46
Figura 3.5: Pestañas de la interfaz del generador de post-procesadores	46
Figura 3.6: Bloque máquina herramienta	47
Figura 3.7: Bloque programa y trayectoria de la herramienta	48
Figura 3.8: Programación de la línea PB_CMD_data_time_stamp	49
Figura 3.9: Bloque de inicio de trayectoria	51
Figura 3.10: Línea de programación PB_CMD_tool_operation_information	51
Figura 3.11: Bloques de primera herramienta, modificación automática y manual de herramienta	51
Figura 3.12: Bloques de movimiento inicial y primer movimiento	52
Figura 3.13: Comando de programación PB_CMD_coolant_mode	52
Figura 3.14: Secuencia trayectoria para herramientas	53
Figura 3.15: Línea de programación modificación de la herramienta	54
Figura 3.16: Bloque de control de máquina	54
Figura 3.17: Bloque movimiento	55
Figura 3.18: Secuencia final de operación	55
Figura 3.19: Programación del comando PB_CMD_machine_time	56
Figura 3.20: Secuencia final del programa	56
Figura 3.21: Bloque de códigos G	57
Figura 3.22: Bloque de códigos M	58
Figura 3.23: Pestaña de definiciones de los datos de N/C	58

Figura 3.24: Bloque de otros elementos de datos.....	59
Figura 4.1: Prueba #1 de eje con operaciones externas de torneado	62
Figura 4.2: Iconos de creación de herramienta, geometría y operación del módulo CAM de NX.....	62
Figura 4.3: Ventana de creación de herramientas	63
Figura 4.4: Puntos imaginarios de la inserción de la herramienta.....	63
Figura 4.5: Parámetros de (a) inserto y (b) porta inserto modificados para herramienta de refrentado	64
Figura 4.6: Parámetros de (a) inserto y (b) porta inserto modificados para herramienta de desbaste	65
Figura 4.7: Parámetros de (a) inserto y (b) porta inserto modificados para herramienta de acanalado.....	65
Figura 4.8: Parámetros de inserto modificado para herramientas de roscado	66
Figura 4.9: Definición del cero máquina	66
Figura 4.10: Plano de trabajo de la prueba #1	67
Figura 4.11: Cuadro de diálogo de WORKPIECE.....	67
Figura 4.12: Selección de la pieza en bruto de la prueba #1	67
Figura 4.13: Cuadros de diálogo de TURNING_WORKPIECE	68
Figura 4.14: Plano de trabajo de la prueba #1	68
Figura 4.15: Cuadro de creación de geometría de CONTAINMENT y AVOIDANCE....	69
Figura 4.16: Cuadros de diálogo: a) Containment y b) Avoidance para la primera operación de mecanizado de la prueba #1.	69
Figura 4.17: Ventana de creación de operaciones para la prueba #1	71
Figura 4.18: Iconos para correr el programa de post-procesamiento para el CN Sinumerik 828D	72
Figura 4.19: Ventana de la lista de post-procesadores	73
Figura 4.20: Carpeta de ubicación del programa de post procesamiento.....	73
Figura 4.21: Definición de dimensiones del material en bruto en el panel de exhibición .	82
Figura 4.22: Simulación de maquinado del ejercicio #1 en el torno Romi C420	82
Figura 4.23: Material en bruto para el maquinado de la prueba #1	83
Figura 4.24: Maquinado de la prueba #1 terminada en grilón negro	84
Figura 4.25: Tiempo real de maquinado de la prueba #1	85
Figura 4.26: Plano guía para comprobar dimensiones de la prueba #1	86

Figura 4.27: Prueba #2 de operaciones internas de torneado	89
Figura 4.28: Parámetros de (a) inserto y (b) porta inserto modificados para herramienta de desbaste interno.....	90
Figura 4.29: Parámetros de (a) inserto y (b) porta inserto modificados para cuchilla de acanalado de operaciones internas	90
Figura 4.30: Parámetros de inserto modificados para herramienta de roscado interno	91
Figura 4.31: Plano de trabajo de la prueba #2	91
Figura 4.32: Selección de la pieza en bruto del ejercicio #2	92
Figura 4.33: Cuadros de diálogo de TURNING_WORKPIECE de la prueba #2	92
Figura 4.34: Plano de trabajo de la prueba #2	92
Figura 4.35: Ventana de creación de operaciones para la prueba #2	93
Figura 4.36: Simulación de maquinado de la prueba #2 en el torno Romi C420	97
Figura 4.37: Material en bruto para la prueba de maquinado de la prueba #2	98
Figura 4.38: Maquinado de la prueba #2 terminada en grilón blanco.....	98
Figura 4.39: Tiempo real de maquinado de la prueba #2	99
Figura 4.40: Plano guía comprobar dimensiones para la prueba #2	100

ÍNDICE DE TABLAS

Tabla 1.1: Funciones Auxiliares	21
Tabla 1.2: Bucles y condiciones de uso común en programación CNC	22
Tabla 2.1: Datos de placa del torno Romi C420.....	28
Tabla 2.2: Especificaciones de capacidades del torno Romi C420	29
Tabla 2.3: Dimensiones de la bancada, cabezal y avances del torno Romi C420	29
Tabla 2.4: Capacidad de la versión PPU 260/261 del controlador Sinumerik 828D	31
Tabla 2.5: Características del panel de exhibición del operador Sinumerik 828D.....	33
Tabla 2.6: Idiomas y extensiones para el CN Sinumerik 828D.....	34
Tabla 3.1: Consideraciones para valorar criterios de selección del software	40
Tabla 3.2: Alternativas de software para crear el post-procesador	41
Tabla 3.3: Criterios de evaluación del software para el post-procesador	41
Tabla 3.4: Evaluación del peso específico de cada criterio de selección	42
Tabla 3.5: Evaluación del peso específico del criterio I accesibilidad	42
Tabla 3.6: Evaluación del peso específico del criterio II adaptabilidad	42
Tabla 3.7: Evaluación del peso específico del criterio III facilidad de manejo	43
Tabla 3.8: Evaluación del peso específico del criterio IV personalización.....	43
Tabla 3.9: Comparación de valores para la selección del software para el diseño del post-procesador	43
Tabla 3.10: Líneas de programación de la secuencia inicial del programa para el controlador numérico Sinumerik 828D	49
Tabla 3.11: Líneas de programación de la secuencia inicial de la operación para el controlador numérico Sinumerik 828D	50
Tabla 3.12: Líneas de programación de la trayectoria para herramientas para el controlador numérico Sinumerik 828D	53
Tabla 4.1: Proceso de obtención de las pruebas a mecanizarse mediante el software NX..	60
Tabla 4.2: Proceso de verificación de las pruebas a mecanizarse en el torno Romi C420..	61
Tabla 4.3: Identificación de la herramienta y puntos de rastreo para ingresarse en el software CAM	64

Tabla 4.4: Velocidades, avances y profundidades recomendadas para las operaciones de mecanizado en la prueba #1	70
Tabla 4.5: Datos para crear las operaciones externas de torneado para la prueba #1	71
Tabla 4.6: Características del material grilón para realizar las pruebas de maquinado en el torno Romi C420	83
Tabla 4.7: Comparación del tiempo real del torno y estimado por el programa obtenido para la prueba #1	84
Tabla 4.8: Dimensiones principales de la prueba #1	87
Tabla 4.9: Dimensiones secundarias de la prueba #1	87
Tabla 4.10: Dimensiones funcionales del prueba #1	88
Tabla 4.11: Identificación de la herramienta y puntos de rastreo para ingresarse en el software CAM	89
Tabla 4.12: Velocidades, avances y profundidades recomendadas para las operaciones de mecanizado de la prueba #2	93
Tabla 4.13: Datos para crear las operaciones externas de torneado para la prueba #2	94
Tabla 4.14: Comparación del tiempo real del torno y estimado por el programa obtenido para la prueba #2	99
Tabla 4.15: Dimensiones principales de la prueba #2	101
Tabla 4.16: Dimensiones secundarias de la prueba #2	101
Tabla 4.17: Dimensiones funcionales de la prueba #2	101

RESUMEN

El presente proyecto se enfoca en el diseño y creación de un post-procesador para un torno CNC Romi C420 con controlador numérico Sinumerik 828D, el fin del mismo es la optimización del tiempo que el operador emplea para obtener el programa de códigos G de elementos de revolución. Los diferentes capítulos recopilan la información necesaria para el proceso a realizarse.

Es así como el capítulo uno se inicia con breve reseña histórica de los equipos CNC en el mundo, su evolución hasta la actualidad, para continuar con los conocimientos generales de la integración CAD/CAM, los software que pueden satisfacer las necesidades para el diseño y o modificación del post procesador, sus elementos estructurales, funciones y bloques del programa, entregando las ventajas de esta herramienta.

En el capítulo 2 se encuentra la información específica del torno, el software que emplea su controlador numérico y ventajas del mismo, con estos datos el programador conoce las limitaciones del equipo y poder establecer los parámetros a los cuales está sujeto el código. El capítulo 3 detalla los pasos para seleccionar un software que cumpla las expectativas y esté al alcance tanto del usuario como del estudiante; empleando el método ordinal corregido de criterios ponderados en los que se obtiene soluciones globales en vez de evaluar el peso de cada criterio. En el capítulo 4 están las pruebas de funcionamiento que validó el programa, cada una se evaluó por medio de la simulación y medición de dimensiones con los respectivos equipos y comparación de los planos obtenidos de las piezas modeladas y fabricadas en una interfaz gráfica de un software CAD/CAM después del maquinado en el torno Romi C420.

Los resultados se plasman en el capítulo 5 donde se analiza los resultados con las conclusiones del proceso y recomendaciones.

ABSTRACT

The main aim of this project is to design and create a post-processor for a Romi C420 CNC lathe with a Sinumerik 828D numerical control. This post-processor enhance and optimize the time which the operator takes to generate a G code program for revolution elements. The different chapters collect enough information to achieve the planned objectives.

Chapter 1 begins with a brief summary from the oldest to the latest technology about CNC equipment in the world. Also, in this chapter is presented general knowledge about CAD / CAM integration, besides software that satisfies design and postprocessor requirements, as well as its benefits like structural elements, functions, and program blocks,

In Chapter 2, specific information about the lathe is provided, for instance a description of its numerical controller, advantages and disadvantages. With these data, the programmer knows the limitations of the equipment and then is allowed to establish the parameters which will be improved in the code.

In Chapter 3, the steps to select an appropriate software that fulfill the expectations and comfort of both the user and the student are indicated. The pounded criteria ordinal method was selected to obtain global solutions, instead of obtaining a single solution using a weigh evaluation for every criteria.

Functional tests are exposed in Chapter 4, where the program was validated. Each test was evaluated by simulation and a dimensional measurement comparison between the model and the manufactured element. Moreover, the software was probed in a CAD / CAM graphical interface software after a machining process in the Romi C420 lathe.

The results are exposed and analyzed in Chapter 5. Also, this chapter contains the final recommendations and conclusions of the project

CAPÍTULO I

POST-PROCESADORES PARA TORNOS CNC

En este capítulo se tratará los términos necesarios para el desarrollo de cada etapa del proyecto, así como las referencias históricas que encaminan el proceso general de crear un post-procesador. Se presenta la conceptualización de la integración CAD/CAM y ejemplos de software que emplean este sistema, para posteriormente introducirse en el tema central del escrito que es el post-procesador, definir su función, estructura y ejemplificar los sistemas operativos que pueden emplearse para su obtención.

1.1 Introducción

Con el fin de incrementar el avance tecnológico del país, las pequeñas y grandes industrias han buscado mejorar su productividad y calidad de sus productos con la implementación de máquinas con control numérico asistido por computador (CNC). Este tipo de maquinaria moderniza los procesos de mecanizado y acabado superficial de elementos mecánicos de geometría compleja y difícil obtención, reemplazando la operación manual por herramientas informáticas para el modelado, diseño y ensamble de mecanismos.

Entre las nuevas herramientas tecnológicas se encuentra el post procesamiento de piezas torneadas en el que se vincula el lenguaje de programación ISO del modelo CAD con el controlador numérico del CNC o lo que en la actualidad es conocido como integración CAD/CAM.

El programa creado cumple las especificaciones para el controlador numérico Sinumerik 828D del torno CNC Romi C420, y entrega una serie de órdenes codificadas que representan la trayectoria de herramientas para el mecanizado de pruebas modeladas que contienen operaciones básicas internas y externas de torneado como lo son: refrentado, desbaste, acanalado y roscado. Para la verificación del código se emplea simulación y maquinado en el torno Romi, con lo que permite conceptualizar el uso de esta herramienta de forma rápida y didáctica.

1.2 Antecedentes

Día a día las máquinas herramientas avanzan tecnológicamente, lo que ha producido que lleguen a un importante desarrollo industrial. Sin embargo para llegar a ello han tenido que pasar por una serie de pasos que conllevan la modificación de su estructura, mecanismos y han incorporado nuevos sistemas con el fin de hacer más eficiente su trabajo, mejorando cada vez más su función.

Las distintas máquinas herramientas aparecieron años atrás y los diferentes tipos de acuerdo a su función de maquinado pueden ser: tornos, fresas, limadoras, etc. Un caso especial lo constituyen los tornos, que son máquinas herramientas encargadas del mecanizado de piezas de revolución por medio de desprendimiento de viruta. El primer torno aparece no menos del año 850 a.C. en Egipto y funcionaba por un sistema arco violín en el que las manos del operador se encontraban libres para manejar el torno, En el siglo XVI aparece el torno de pedal de giro continuo de Leonardo da Vinci, este tuvo las primeras mejoras como una transmisión por correa y un mecanismo biela manivela.

Con la revolución industrial en el siglo XVII surge el torno mecánico de gran peso para mecanizar piezas metálicas de precisión. Con el avance del tiempo las mejoras como portaherramientas deslizantes o permitir que la herramienta se mueva con velocidad constante. El desarrollar tornos de revólver, tornos verticales contribuyeron a solucionar problemas como el fijar pasos de roscas y otros.

Para 1940 John T. Parsons incursiona en el control numérico por computador, que implicaba el uso de datos de sistemas de referencia para seguir el contorno de piezas de geometría compleja. (Cortes Industriales, 2016)

Años después en 1953 el Instituto Tecnológico de Massachusetts (MIT) crea la primera fresadora con servomecanismos de control numérico por computador (CNC), donde el único propósito era el mecanizado de piezas tridimensionales complejas del área aeronáutica, la Figura 1.1, muestra una de las primeras máquinas herramientas CNC donde se observa el gran tamaño del equipo.

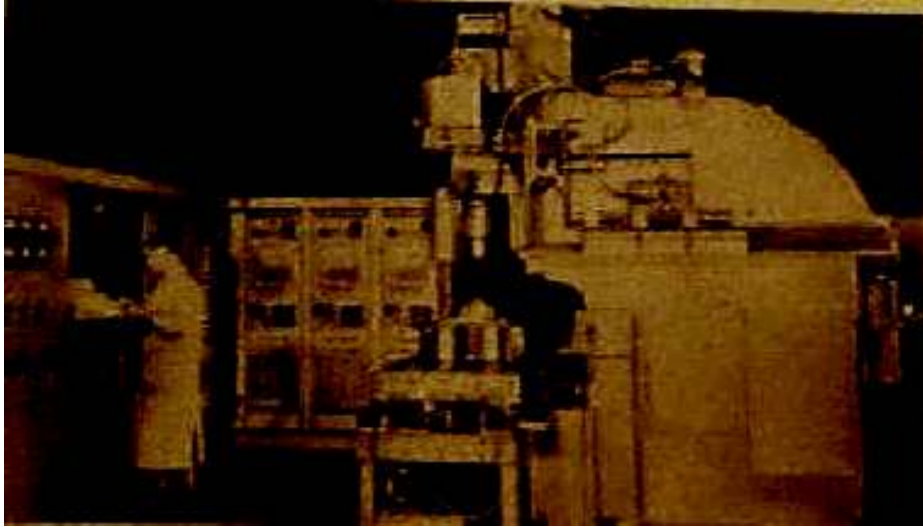


Figura 1.1: Primera máquina-herramienta CNC
Fuente: (Cortes Industriales, 2016)

Por otro lado el torno tradicional se combinó con un sistema por controlador numérico computarizado, que emplea automatización programable de códigos alfa numéricos y funciones especiales de la trayectoria de la herramienta y operaciones para conseguir un elemento de revolución. Lo que produjo una gama de diferentes tipos de tornos como: universales, de revólver, paralelo, copiadores y verticales con múltiples husillos o cabezal móvil, empleados para necesidades específicas de mecanizado. El ingreso de los códigos a sus controladores numéricos puede hacerse de forma manual al realizar la programación línea a línea el operario del equipo, o automáticamente al ser generado por un post-procesador de un software de integración CAD/CAM. El uso de esta herramienta permite al usuario ahorrar el tiempo total del mecanizado que inicia desde el modelado del elemento hasta llegar a obtenerlo físicamente.

1.3 Integración CAD/CAM

1.3.1 Definición de integración CAD/CAM

Con el motivo de agilizar el proceso de obtención de códigos de maquinado la integración CAD/CAM une características y herramientas de software de diseño asistido por computador (CAD) con la fabricación asistida por computador (CAM) en un solo sistema por medio de una interfaz común. (Vicente & Ginés, 2008)

En los sistemas CAD se crea y almacena datos de modelos en 2D o 3D que pueden ser modificados por uno o varios diseñadores que tengan acceso a dicho patrón. Permitiendo la simulación de procesos de medición, revoluciones, entre otros, como se observa en la Figura 1.2. (SIEMENS, 2016)

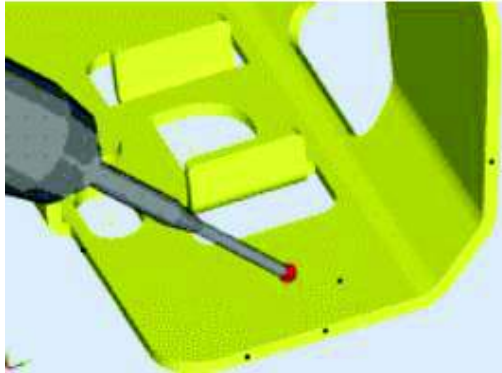


Figura 1.2: Simulación del proceso de medición en un software CAD
Fuente: (Vicente & Ginés, 2008)

Los sistemas CAM sirven para almacenar, programar y planificar operaciones de fabricación mediante una respuesta tridimensional del elemento a obtenerse en el ordenador, por lo general se tratan de elementos de geometría compleja como se observa en la Figura 1.3.



Figura 1.3: Maquinado de una pieza por medio de programación CAM
Fuente: (Escuela Técnica Superior de Ingeniería- Bilbao, 2016)

La respuesta que es creada por un módulo del CAM conocido como post-procesador, se genera automáticamente como un programa informático compuesto de una serie de códigos numéricos organizados por bloques, donde cada bloque es una instrucción de la operación a realizarse, herramienta a utilizarse, cambio de herramienta, trayectoria, etc. Los códigos son escritos en un

lenguaje conversacional en el cual el programador escoge la operación a realizarse y la máquina solicita los datos necesarios para cumplir la orden.

Las Figuras 1.4 y 1.5, contienen el proceso de integración CAD/CAM para la obtención del programa para el controlador numérico (CN). En la Figura 1.4, se encuentra los parámetros de entrada de la posición relativa de la herramienta respecto al CAM sin considerar los elementos de cinemática de la máquina que son: el modelo de CAD, factores y estrategias de mecanizado, así también se muestra los datos CL (Cutter location data) para el proceso de fabricación. (Escuela Técnica Superior de Ingeniería- Bilbao, 2016)

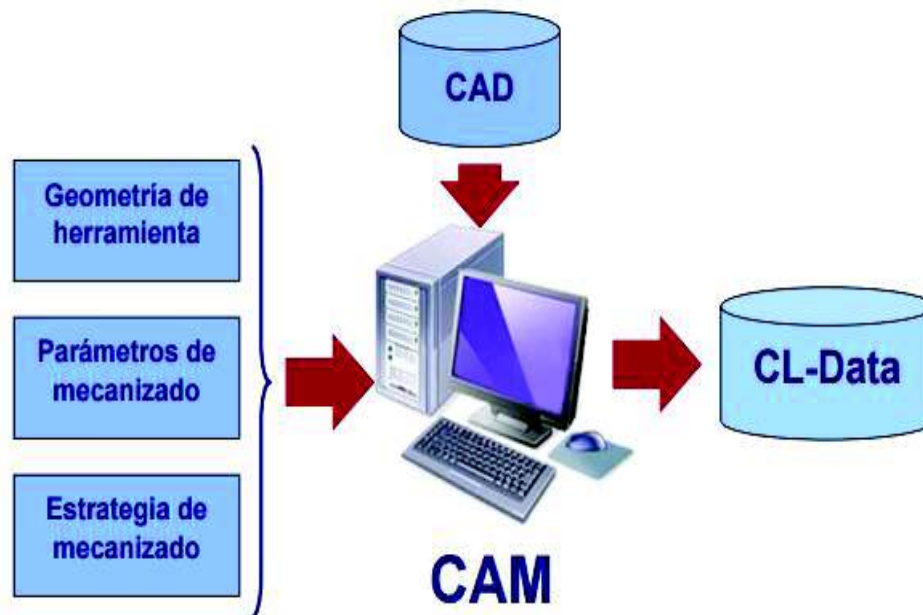


Figura 1.4: Parámetros de entrada y salida del CAM
Fuente: (Escuela Técnica Superior de Ingeniería- Bilbao, 2016)

Una vez que el software CAM lee e interpreta la información entregada por el CAD, este proporciona un fichero que contiene los datos CL (cutter location) para ser convertidos en un programa CN respecto a un sistema de referencia de una máquina-herramienta CNC.

Para ello se procesa el archivo con los parámetros necesarios en el post-procesador, que es personalizado para un tipo de CN específico, como se aprecia en la Figura 1.5.

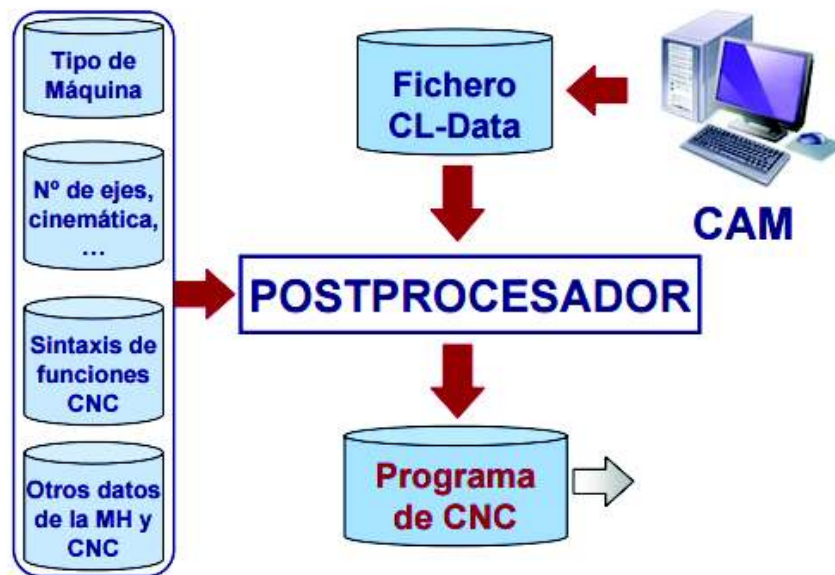


Figura 1.5: Parámetros de salida del CAM

Fuente: (Escuela Técnica Superior de Ingeniería- Bilbao, 2016)

1.3.2 Ventajas y desventajas de la integración CAD/CAM en la industria

El aprovechar las cualidades de un equipo CNC permite a ingenieros, fabricantes y diseñadores un sin número de ventajas al emplear la integración CAD/CAM:

- Obtener piezas de geometría compleja, gracias al uso de un control numérico que realiza el movimiento de la herramienta y/o pieza en un conjunto de datos que contienen trayectorias y sistemas de referencia programados de operaciones complicadas.
- Menor desgaste de herramientas al planificar los tiempos de uso y cambios apropiados, su desgaste disminuye y se estropean con menor frecuencia, y a la vez favorece a bajar el costo de mantenimiento.
- Reducción de tiempos de fabricación y diseño, al trabajar con un CNC los distintos tiempos que intervienen ya sea de operación, de espera, desplazamiento de la herramienta, son programados e impide las paradas inesperadas del equipo.
- Reducción de costos de mano de obra, se necesita un solo operador que verifique el trabajo realizado por la máquina herramienta.
- Son sistemas rápidos, precisos, flexibles y seguros, debido a que el CNC envía las instrucciones a cumplirse al CN de la máquina por medio de una

serie de ordenes codificadas que van depurando errores de programación, y al simular la fabricación se obtiene información detallada acerca del trazo, tiempos, análisis de desviación y más. La Figura 1.6, muestra la simulación de una pieza mecanizándose con la herramienta real visualmente.

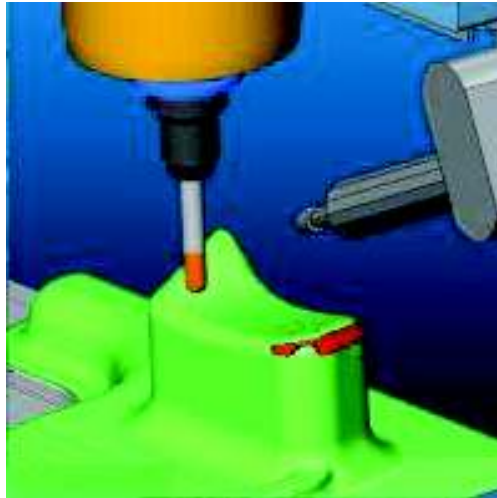


Figura 1.6: Simulación del mecanizado de una pieza
Fuente: (BobCAD-CAM, 2016)

- Mayor productividad por el menor tiempo total de mecanizado desplazamiento en vacío y rapidez de los posicionamientos.
- Muchos software CAD-CAM poseen módulos CAM que se integran fácilmente a paquetes de programación CAD que no sean de la misma casa comercial, permitiendo el uso de diversos software sin limitación.

Sin embargo en todo sistema se tiene inconvenientes y al incorporar un equipo CNC se tiene los siguientes obstáculos:

- Se necesita de un operador capacitado para entender las líneas de programación del código y operar la máquina-herramienta CNC.
- Los costos de adquisición de software y máquinas CNC son elevados, solo se justifican en producción de piezas en serie complejas.

1.3.3 Software de integración CAD/CAM

Hoy en día los módulos de software CAD/CAM son de uso común y su selección es de acuerdo a la facilidad y rapidez de uso para el diseñador y/o operador, a continuación se mencionan los siguientes:

- MasterCAM: tiene una base programable multitarea, rápida, eficiente y ágil para máquinas con configuraciones de trabajo inteligentes. Su sistema es exhaustivo para fresas, centros de mecanizado, tornos, entre otros que elimina la fijación redundante y reduce el tiempo de inactividad, por medio de mecanismos de información que permite comprobar si existe o no colisiones, también incorpora una solución de maquinado para el software SolidWorks con un mecanizado de alta velocidad. (Mastercam, 2016)



Figura 1.7: Pantalla de inicio de diseño del software MasterCAM
Fuente: (Tecnocim, 2016)

- BobCAD/CAM: cuenta con una plataforma de diálogos intuitivos y asociativos, que lo convierte en un software fácil de usar, práctico y versátil, es compatible con máquinas CNC que manejen formatos ISO, maneja módulos para diseñar en 2D y 3D, simular, maquinar, generar post-procesadores estándar específicos por la versión original propia de BobCAD-CAM. Guarda una afinidad con software de diseño: Rhino, SolidWorks, AutoCAD e Inventor. Reconoce extensiones de archivos dwg, dxf, iges, step, sldprt, 3dm, pdf. (BobCAD-CAM, 2016)



Figura 1.8: Logotipo del software BobCAD/CAM
Fuente: (BobCAD-CAM, 2016)

- Solid Edge: es un software de SIEMENS que maneja un portafolio de herramientas de diseño en 3D, simulación y fabricación, usa tecnología sincrónica para acelerar, revisar y reutilizar datos de diseño y junto al control de diseño paramétrico otorga la flexibilidad para obtener un modelado simple y directo. Su módulo de manufactura entrega piezas de

precisas maquinadas en bloques, láminas de metal y plástico. Tiene una arquitectura abierta que permite el uso de normas API. (SIEMENS, Solid Edge ST8, 2016)

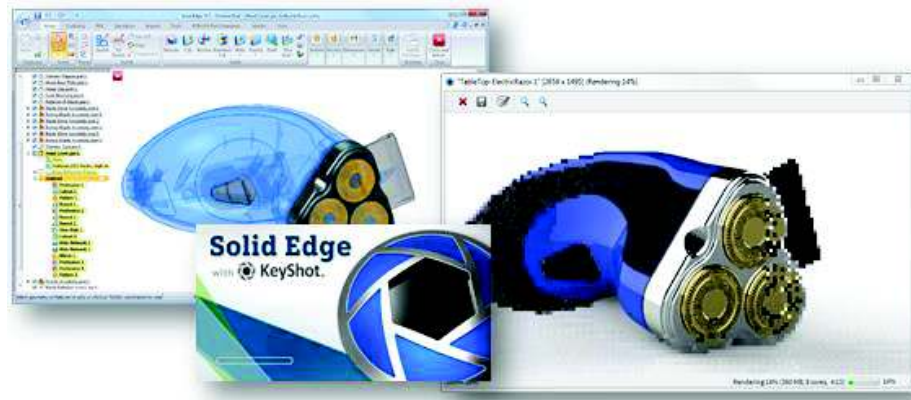


Figura 1.9: Pantallas de inicio, simulación y maquinado de Solid Edge
Fuente: (Abisse, 2016)

- SolidCAM e InventorCAM: son módulos CAM de los programas SolidWorks e Inventor de las compañías Dassault Systèmes y Autodesk respectivamente, cuentan con una interfaz de trabajo amigable, se caracterizan por tratar directamente en ensambles y partes, uso de plantillas para manufactura, rapidez y pasadas tangentes suaves en trayectorias, cuenta con hasta 5 ejes de simulación de mecanizado para trayectorias entre otros. (Autodesk Inventor, 2016)



Figura 1.10: Logotipo del módulo InventorCAM de Autodesk Inventor
Fuente: (Autodesk Inventor, 2016)

- CATIA: es parte de la marca Dassault Systemes, trabaja en un entorno unificado de sistemas CAD/CAM y la ingeniería asistida por computador (CAE), para la construcción de superficies se emplea una nube de puntos obtenida por digitalización que se ajustan a la forma real de un elemento. Sus archivos guardan una relación de modificación, genera fácilmente programas en los diferentes lenguajes de programación para máquinas de

hasta 3 ejes. Su pantalla de inicio se aprecia en la Figura 1.11. (DASSAULT SYSTEMES, 2016)



Figura 1.11: Pantalla de inicio del software CATIA
Fuente: (Dassault systems, 2016)

- NX: software CAD/CAM/CAE de SIEMENS, posee una amplia gama de aplicaciones asociadas a la industria. Con módulos que facilitan el desarrollo del diseño integrando disciplinas en un ambiente de soluciones empresariales abierto y de colaboración, la fabricación se tiene un conjunto de interacciones desde el CAM hasta el controlador CNC permitiendo maximizar el uso de recursos de manufactura, reducir programación y tiempo en maquinados y finalmente la simulación de NX que al sistema CAE que es moderno y multidisciplinario. (SIEMENS, 2016)



Figura 1.12: Pantalla de Siemens del software NX
Fuente: (Siemens, 2016)

1.4 El post-procesador

1.4.1 Concepto de post-procesador

El post-procesador es una interfaz de usuario propia del software CAM, que lee, traduce e interpreta las órdenes del CAD, el CAM y a la vez convierte los datos de localización de corte (CL) a códigos entendibles para la máquina CNC. Es

decir transforma un lenguaje de alto nivel (lenguaje APT- Herramienta Programada Automáticamente) usado por los sistemas CAD/CAM que encierra el significado geométrico entendible para el operador, a un lenguaje de bajo nivel (lenguaje ISO) que es asimilable para las máquinas CNC. (Lee & Shee, 1997)

La interfaz gráfica del CAM es una vía única de comunicación entre la máquina y el controlador numérico que permite realizar el proceso de post procesamiento de las instrucciones codificadas para dar paso a la salida del programa CNC y posteriormente pasar a la fabricación en equipos CNC.

La Figura 1.13, indica ejemplos de software CAM que traducen las extensiones del CAD por medio de un post procesador que usa códigos G y M escritos en lenguaje de programación escritos bajo la norma ISO 6983 (DIN 66024 – DIN 66025) y ser ejecutado en las respectivas máquinas CNC.

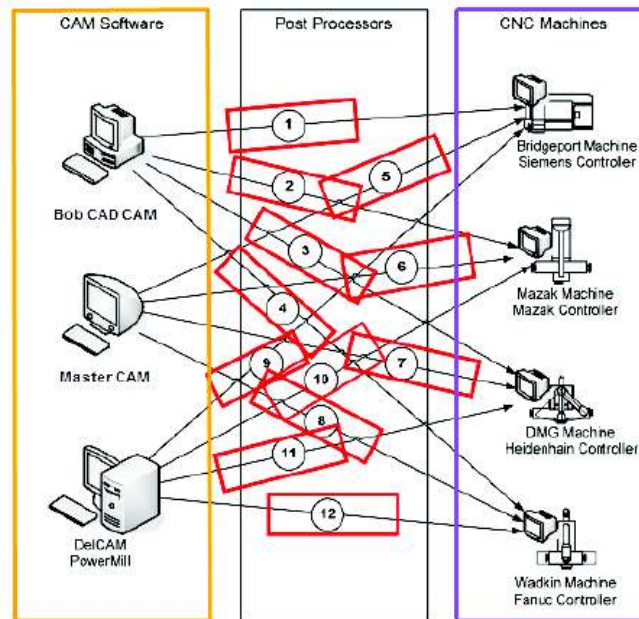


Figura 1.13: Interfaz de software CAM
Fuente: (Orejuela, Aguinaga, & Lulluna, 2013)

1.4.2 Elementos para crear un post-procesador

Todo post-procesador para ser establecido dentro de un sistema debe tener en cuenta los parámetros de los cuales depende su creación que son: las especificaciones del CN (numerical control) para cada máquina herramienta CNC,

tipo de máquina herramienta, número de ejes y datos CL (cutter location), estos términos guardan una relación entre ellos, es decir algún cambio realizado en uno afecta al resto. A continuación la Figura 1.14, muestra brevemente dichos elementos y su importancia en el proceso, seguido de la descripción detallada de cada uno.

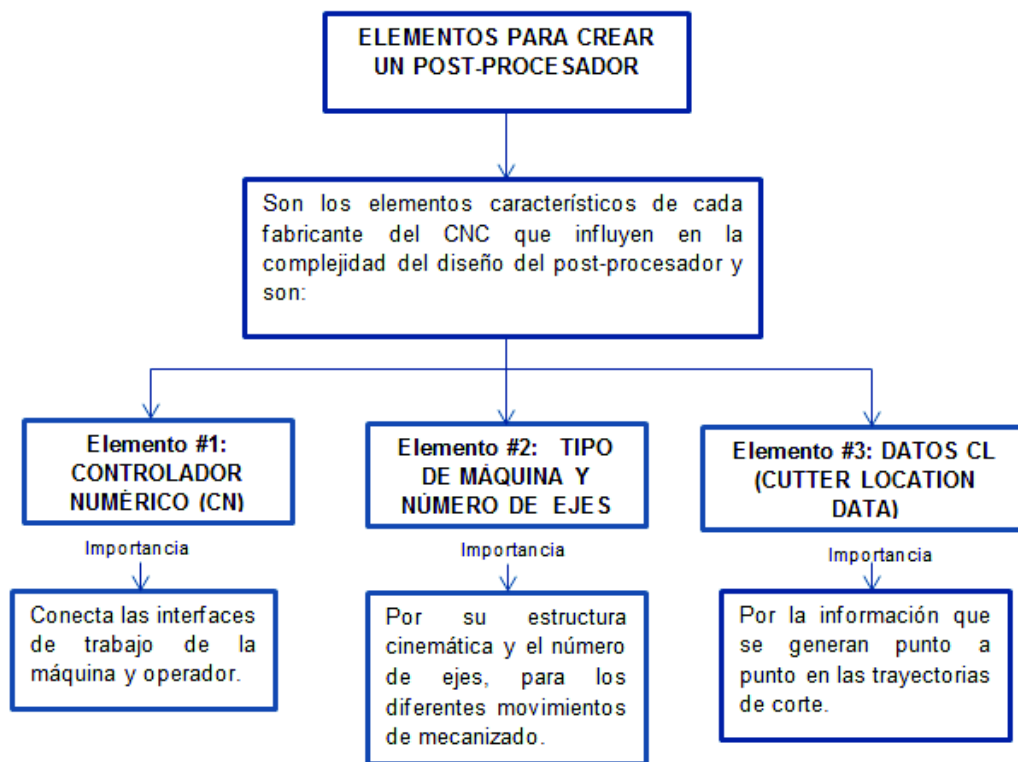


Figura 1.14: Elementos para crear un post-procesador
Fuente: (Autor)

1.4.2.1 Elemento #1: Controlador numérico (CN- Numerical controller)

El CN nace de la necesidad de solucionar problemas de diseño de piezas de contornos cada vez más difíciles de mecanizar. Es así como el MIT en 1953 crea el primer CN para una fresadora de tres ejes con el propósito de resolver las dificultades que tenían áreas como las fuerzas armadas de USA o la industria aeronáutica, aquel CN realizaba operaciones de punteado, mandrinado y taladrado, posteriormente la industria aeronáutica realizó sistemas continuos cada vez más complejos para ir adaptándose a las necesidades del usuario.

Actualmente el controlador numérico es el medio de automatización programable por el cual los sistemas CAD/CAM se comunican con una máquina o mecanismo

CNC específico, es decir una la interfaz del operador con el de la máquina. La interfaz del operador se compone del programa de instrucciones que contiene una serie de sentencias ejecutadas para dirigir el equipo de procesado, en cambio la interfaz de máquina involucra la unidad de control de la máquina que entiende las acciones solicitadas en el programa y el equipo de procesado es decir la máquina herramienta en sí que ejecutará el programa, como se observa en la Figura 1.15. (Aguinaga, 2016)



Figura 1.15: Sistema general de un controlador numérico
Fuente: (Autor)

El término CN se adoptó por el proceso de interpretación de órdenes de movimientos previamente establecidos por del usuario, que se encuentran como una serie de instrucciones codificadas en bloques que siguen una secuencia lógica para formar un archivo de programa de pieza en un lenguaje conversacional, los códigos numéricos indican operaciones de maquinado, trayectorias de herramientas, cambio de herramientas, etc. Dependiendo de la geometría a obtenerse existen cuatro formas de programaciones para ser ingresadas en el controlador numérico que son:

- **Programación manual:** es realizada por el operador que utiliza un plano, que contiene la información para calcular las trayectorias de la herramienta y puntos de inicio de movimiento, para posteriormente codificar dichas acciones en un lenguaje estándar basado en normas para facilitar el intercambio de programas entre diferentes CN.
- **Programación pseudo asistida por ordenador:** se da a lugar cuando el programador usa un diseño creado en un software CAD para realizar la codificación, tomando directamente las coordenadas de las trayectorias de

los puntos en la geometría realizada en el CAD. En esta programación no se usa módulos CAM para la obtención del programa de la pieza.

- **Programación asistida por ordenador:** utiliza sistemas de integración CAD/CAM para desarrollar la programación del controlador numérico al obtener la información del diseño en CAD, esta información es traducida por el CAM a una serie de instrucciones de maquinado que incluyen la trayectoria de la herramienta y son interpretadas por la máquina CNC de la geometría de la pieza, el proceso se realiza por medio de un ordenador.
- **Programación conversacional:** se basa a una serie de preguntas y mensajes de los datos que el controlador necesita para realizar el mecanizado de un elemento, aquí el operador interactúa respondiendo dichas preguntas y automáticamente el programa CNC va tomando forma. (Sánchez Fulgueira, 2014)

1.4.2.2 Elemento #2: Tipo de máquina y número de ejes

Cada máquina herramienta tiene capacidades diferentes de trabajo esto se debe a su estructura cinemática, actualmente se considera dos tipos: las máquinas cinemáticas seriales (MCS) y máquinas cinemáticas paralelas (MCP).

Las MCS tienen una estructura cartesiana, los ejes se colocan en una configuración en serie alineados con los ejes cartesianos X, Y, Z. Son máquinas sencillas respecto a su construcción y control, sin embargo no son muy dinámicas ya que sus configuraciones conllevan grandes masas en movimiento. Ejemplo de ellas se encuentran los tornos, fresas, taladros, cepillos, cizallas, pulidoras, como en la Figura 1.16. (Interempresas.net, 2016)



Figura 1.16: Máquina cinemática serial-tomo CNC
Fuente: (Direct Industry, 2016)

Las MCP poseen en su estructura actuadores fijos de movimiento en la estructura o dan un movimiento próximo a la misma. Su principal ventaja es que cada uno de los ejes son independientes del movimiento de los demás ejes, ya que todos se conectan a la estructura fija con el cabezal de corte, por lo que son de un tamaño más pequeño. Son construidas con el fin de aumentar la rigidez de la máquina y aumentar sus aceleraciones. La Figura 1.17, muestra un cabezal paralelo de dos giros de una máquina cinemática paralela.

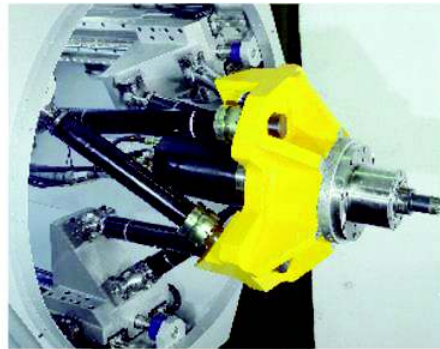


Figura 1.17: Máquina cinemática paralela-Cabezal paralelo de dos giros
Fuente: (Interempresas.net, 2016)

Al hablar del tipo de máquina se da importancia al número de ejes y movimiento de los mismos, longitud de carrera, sentido de giro y configuración del husillo entre los ejes rotacionales y su inclinación para la ubicación del punto pivote del centro de la herramienta de corte, etc.

El número de ejes de una máquina-herramienta CNC implica el número de grados de libertad que el control de la máquina puede interpolar simultáneamente. Si la máquina herramienta tiene más ejes la efectividad y exactitud de la misma aumenta sin embargo el proceso de programación del controlador numérico se vuelve más complejo. El número de ejes depende de la cinemática del equipo de control numérico y en las cuales es necesaria la aplicación de matrices de transformación que se asocian a los grados de libertad que tenga la máquina-herramienta. (Adivarekar & Liou, 2015)

Dependiendo del tipo de movimiento de cada máquina herramienta, se tiene ejes de trabajo y movimiento, que son considerados en la programación del CN, en ocasiones por conveniencia y facilidad de programación se supone que la herramienta siempre es la que se mueve aunque en ocasiones no sea cierto. En

particular este escrito se centrará en el torno CNC ROMI C420, por lo que se describe a continuación los ejes geométricos de importancia con los que generalmente se manejan los tornos y se observan en la Figura 1.18:

- Eje longitudinal: eje Z (abscisas)
- Eje de refrentado: eje X (ordenadas)

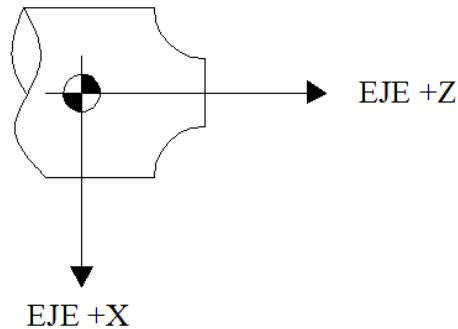


Figura 1.18: Ejes +Z & +X del torno Romi C420
Fuente: (Autor)

Según las normas ISO 841 y EIA-267C se cuenta con un número total de nueve ejes donde los ejes principales se definen de la siguiente forma:

- **Eje Z:** se encuentra en la dirección del husillo principal, en caso de que no exista un husillo principal, se tomaría como eje Z la normal saliente del plano de sujeción de la pieza. En caso de existir más de un husillo, el eje Z corresponderá al husillo que tenga mayor potencia. La dirección del eje Z+ es la que se aleja del husillo y de la pieza y Z- es el que se dirige en dirección contraria.
- **Eje X:** es el eje normal al eje Z, que controla los movimientos cruzados, generalmente se encuentra sobre el plano horizontal y paralelo a la superficie de sujeción de la pieza, si el eje Z es horizontal el eje X también lo será. X+ se encuentra en dirección contraria de la línea del centro del husillo y X- se encuentra en dirección inversa. (Sánchez Fulgueira, 2014)

Las máquinas herramientas CNC con mesas giratorias y/o cabezales orientables tienen ejes por los cuales son controlados de forma independiente que toman el nombre de ejes complementarios de rotación, en la programación CN y toman los nombres de ejes A, B, C. (Terlevich, 2011)

Los centros de mecanizado aparte de manejar los ejes principales X, Y, Z, y los cosenos directores de la orientación de los ejes de la herramienta de corte I, J, K también cuentan con tres ejes extras, uno para orientar el cabezal, otro para el giro de la mesa y un último para aproximar la herramienta. Los ejes X, Y, Z definen la trayectoria de la herramienta sin embargo en la programación se manejan ejes complementarios de desplazamiento que son U, V, W. Por ejemplo en los tornos CNC se tienen ejes programables, donde W es el tercer eje que designa el movimiento del cabezal frontal de algunas máquinas. Cuando existen centros de torneado se puede tener hasta un cuarto eje. (Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica, 2006)

1.4.2.3 Elemento #3: Datos CL (Cutter location data)

Estos datos contienen la posición y orientación de corte de la herramienta respecto a un sistema de coordenadas, se generan de la trayectoria seguida en la superficie de la pieza a maquinar que previamente fue modelada en sistemas CAD/CAM. Cada vez que se genera una secuencia diferente de operación automáticamente se crea un nuevo archivo de datos CL, de modo que en la máquina herramienta CNC los datos de las coordenadas de corte (X, Y, Z) y los cosenos directores de la orientación de los ejes de la herramienta de corte (I, J, K), describen la trayectoria punto a punto de la herramienta al maquinar, como se observa en la Figura 1.19. (Adivarekar & Liou, 2015)

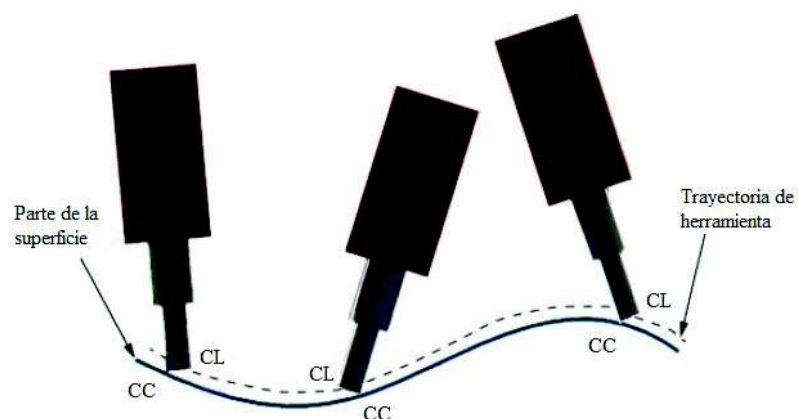


Figura 1.19: Representación de los datos de corte en la trayectoria de la herramienta
Fuente: (Adivarekar & Liou, 2015)

Diferentes máquinas de multi-ejes pueden tener los mismos datos CL pero se diferencian en los parámetros del hardware del equipo de procesamiento para el

que están destinados. El post-procesador debe interpretar estos datos y transformarlos a comandos en formato ISO dependientes del CN de la máquina. Estos datos están en un archivo escrito en formato ASCII (American Standard Code for Information Interchange).

Los archivos de datos CL son almacenados automáticamente en una librería central del post-procesador que permite su recuperación para ser utilizados nuevamente en caso de ser necesario. Cuando la interfaz no puede soportar los comandos por defecto de los CL estos son reemplazados por comandos CN que se asocian con comandos de dimensiones, parámetros definidos por el usuario y texto. (CadLab, 2016)

En la Figura 1.20, se indica la importancia de los datos CL antes y durante el post-procesamiento de la información entregada por los sistemas CAD.

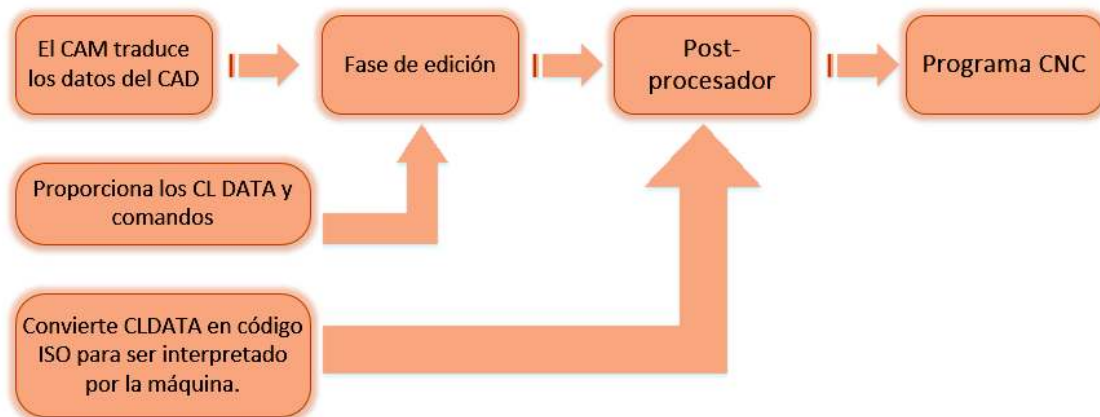


Figura 1.20: Diagrama de uso de los datos CL en el post-procesador
Fuente: (Autor)

1.4.3 Beneficios del Post-procesador

Entre las ventajas de un post procesador se encuentran las siguientes:

- Mejor manejo de recursos de programación, debido a la entrega de información resumida de la interfaz respecto al traslado de ejes, tiempo de realización del trabajo y datos de herramientas.
- De acuerdo a su complejidad permite la aprobación de un programa antes de usarlo, por medio de mensajes, alarmas, simulación u otros medios.
- Detectar, corregir errores en el programa, accionar o desactivar una acción.

- Ahorro de tiempo en la programación por el uso de datos guardados de límites de velocidad, herramientas, conmutación de ejes, operaciones próximas, que permite optimizar el trabajo general a realizarse.
- De acuerdo al software del post-procesador, este puede generar programas que pueden ser utilizados para una gran cantidad de máquinas-herramientas CNC.

Las ventajas y alcance de los post-procesadores dependen de las características del software empleado para su creación.

1.4.4 Estructura de un Post-procesador

Todo post-procesador pasa por una serie de secuencias lógicas de inicio a fin que se encargan de crear bloques específicos de instrucciones listos para la ejecución de alguna operación y su estructura contiene los mismos parámetros del cuerpo del programa CN como se visualizan en la Figura 1.21.



Figura 1.21: Diagrama de secuencias del programa CNC del post-procesador

Fuente: (Autor)

Cada secuencia se compone de bloques post-procesadores específicos que son manejados por comandos escritos en un lenguaje conversacional que describen las acciones de cada función. Y dependiendo del software usado su nomenclatura lleva prefijos, como se muestra a continuación:

- PB_CMB_nombre del bloque

En el caso del software NX utiliza las letras PB que son las siglas en inglés del módulo de construcción del post-procesador PostBuilder del software y CMB son las siglas de comando. (Jiménez Brito & Leiva González, 2014)

1.4.4.1 Códigos y funciones de un programa CNC de un post-procesador

Generalmente un programa CNC producto de un post procesador está formado por bloques secuenciales escritos bajo un lenguaje ISO y contiene toda la información indispensable para realizar el mecanizado de la pieza que se ejecutará en la máquina herramienta CNC. La información es codifica en orden y se encuentran bajo las normas DIN 66025 o ISO 6983, para cumplir su función se complementan con indicadores a través de un lenguaje de alto nivel CN y se utilizan como:

- Variables de sistema o definidas por el usuario.
- Subprogramas
- Palabras reservadas
- Macros
- Etiquetas
- Códigos y funciones

Al momento de escribir el programa existen limitantes en las normas para el número máximo de caracteres a utilizarse, por ello los nombres de programas usarán 24, identificadores de eje 8 e identificadores de variable 31, donde los primeros serán letras o subrayados. Para su anotación y lectura se permiten letras, números y guiones bajos que no permiten separaciones entre ellos. Un ejemplo de ello es la letra N usada para la numeración de cada bloque de programación o secuencia de maquinado. (Siemens, 2011)

Un programa es un conjunto de comandos, indicadores, bucles y condiciones, organizadas en bloques que contienen funciones a ser cumplidas dependiendo de lo que ejecute o colabore para que se realice algún tipo de tarea combinada, entre ellas se encuentran funciones auxiliares y principales. Los códigos G son las funciones principales, conocidas así porque pueden ordenar al CNC a cumplir con las instrucciones generales de programación, en el anexo A-1 con los códigos G del torno ROMI C420. No todos los códigos G están disponibles para todas las máquinas herramientas, un mismo código G puede cumplir diferentes acciones dependiendo del controlador numérico que usan las mismas.

En cambio las funciones auxiliares dependen del código con el que se combinan, son el complemento para cumplir una acción al transferir la información necesaria y oportuna de los parámetros a ser controlados en una interfaz gráfica. La Tabla 1.1 indica las funciones auxiliares y su acción correspondiente dentro de un programa CNC. (Terlevich, 2011)

Tabla 1.1: Funciones Auxiliares

FUNCIÓN AUXILIAR	ACCIÓN
N	Numeración secuencial de bloques.
T	Selección de herramienta.
D	Corrección de herramientas
F	Avance
S	Velocidad de giro del cabezal
M	Habilita o cancela operaciones de mecanizado.
H	Dirección de desplazamiento incremental
"/	Barra para inhibir la ejecución de bloques.

Fuente: (Tecnoedu.com, 2016)

Entre las funciones auxiliares se encuentran los códigos M que controlan la precisión de la máquina, pueden escribirse antes del primer ciclo de interpolación, durante la ejecución de una secuencia o al final de un movimiento o desplazamiento de la herramienta. A continuación se describe la acción que cumplen las principales funciones M y son resumidas en el Anexo A-3:

- M03, M04, M07, M08 se ejecutan en el mismo tiempo que el movimiento de la herramienta, M03 y M04 necesitan la función S para activarse.
- M00, M01, M02, M05, M09, M17, M30, M98 se activan después del movimiento completo de la herramienta.
- M02, M06, M10, M11, M19, M30, M60, M99 por seguridad se deben programar en bloques separados.

Por lo general las funciones M se encuentran definidas por defecto en las propias máquinas CNC debido a su importancia.

Así también el manejar secuencias para cumplir con precisión y parametrización de contornos complejos necesita de una gran cantidad de datos, lo que ocasiona la limitación de la velocidad de maquinado, por ello se emplean bucles que permiten que se realice una acción en secciones de la trayectoria sin repetir varias veces el mismo código, siempre y cuando la condición y variable que lo acompañe deje de aplicarse.

Las condiciones son escritas arbitrariamente por el programador utiliza operadores lógicos entre corchetes y permite comparaciones entre variables, operaciones lógicas, resultados de medición, entre otros. La Tabla 1.2 contiene una serie de bucles con su respectiva condición de uso común.

Tabla 1.2: Bucles y condiciones de uso común en programación CNC

BUCLE	DESCRIPCIÓN	CONDICIÓN
AND	Y lógico	Comparación lógica.
IF/ ENDIF	Inicio bucle If/ fin del bucle	Decide que bloque de programación se cumple.
ELSE	Inicio de bloque de programa alternativo.	Se acciona si el bucle IF no se cumple.
FOR/ ENDFOR	Inicio/ Fin de bucle contador.	Número fijo de pasadas.
REPEAT	Repetición de un bucle de programado.	Repetir secciones de programa hasta que se cumple.
UNTIL	Fin del bucle y regresa al inicio hasta que se cumpla la orden final.	Debe cumplirse para que se detenga el bucle REPEAT.
WHEN	Bucle de comprobación de acciones cíclicas.	Comprobación de orden.
WHILE/ ENDWHILE	Inicio/Fin bucle WHILE	Se cumple mientras este activa la primera orden.

Fuente: (Autor)

1.4.4.2 Software de edición de Post-procesadores

Existen diversos software que permiten la edición y modificación de post-procesadores así como software CAD/CAM que disponen de módulos de creación de la interfaz para extraer el código G, entre los que se destacan:

- PPBuilder y FastPost pertenecen a la marca Cenit permite la creación y adaptación de post-procesadores específicos para máquinas herramientas que utilicen alguna versión del software CATIA, versátiles y amigables con el usuario, manejan un lenguaje macro de procesos CN, de fácil instalación, libre de licencias, con tiempos polinomiales probabilísticos (PPs) estándar y documentación disponible en línea. (Cenit Int, 2015)



Figura 1.22: Logotipo del software fastPOST de Cenit

Fuente: (Cenit Int, 2015)

- EDITCNC: es un módulo que se adapta a cualquier tipo de software CAD/CAM incluye características exclusivas para programación y edición CNC, como buscar, reemplazar, deshacer/rehacer, tamaño de archivos limitados por la capacidad del propio ordenador. Para la programación es un método eficiente al combinarse fácilmente con el software CAD/CAM, PC y a veces con la interfaz de gráficos de múltiples documentos. (Software.informer, 2016)



Figura 1.23: Logotipo de EDITCNC para software CAD/CAM

Fuente: (Software.informer, 2016)

- IMSpost transforma los datos CL a códigos (G/M) específicos requeridos por el CN de la máquina. Cuenta con una biblioteca flexible y amigable con el usuario, así como una lista de control e interfaz gráfica de usuario (GUI) de Windows que funcionan con varias plataformas hardware. Sus ventajas

es la versatilidad al usar los GUI y disponibilidad para tornos y centro de mecanizado. (Ims Software, 2015)



Figura 1.24: Logotipo del software IMSpost
Fuente: (Ims Software, 2015)

- UltraEdit: es un editor de texto que permite modificar columnas, bloques, multi-símbolos de intercalación y selección múltiple. Su entorno de trabajo es personal, con un menú lleno de íconos didácticos para un uso amigable con el usuario, es un buscador de archivos realmente potente que soporta secuencias de comandos, herramientas personalizadas, macros y plantillas inteligentes, permite la edición de archivos de hasta 4GB. La Figura 1.25, indica la pantalla de trabajo del software UltraEdit.

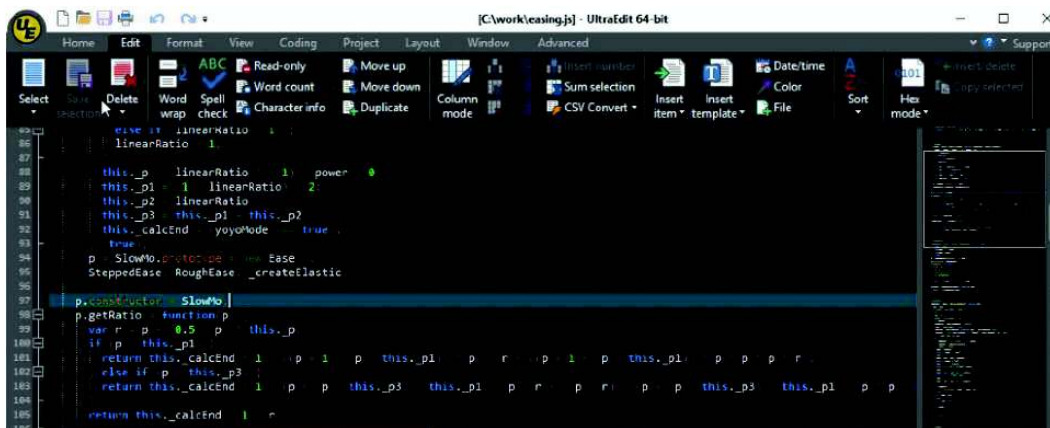


Figura 1.25: Pantalla de trabajo del software UltraEdit
Fuente: (Idm, 2016)

- POSTBUILDER: es un entorno de programación y edición de post-procesadores se encuentra como un módulo de NX CAM que pertenece a la marca SIEMENS, usa un lenguaje conversacional y ambiente amigable de trabajo por el cual en la interfaz gráfica se ingresa los parámetros de los códigos necesarios para el control numérico y se obtiene el programa CNC de pieza. Cuenta con una biblioteca de post-procesadores compatibles con algunos controladores y máquinas herramientas. La creación del programa

está disponible para cualquier tipo de configuración de máquina.
(SIEMENS, 2016)

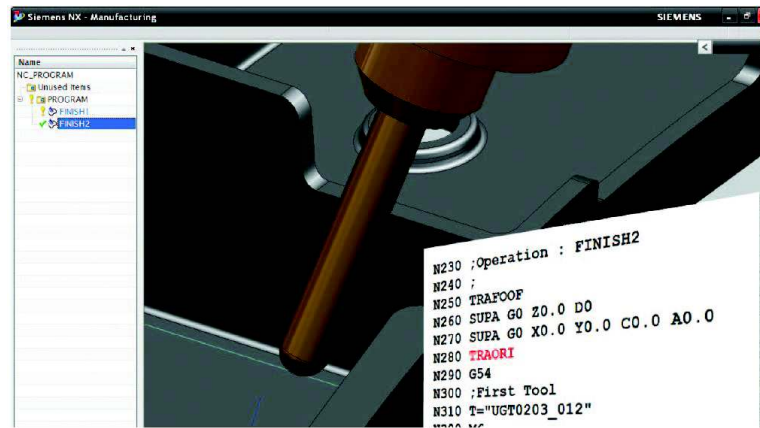


Figura 1.26: Pantalla de NX de salida de códigos G del Postbuilder

Fuente: (Siemens, 2011)

- CAM-POST de la marca ICAM es un software avanzado e independiente en el cual se puede generar post procesadores APT, trabaja con sistemas CAD/CAM/PLM, Catia V4 y V5, Unigraphics, Mastercam, y otros controles CNC, sus funciones trabajan en mecanizado de multi ejes. (Icam, 2015)



CAM-POST – SOLUCIÓN PARA CREACIÓN DE POSTPROCESADORES CNC

Figura 1.27: Logotipo de la marca ICAM del software CAM-POST

Fuente: (Icam, 2015)

De la misma manera que existe software originales en los que se puede crear o personalizar los post-procesadores para determinado CN o máquina herramienta, también existen software genéricos que se adaptan a las necesidades de cualquier software. A continuación se mencionan los siguientes:

- G-Post de la marca Austin N.C., Inc., se trata de una herramienta versátil que se adapta a un sin número de CAM entre los que se destaca CATIA, NX (Unigraphigcs), Mastercam, etc. Posee una integración del sistema CAD/CAM que proporciona una potente capacidad de macro sistemas de menús dinámicos, mediante la producción de datos de coordenadas y

códigos G&M. Se implementa en la interfaz de usuario final y trabaja para máquinas de varios ejes. (Austin N.C., Inc., 2015)



Figura 1.28: Logotipo de la marca Austin del software G-Post/CAM
Fuente: (Austin N.C., Inc., 2015)

- EraPost es un software orientado a objetos desarrollados con Microsoft Visual C++ y versiones unix, es un módulo genérico con directorios predeterminados personalizables, con capacidad de procesamiento de línea y pruebas. Incluye un conjunto de herramientas para realizar la gestión de datos en controladores numéricos compatibles con sistemas CAD/CAM, sus post-procesadores son utilizados en CNC de 4 y 5 ejes, y tornos etc. (Technology Cad/Cam, 2015)

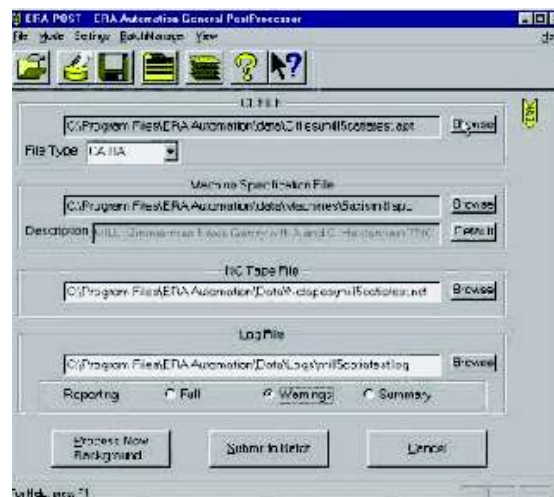


Figura 1.29: Pantalla de trabajo de Era Post
Fuente: (Technology Cad/Cam, 2015)

CAPITULO II

ESPECIFICACIONES TÉCNICAS DEL TORNO ROMI

C420

Este apartado contiene las especificaciones de los elementos para diseñar un post-procesador: controlador numérico y tipo de máquina considerados en las sub secciones 1.4.2.1 y 1.4.2.2 respectivamente. Son aplicados para el torno CNC Romi C420, para su descripción se procede a detallarlos en las secciones 2.1 y 2.2 correspondientes a las características del hardware (tipo de máquina) y características del software (CN Sinumerik 828D), componentes, funciones y ventajas del mismo. En cada una se recopila la información que facilite al lector a tomar los datos necesarios para el trabajo a realizarse.

2.1 Características físicas del torno Romi C420

El torno ROMI C420 se caracteriza por tener un diseño compacto con un sistema de transmisión directo sin pérdidas, lo que facilita su mantenimiento y limpieza. Es de accionamiento manual e hidráulico. Trabaja con un motor C.A accionado por poleas y correas micro V, régimen de 12.5 cv/kW y potencia total instalada de 15 kVA. Cuenta con un husillo principal de lubricación permanente, husillos de bolas circulantes que manejan el desplazamiento en las direcciones “X” y “Z” templados y rectificadas al igual que las guías de los carros longitudinal y transversal que permiten aceleraciones y velocidades elevadas.

Es un equipo de alta precisión geométrica y rigidez, para su nivelación posee un juego de tornillos y tuercas y luminaria fluorescente que permite al operario visualizar el interior del equipo.

En la Figura 2.1, se muestra un torno ROMI perteneciente a la línea C modelo C420, junto a él se encuentra la Tabla 2.1, que contiene la información de los datos de placa que caracteriza a cada tipo de máquina.

Tabla 2.1: Datos de placa del torno Romi C420



Figura 2.1: Torno Romi C420
Fuente: (Siemens, 2009)

Modelo	C420
Velocidad máxima del husillo	4000 [rpm]
Serie N°	016-018513-448
Año de construcción	2014
Peso neto	2.8 [T]
Fuente de poder	220 [V], 50/60 [Hz]
Corriente de carga	52 [A]
Corriente del motor principal	31 [A]
Cortocircuito y sobrecarga de corriente	40 [kA]

Fuente: (Autor)

El equipo posee un sistema de lubricación centralizado, con un sensor de nivel de aceite y un filtro de línea, su depósito es a través de una motobomba de 2,4 [bar] de presión y capacidad del tanque de 115 litros y 17 [lpm]. En partes específicas se emplea un lubricante soluble con un 60% de aceite mineral. La Figura 2.2, contiene información de seguridad de las partes de lubricación del torno Romi C420 señalados en un plano y una tabla la frecuencia de cambio y cantidad.

⚠ ATENCIÓN!

PLANO DE LUBRICACIÓN - ROMI C 420

	TIPOS DE ACEITE	VOLUMEN DEL ESTANQUE	AJUSTE DEL SISTEMA / APLICACIÓN	PERIODO DE RELLENO / REEMPLAZO	LIMPIEZA DEL ESTANQUE	VERIFICACIÓN DE LOS DOSIFICADORES
1	SISTEMA DE LUBRICACIÓN AUTOMÁTICA ISO VG 68 DIN 51502 CG-LP	1,8 LITROS	1,5 CC / INYECCIÓN	100 HORAS (MAX.)	A CADA 12 MESES	A CADA 12 MESES
2	LUBRICADOR DEL SISTEMA NEUMÁTICO ISO VG 10 DIN 51502 CL-H	50 ml	1 GOTAS / 5 ACTIVACIONES	VERIFICACIÓN SEMANAL	A CADA 6 MESES	N.A.
3	LUBRICACIÓN MANUAL DE LA CONTRAPUNTA ISO VG 68 DIN 51502 CG-LP	N.A.	3 APLICACIONES	8 HORAS	N.A.	N.A.
4	LUBRICACIÓN MANUAL DEL PLATO GRASA MOLYKOTE TP-42	N.A.	3 APLICACIONES	8 HORAS	N.A.	N.A.
5	SISTEMA DE REFRIGERACIÓN FLUIDO CON MÍNIMO 60% DE ACEITE MINERAL	63 LITROS (0.9m) 110 LITROS (1.8m)	N.A.	COMO REQUERIDO	MENSUAL	N.A.

Para mayores informaciones consulte el Manual de Mantenimiento

Figura 2.2: Información de seguridad de las partes de lubricación del torno Romi C420
Fuente: (Romi, 2015)

Cada componente importante del torno Romi C420 cuenta con esta información para visualización del operador, lo que lo convierte en un equipo amigable. Así también cuenta con los manuales de especificaciones de capacidades de recorridos, avances y límites, en la Tabla 2.2, se encuentran los más importantes.

Tabla 2.2: Especificaciones de capacidades del torno Romi C420

Altura de puntas	215 [mm]
Distancia entre puntas	1 [m]
Diámetro admisible sobre la bancada	430 [mm]
Diámetro admisible sobre el carro transversal	200 [mm]
Diámetro admisible sobre las alas de la mesa	400 [mm]
Recorrido transversal del carro (eje X)	220 [mm]
Recorrido longitudinal del carro (eje Z)	1065 [mm]
Avance rápido longitudinal	10000 [mm]
Avance rápido transversal	10000 [mm]
Número de posiciones/ herramientas	8 [un]
Caras de fijación de porta herramientas	2 o 3

Fuente: (Romi, 2015)

Tabla 2.3: Dimensiones de la bancada, cabezal y avances del torno Romi C420

Anchura	305 [mm]
Altura	350 [mm]
Diámetro máximo de agarre del husillo	60 [mm]
Nariz de husillo	ASA A2-5"
Rango de velocidades del husillo	4 a 4000 rpm
Avance rápido longitudinal (eje Z)	10 [m/min]
Avance rápido longitudinal (eje X)	10 [m/min]
Accionamiento de la caña	Manual
Recorrido máximo de la caña	210 [mm]
Diámetro de la caña	60 [mm]
Cono interno de la caña	4 [CM]

Fuente: (Romi, 2015)

La Tabla 2.3 muestra las dimensiones del: porta herramienta, bancada, cabezal, y los avances en el eje X y Z, que serán la base para la programación del post-procesador y servirá para evitar que el equipo o el operario sufra algún accidente por los límites de trabajo.

2.2 Características del software para el torno Romi C420

El torno ROMI C420 opera con un software Siemens AG 2009-2013 que tiene las siguientes características:

- Base: Linux
- Versión interna: V04.05+SP2
- Versión real de actualización: 05.06.55.00_828D_02
- Controlador Numérico: Sinumerik 828D (Siemens, 2011)

A continuación se profundiza en el controlador numérico del torno Romi C420 por ser uno de los elementos del cual depende la estructura del post-procesador.

2.2.1 Controlador Numérico del torno Romi C420

El torno Romi C420 usa un controlador numérico Sinumerik 828D, versión 2.6 de la marca SIEMENS, es completamente personalizado para el equipo y combina la estructura modular del sistema de accionamiento SINAMICS S120, CNC, PLC, interfaz de usuario y control de ejes CNC, optimizando el rendimiento de la máquina y asegurando su simplicidad de diseño. (Siemens, 2011)

El controlador digital es modular lo que permite un intercambio de datos por USB (Universal serial bus), CF (Compact Flash) e interfaces de ethernet para red de fábrica con conexión física por cables estructurados RJ45 de un rango de 10/100 [Mbps], su manejo puede ser hasta a través de un teléfono móvil y el acceso a la red se encuentra disponible directamente desde el gestor de programas para una operación más eficiente.

No usa disco duro, batería o ventilador, su memoria de almacenamiento es NVRAM (Non volatile random access memory), lo que garantiza que la información almacenada no se perderá a pesar de que la fuente de energía no

alimente al sistema. Permite la expansión de memoria por medio de una CF que se inserta en los puertos del panel del operador de la figura 2.3.



Figura 2.3: Puertos de transferencia de información en el panel de operación

Fuente: (Siemens, 2009)

Adicionalmente utiliza la interfaz RS232C que funciona como una interfaz serial o módem para facilitar el envío de mensajes, y una versión PPU 260/261 de mejora de rendimiento. Su capacidad de almacenamiento se indica en la Tabla 2.4.

Tabla 2.4: Capacidad de la versión PPU 260/261 del controlador Sinumerik 828D

Memoria de trabajo	3MB
Número máximo de herramientas/filos de corte	128/256
Número máximo de ejes/husillo	6

Fuente: (Siemens, 2009)

Esta versión tiene un rango de exactitud de corte de 80 bit NANO en puntos flotantes alrededor de la trayectoria como se aprecia en la siguiente Figura 2.4.

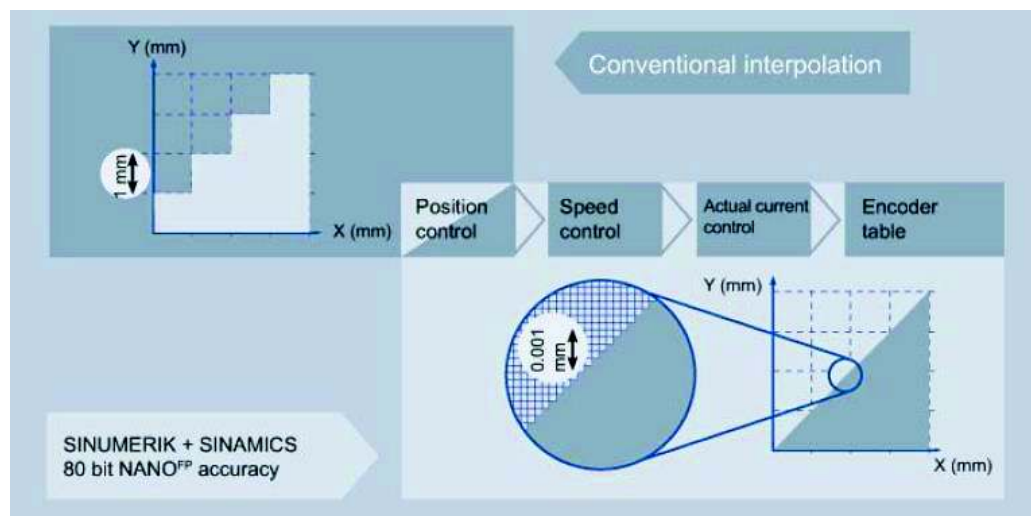


Figura 2.4: Exactitud de corte de 80 bit del controlador Sinumerik 828D

Fuente: (Siemens, 2009)

2.2.1.1 Paneles del controlador numérico Sinumerik 828D

El torno Romi C420 está formado por 3 paneles para ingresar información y dar instrucciones al controlador, estos paneles son:

- a) Panel de exhibición
- b) Panel de programación
- c) Panel de operación

El panel de exhibición permite visualizar los eventos gráficos y de operación que el usuario ingresa, cuenta con botones de navegación que son denominados como softkeys (ver Figura 2.5).

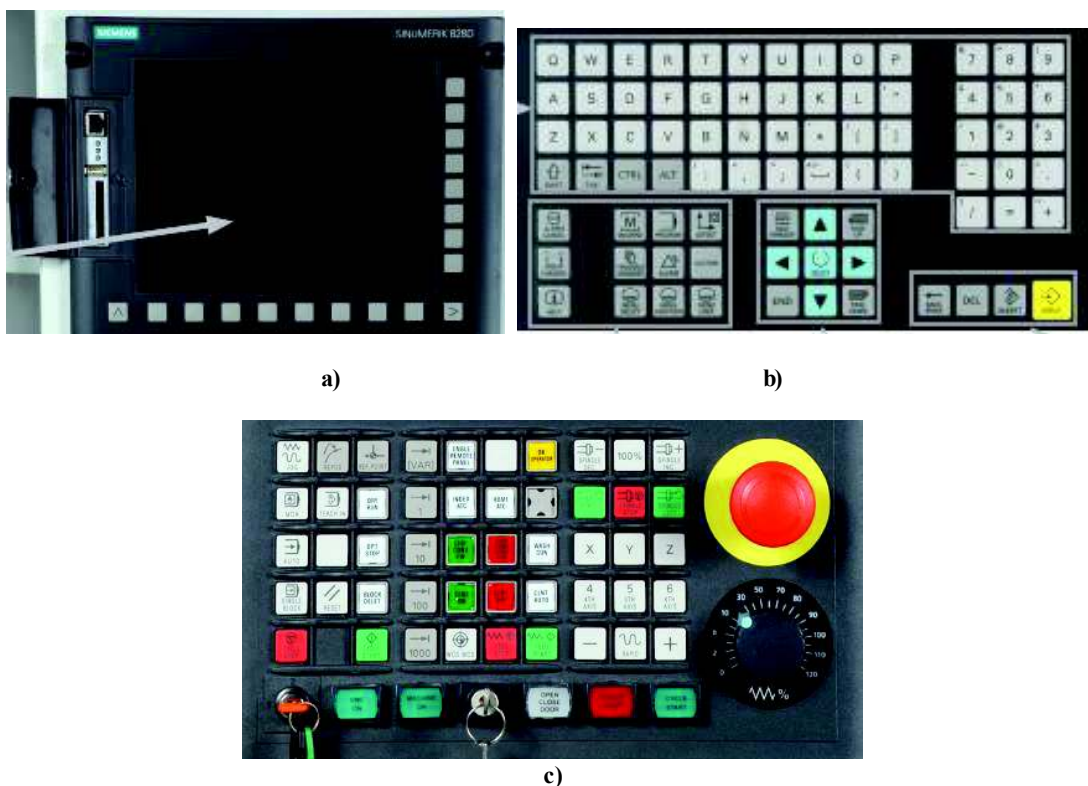


Figura 2.5: Paneles del controlador Sinumerik 828D del torno Romi C420: a) panel de exhibición, b) panel de programación y c) panel de operación

Fuente: (Siemens, 2009)

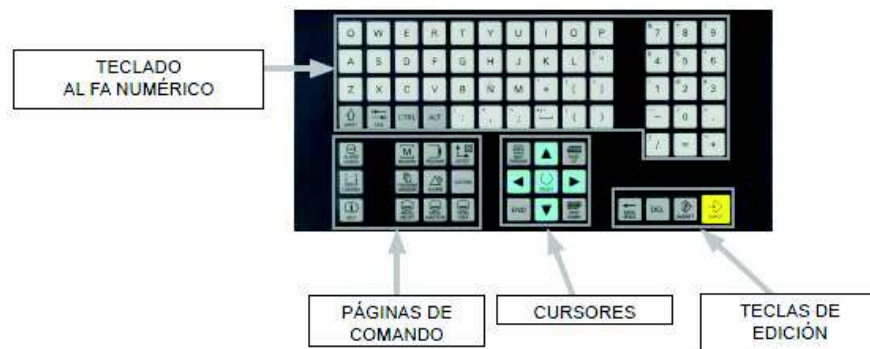
En la Tabla 2.5 se encuentra la información referente a la disposición, tamaño, color de la pantalla, teclado y el medio de transferir datos al sistema del panel de exhibición del torno Romi.

Tabla 2.5: Características del panel de exhibición del operador Sinumerik 828D

Disposición	Horizontal. (Ver Figura 2.1)
Tamaño	10.4"
Color	TFT-LCD(Pantalla de cristal líquido de transistores de película delgada)
Teclado	Tipo QWERTY con teclas de carrera corta.
Transferencia de datos	USB, CF e interfaces Ethernet

Fuente: (Siemens, 2009)

El panel de Programación está formado por un teclado alfa numérico que permite modificación de letras y números dentro de un comando, por páginas de comando para acceder a las páginas principales, por cursores para moverse dentro de la interfaz y por teclas de edición para el ingreso de acciones.

**Figura 2.6:** Componentes del panel de operación del torno Romi C420

Fuente: (Siemens, 2009)

El panel de operación contiene una botonera completa para hacer cumplir acciones de activación y desactivación de ciclos, trayectorias, botón de parada de emergencia, perilla de desplazamiento para avance de ejes, es la ayuda para trabajar en los puertos, entre otras.

La interfaz de usuario es amigable y permite el acceso de una base de datos completa sobre distintos elementos del torno, como ejemplo en la Figura 2.7, se observa la pantalla con los datos de herramientas para el torno Romi C420.

El operador puede ingresar datos de funciones de programación como: valor de compensaciones de trabajo, funciones auxiliares, decalajes de origen, tipo, filos de corte, longitud de herramientas, dirección del husillo de rotación, monitoreo de

tiempo de vida útil de la herramienta y corte en minutos, cantidad de piezas realizadas.

The screenshot shows a 'Tool list' window with a table of tool data and a control panel on the right. The table has columns for Loc., Type, Tool name, ST, D, Length X, Length Z, Radius, and Loc. leng. The control panel includes buttons for 'In manual', 'Edges', 'Unload', 'Delete tool', 'Magazine selection', and 'Sort'. The date and time '07/23/09 8:58 AM' are displayed in the top right corner.

Loc.	Type	Tool name	ST	D	Length X	Length Z	Radius	Loc. leng
1		SCHRUPPER_80	1	1	138.132	30.890	0.800	93.0 80 11.0
2		SCHRUPPER_55	1	1	134.310	35.920	0.800	93.0 55 11.0
3		SCHLICHTER_35	1	1	131.620	33.820	0.400	93.0 35 11.0
4		FRAESER_6_ST	1	1	41.320	30.000	6.000	4
5		ZENTRIERER_ST	1	1	12.320	87.210	3.000	118.0
6		BOHRER_5_ST	1	1	11.000	106.200	5.000	118.0
7		GEBO_ST	1	1	9.500	87.000	5.000	1.000
8		STECHER_3	1	1	65.720	26.420	0.100	3.000 11.0
9		GEWINDESTAHL_1.5	1	1	45.080	48.310	0.200	
10		SCHRUPPER_80	2	1	138.130	30.820	0.800	93.0 80 11.0
11		SCHRUPPER_80	3	1	138.150	30.840	0.800	93.0 80 11.0
12								
13								
14								
15								
16								
17								

Figura 2.7: Pantalla de lista de datos de herramientas del panel de exhibición
Fuente: (Siemens, 2009)

Su entorno de trabajo permite escoger cualquiera de los nueve idiomas y 12 extensiones de idiomas disponibles para la Interfaz hombre-máquina (HMI) del software operativo que se utilizan solo bajo petición del mismo. (Ver Tabla 2.6).

Tabla 2.6: Idiomas y extensiones para el CN Sinumerik 828D

IDIOMAS	EXTENSIONES DE IDIOMAS PARA HMI
Chino simplificado	Danés
Chino tradicional	Finlandés
Alemán	Japonés
Inglés	Holandés
Francés	Polaco
Italiano	Ruso
Coreano	Rumano
Portugués	Sueco
Español	Eslovaco
	Húngaro
	Checo
	Turco

Fuente: (Siemens, 2009)

2.2.1.2 Funciones del controlador numérico Sinumerik 828D

De acuerdo a las características del controlador Sinumerik 828D y funciones comunes de programación antes mencionadas, se encuentran otras especiales y precisas para el CN que son gráficas, de avance y programación. Las mismas que dependen de la precisión, complejidad de la pieza a obtenerse, la acción de mecanizado, herramientas y desempeño. A continuación son detalladas junto con sus aspectos relevantes.

- Funciones gráficas

Maneja elementos animados con soporte de ciclos dinámicos, simulación gráfica de la trayectoria seguida por la herramienta durante el mecanizado de la pieza en 2D. Uso de macros para programación paramétrica, variables de usuario y sistema, ofrece un soporte de entrada de funciones con el movimiento de secuencia de imágenes. Estas opciones lo convierten en un sistema de herramienta didáctica para una mejor comprensión del proceso, la Figura 2.8, indica la trayectoria de corte de una de las herramientas de desbaste.



Figura 2.8: Visualización de la trayectoria de corte durante el maquinado

Fuente: (Siemens, 2009)

- Funciones de avance

Se encargan de controlar y facilitar el avance de operación del equipo en diferentes unidades: mm/min, rev/min, mm/rev, así también maneja el

posicionamiento exacto de la herramienta al maquinar esquinas o curvaturas, su modo de parada es preciso. Entrega información de medidas y velocidad en el sistema métrico o pulgadas según la necesidad ya sea en el modo absoluto o incremental.

- Funciones de programación

El objetivo de estas funciones especiales de programación para el CN Sinumerik 828D se encuentra el trabajar con un contador de piezas, tiempo de procesamiento de bloque de 6 [ms], directorio clasificado de programas y subprogramas con capacidad de almacenamiento de 3MB de memoria y guardar hasta 300 programas de piezas, editar y crear códigos en programas, posee un soporte de selección de planos de trabajo así como manejo de macros y ciclos SIEMENS de ejecución de operación.

Previo a tratar la definición y uso de los ciclos Siemens es necesario conocer las funciones preparatorias que la máquina utiliza para ejecutar una acción o receptor determinada información. Emplea códigos que son modales cuando al ser programadas solo finalizarán al cancelarse o ser modificadas por otra, y serán no modales cuando son válidas solo en el bloque que fueron programadas. En el anexo A-1 se encuentran estas funciones. El usuario debe tener la capacidad de entender y conocer las funciones auxiliares que trabajan con cada uno de los códigos modales. A continuación se tiene ejemplo de ellas.

G01: *Interpolación lineal (Función modal)*

Se emplea para cortes lineales y se escribe en una línea de programación, donde antecede el código G01 seguido de X (valor del diámetro), Z (coordenada a alcanzarse) y F (avance de trabajo). Se escribe: **G01 X_ Z_ F_**

G71: *Ciclo automático de desbaste longitudinal (Función no modal)*

Es programado en dos líneas subsecuentes, en el primero se usa las funciones U (profundidad de corte), R (valor de alejamiento en el eje transversal para retorno al Z inicial), en la segunda línea usa a: P (número del bloque que define el inicio del perfil), Q (número del bloque que define el final del perfil), U (sobre espesor

para acabado en el eje X), W (sobre espesor para acabado en el eje Z), F (avance de trabajo). Se escribe: **G71 U_ R_;** **G71 P_ Q_ U_ W_ F_**

Los ciclos especiales SIEMENS se encuentran dentro de las páginas de programación del controlador son llamados por códigos ISO su fin es simplificar la programación y acortar el tiempo de mecanizado de algunas operaciones. El CN Sinumerik no se mezcla el dialecto ISO con los ciclos Siemens en un mismo bloque pero si en un mismo programa por lo que para hacerlo es necesario activar los códigos:

- G290: Lenguaje de programación Siemens
- G291: Lenguaje de programación ISO

A continuación se presenta un ejemplo de la programación obtenida con el uso de los ciclos siemens y dialecto ISO en un mismo programa. (Romi, 2016)

Ejemplo:

```

G291                Activa lenguaje de programación ISO
G21 G40 G90
G55 G0 X300 Z300
T0808;
G97 S1200 M3
G0 X0Z10
F0.12
G290                Activación lenguaje de programación Siemens
CYCLE83 (10,0,5,,-30,,5,90,0,0.5,50,1,0,1,1,1,1.6,10,1,12211111)
G55 G0 X300 Z300
M30

```

Así se puede suprimir líneas de programación usando un ciclo que necesita datos relevantes para realizar su función. El anexo A-4 indica los ciclos siemens manejados por el torno Romi C420 y función específica de trabajo. La Figura 2.9, muestra la pantalla para usar el ciclo siemens 83.

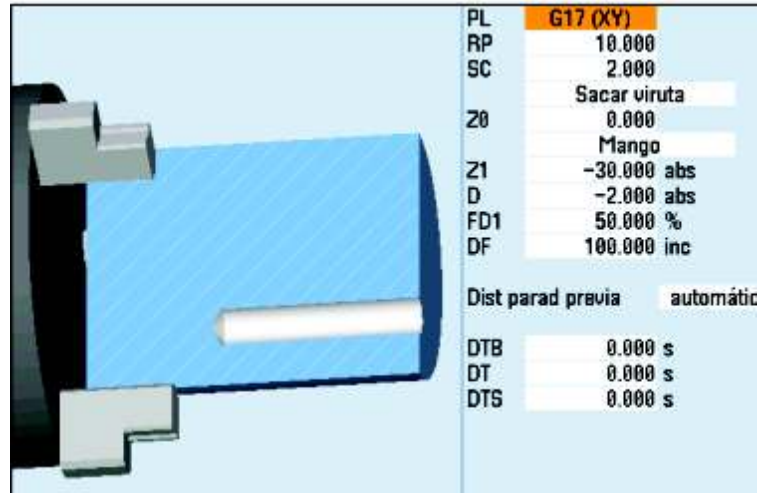


Figura 2.9: Pantalla de llamado del ciclo siemens 83

Fuente: (Romi, 2016)

Con el uso de sensores, alarmas, diagnósticos, control de energía o en ciertos casos el bloqueo del equipo, se puede controlar el mantenimiento del equipo. Integra el control del husillo, una base de datos completa de herramientas.

2.2.1.3 Ventajas del controlador numérico Sinumerik 828D

Este tipo de control numérico permite una mejoría en el manejo de datos e información para un maquinado rápido, preciso y fácil, lo que se demuestra en las siguientes sentencias de utilidad de este CN.

- Reducción de tiempos de parada de la máquina por medio de base de datos con acceso al cambio de nombres de herramientas, filos de corte, alarma de aviso para la preparación de una nueva herramienta, solicitud del cambio manual de la misma y constantes diagnósticos.
- Monitoreo rápido del tiempo de mecanizado, que pueden ser tiempos estandarizados según sea la necesidad.
- Al poseer un hardware similar entre los tornos CNC y fresas CNC Romi, existe una amplia gama de repuestos para su adquisición.
- El operario no necesita de mayor experiencia debido a que posee una entrada de pantallas con elementos animados de fácil orientación al controlador.
- Simplicidad para elegir el medio de almacenamiento masivo.

- Fácil movimiento de datos dentro del CN usando el comando RCS (Rich communications services) desde un computador hacia el panel de control de la máquina CNC.
- Expansión de la memoria del CNC por medio de una tarjeta de memoria de uso industrial que puede ser insertada en el panel del CN y no necesita de un software para lectura o escritura de la tarjeta en el computador.



Figura 2.10: Tarjeta de memoria de uso industrial SanDisk
Fuente: (Siemens, 2009)

CAPITULO III

SELECCIÓN DEL SOFTWARE Y DISEÑO DEL POST

PROCESADOR PARA EL TORNO ROMI C420

GENERADOR DE CÓDIGOS G

El presente capítulo muestra la selección del software para crear el post procesador, usando el método ordinal corregido de criterios ponderados y aplicado a alternativas de la sección 1.3.3, este método valora criterios de manera cualitativa y cuantitativa dependiendo de la importancia de uno u otro al elegir el software CAD/CAM. Después de escoger el programa con el que se trabajará se procede a diseñar el post-procesador, una vez analizada las características del controlador numérico y especificaciones de la máquina.

3.1 Selección del software para diseñar el post-procesador

El software que se elija debe ser el adecuado para la creación del post procesador y debe reunir ciertos parámetros en cuanto a su accesibilidad, facilidad de manejo, tipo de archivo de importación del CAD/CAM y posibilidad de personalización del GUI (Graphical user interface). Con este fin se utilizó el método ordinal corregido de criterios ponderados con el cual se obtiene resultados globales de la mejor alternativa sin tener que evaluar el peso de cada criterio, en su proceso se construye tablas en las cuales cada uno de los criterios es comparado con el resto y se le asigna los valores de 0, 0.5 y 1 dependiendo de la importancia. En la Tabla 3.1 se encuentra las consideraciones para valorar criterios de selección del software:

Tabla 3.1: Consideraciones para valorar criterios de selección del software

VALOR	CONSIDERACIÓN
1	Si el criterio de la fila es de importancia superior al de la columna
0.5	Si el criterio de la fila es de importancia equivalente al de la columna
0	Si el criterio de la fila es de importancia inferior al de la columna

Fuente: (Riba & Romeva, 2002)

La sección 1.3.3 describe las características relevantes de software CAD/CAM comunes que poseen el módulo para trabajar en la creación de la interfaz del post procesador, por lo que en la Tabla 3.2 se tiene como solución los siguientes:

Tabla 3.2: Alternativas de software para crear el post-procesador

ALTERNATIVAS	
A	NX
B	MasterCAm
C	BobCAM
D	Catia

Fuente: (Autor)

Cada alternativa es evaluada bajo los siguientes criterios que se consideraron determinantes y se muestran en la Tabla 3.3.

Tabla 3.3: Criterios de evaluación del software para el post-procesador

CRITERIO	
I	Accesibilidad
II	Adaptabilidad
III	Facilidad de manejo
IV	Personalización

Fuente: (Autor)

- I *Accesibilidad:* en este criterio se toma en cuenta que el usuario posea el software de CAD/CAM que le permita realizar su tarea, así como las herramientas e información necesarias.
- II *Adaptación:* esto se basa a las extensiones de los archivos de salida del CAD que deben ser compatibles con las extensiones que entienda el controlador Sinumerik 828D.
- III *Facilidad de manejo:* es una opción que depende netamente del usuario y la capacidad de acoplarse con el manejo y programación en una interfaz de un software.
- IV *Personalización:* este parámetro obedece a las características propias del software CAM que permita la modificación del archivo que contenga la programación del post-procesador.

La Tabla 3.4 muestra la valoración de acuerdo a la comparación entre cada criterio, lo que permite conocer la importancia de cada uno. Es así como los criterios I y II tienen una ponderación de 0,35 y los criterios III y IV de 0,15.

Accesibilidad = Adaptabilidad > Facilidad de manejo = Personalización

Tabla 3.4: Evaluación del peso específico de cada criterio de selección

CRITERIO	I	II	III	IV	$\Sigma + 1$	PONDERADO
I: Accesibilidad		0,5	1	1	3,5	0,35
II: Adaptabilidad	0,5		1	1	3,5	0,35
III: Facilidad de manejo	0	0		0,5	1,5	0,15
IV: Personalización	0	0	0,5		1,5	0,15
				SUMA	10	1,00

Fuente: (Autor)

En las siguientes tres tablas se estima cada criterio respecto a las soluciones planteadas. Por ello la Tabla 3.5, muestra la accesibilidad al software y se obtuvo:

NX = MasterCam > BobCADCAM > Catia

Tabla 3.5: Evaluación del peso específico del criterio I accesibilidad

ACCESIBILIDAD	A	B	C	D	$\Sigma + 1$	PONDERADO
A: NX		0,5	1	1	3,5	0,35
B: MasterCam	0,5		1	1	3,5	0,35
C: BobCAM	0	0		1	2	0,20
D: CATIA	0	0	0		1	0,10
				SUMA	10	1,00

Fuente: (Autor)

En la Tabla 3.6 se presenta adaptación a controladores Siemens frente al software y se tiene:

NX = BobCADCAM > MasterCAM > Catia

Tabla 3.6: Evaluación del peso específico del criterio II adaptabilidad

ADAPTABILIDAD	A	B	C	D	$\Sigma + 1$	PONDERADO
A: NX		0,5	0,5	1	3	0,30
B: MasterCam	0,5		0,5	0,5	2,5	0,25
C: BobCAM	0,5	0,5		1	3	0,30
D: CATIA	0	0,5	0		1,5	0,15
				SUMA	10	1,00

Fuente: (Autor)

Frente al criterio de facilidad de manejo en la Tabla 3.7, se obtuvo:

$$NX > \text{MasterCAM} = \text{BobCADCAM} > \text{Catia}$$

Tabla 3.7: Evaluación del peso específico del criterio III facilidad de manejo

FACILIDAD DE MANEJO	A	B	C	D	$\Sigma + 1$	PONDERADO
A: NX		1	1	1	4	0,40
B: MasterCam	0		0,5	1	2,5	0,25
C: BobCAM	0	0,5		1	2,5	0,25
D: CATIA	0	0	0		1	0,10
				SUMA	10	1,00

Fuente: (Autor)

Finalmente en la Tabla 3.8 se presentan los resultados de la posibilidad de personalización del post-procesador creado. Por lo que se tuvo:

$$NX = \text{MasterCAM} > \text{BobCADCAM} > \text{Catia}$$

Tabla 3.8: Evaluación del peso específico del criterio IV personalización

PERSONALIZACIÓN	A	B	C	D	$\Sigma + 1$	PONDERADO
A: NX		0,5	0,5	1	3	0,3
B: MasterCam	0,5		1	0,5	3	0,3
C: BobCAM	0,5	0		1	2,5	0,25
D: CATIA	0	0,5	0		1,5	0,15
				SUMA	10	1

Fuente: (Autor)

Al haber culminado las comparaciones de cada criterio frente a las alternativas propuestas, se presenta la Tabla 3.9, en la que consta la sumatoria final de los valores ponderados y se indica una columna con el número de prioridad para cada solución. Es así como la solución A del software NX es seleccionado con una sumatoria de 0,33 para la creación del post-procesador, debido a que cumple con todos los requerimientos para hacerlo.

Tabla 3.9: Comparación de valores para la selección del software para el diseño del post-procesador

Criterios Alternativas	Criterios					
	Accesibilidad	Adaptabilidad	Facilidad de manejo	Personalización	Σ	PRIORIDAD
A: NX	0,123	0,105	0,060	0,045	0,33	1
B: MasterCam	0,123	0,088	0,038	0,045	0,29	2
C: BobCAM	0,070	0,105	0,038	0,038	0,25	3
D:CATIA	0,035	0,053	0,015	0,023	0,13	4

Fuente: (Autor)

3.2 Diseño del post-procesador

En esta sección inicia el proceso de programación del post procesador en el módulo CAM del software seleccionado, la Figura 3.1, resume los bloques organizados paso a paso para dar salida al código de una pieza.

Los pasos a seguir cumplen una secuencia lógica que comienza con el ingreso al módulo de post procesadores, se crea y posteriormente se modifica los bloques principales marcados con negrilla seguidos de sus sub bloques de programación, esto servirá de guía para aplicarlo al post procesador del controlador numérico Sinumerik 828D del torno Romi C420.

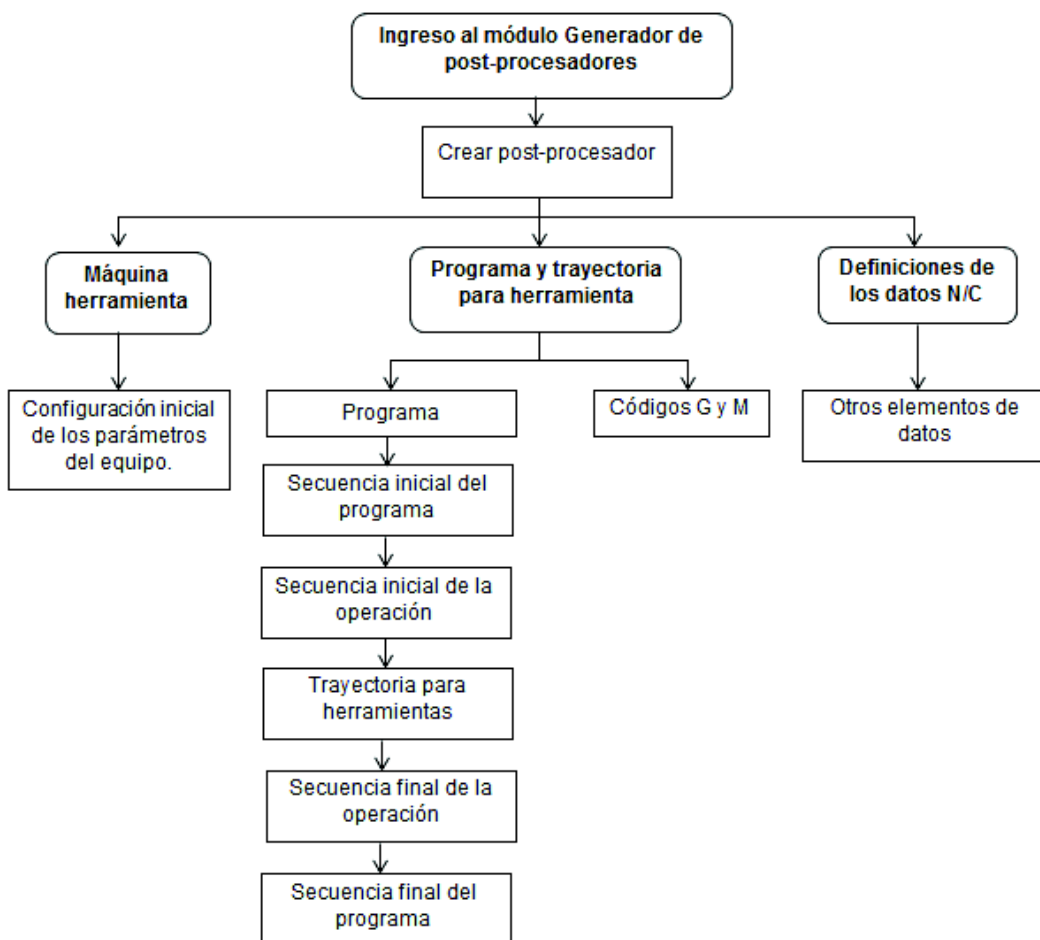


Figura 3.1: Pasos para crear un post-procesador

Fuente: (Autor)

El resultado es un programa que incluye: llamada de herramientas, decalajes, avances, velocidades, sentido de giro del cabezal y fin de programa.

3.2.1 Paso 1: Ingreso al módulo generador de post-procesadores del software para el controlador numérico Sinumerik 828D

Por medio de la interfaz de diseño denominada módulo generador de post-procesadores (Post Builder) de NX CAM se crea, diseña y modifica el post-procesador y realiza scripts con un lenguaje de programación TCL (Tool command language) para determinadas acciones adicionales que no se encuentran dentro de la biblioteca del programa, su acceso es con la dirección:

- Inicio > Todos los programas > Siemens NX 9.0 > Manufacturing > **Generador de post-procesadores.** (Ver Figura 3.2)

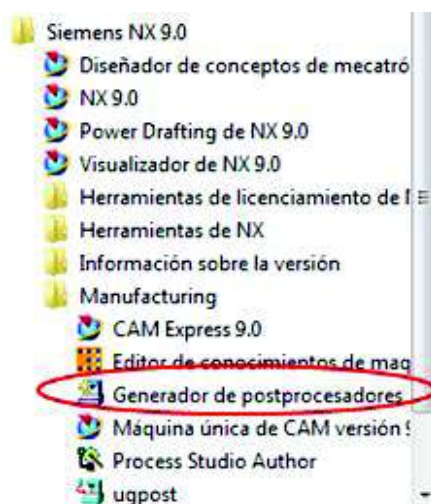


Figura 3.2: Acceso al módulo generador de post-procesadores de NX
Fuente: (Autor)

Al seleccionar el icono de la Figura 3.2, se espera unos segundos hasta que el programa despliegue la ventana de la Figura 3.3, que muestra la barra de herramientas que contiene los iconos de: nuevo, abrir, guardar, ayuda, opciones y archivo.

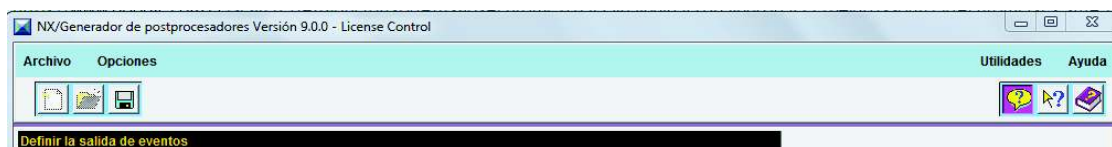


Figura 3.3: Barra de herramientas de la ventana del editor
Fuente: (Autor)

3.2.2 Paso 2: Creación del postprocesador para el controlador numérico Sinumerik 828D

El icono nuevo de la Figura 3.3 permite acceder a la ventana inicial donde se da el nombre al post-procesador de “Sinumerik_828D”, unidades de trabajo de la máquina, tipo de máquina-herramienta y controlador numérico, en este caso se selecciona un controlador genérico al que se adapta las características del controlador Sinumerik 828D del torno ROMI C420 para al cual es diseñado, esto se visualiza en la Figura 3.4.

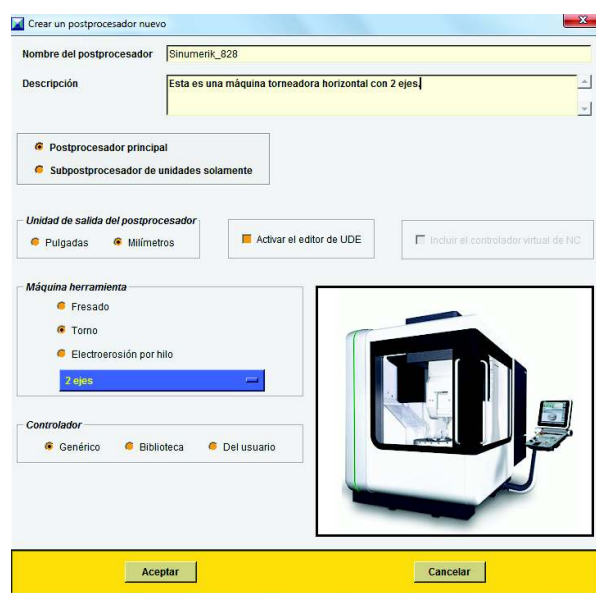


Figura 3.4: Ventana de selección del tipo de máquina-herramienta
Fuente: (Autor)

Al ingresar los datos generales del post-procesador se acepta y continúa a la ventana del generador de post-procesadores de NX que es una interfaz compuesta de las pestañas: Máquina herramienta, Programa y trayectoria para herramienta, Definiciones de los datos de N/C, Ajustes de salida, Controlador virtual N/C, como se puede ver en la Figura 3.5. En el proceso solo se modifican tres de las pestañas que serán los pasos siguientes, estas controlan un área específica del post-procesador que caracteriza al CN Sinumerik 828D.



Figura 3.5: Pestañas de la interfaz del generador de post-procesadores
Fuente: (Autor)

Para continuar es necesario guardar el archivo, al hacerlo automáticamente se crea las extensiones del programa: .def, .pui, .tcl del post-procesador escrita de la siguiente manera: Nombre del post-procesador. extensión.

Ejemplo:

- Sinumerik_828D.def

3.2.3 Paso 3: Modificación de la pestaña máquina herramienta para el controlador numérico Sinumerik 828D

En esta pestaña se encuentra la configuración general de los parámetros del torno como: límites de recorrido de los ejes lineales X, Y, Z, posición de inicio, resolución mínima del movimiento lineal, velocidad máxima de avance transversal, método por salida que es referencia a la torreta, número de torretas, multiplicadores de ejes y salida simétrica. Los valores para el torno Romi C420 se indican en la Figura 3.6, y la información se extrae de la Tabla 2.2 de la sección 2.1.

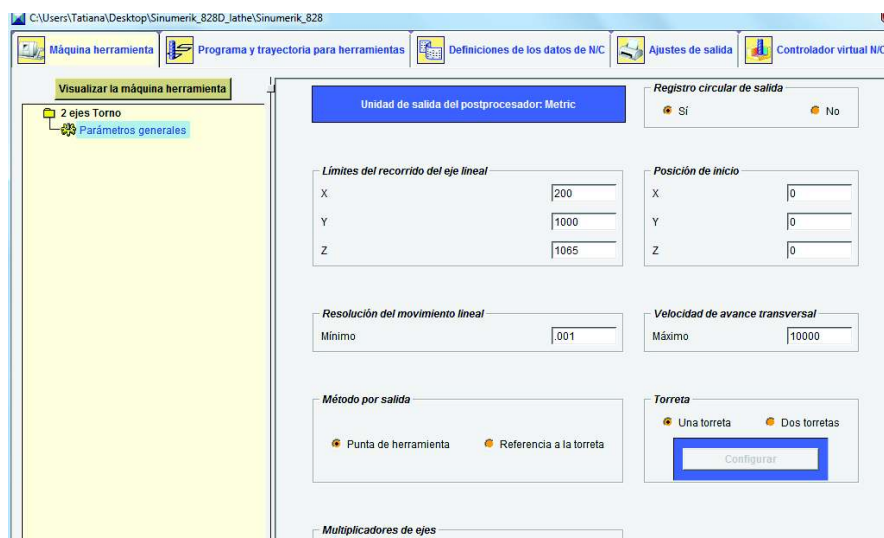


Figura 3.6: Bloque máquina herramienta
Fuente: (Autor)

3.2.4 Paso 4: Modificación de la pestaña programa y trayectoria para herramientas para el controlador numérico Sinumerik 828D

Está pestaña da la forma al cuerpo del post procesador usando una serie de bloques secuenciales que son: programa, códigos G, códigos M, resumen de palabras, control secuencial de las palabras, comando personalizado, post

procesadores enlazados y macros, como se observa en la Figura 3.7. Sin embargo los bloques que se modifican son programa y códigos G y M como se indicó en la Figura 3.1.

3.2.4.1 Paso 4.1: Modificación del bloque programa

La Figura 1.21, de la sección 1.4.4 de estructura de un post procesador resume las secuencias y funciones dentro de este bloque y son:

- Secuencia inicial del programa
- Secuencia inicial de la operación
- Trayectoria para herramientas
- Secuencia final de la operación
- Secuencia final del programa

La Figura 3.7, muestra estas secuencias como árbol de acciones, cada una contiene líneas de programación para el programa de códigos G que deben ser programadas o por defecto eliminarse.

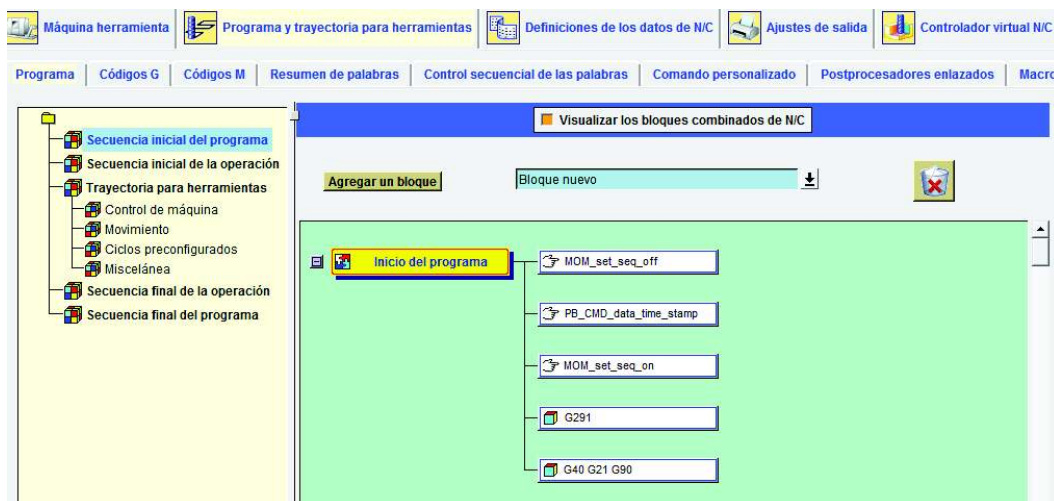


Figura 3.7: Bloque programa y trayectoria de la herramienta

Fuente: (Autor)

a) Secuencia inicial del programa

La función de esta secuencia es detallar las primeras líneas de programación que del código y se guardan dentro del bloque inicio del programa, a continuación la Tabla 3.10 resume dichas líneas junto a la acción que cumplen. La programación de la línea PB_CMD_data_time_stamp se describe después de la Tabla 3.10

Tabla 3.10: Líneas de programación de la secuencia inicial del programa para el controlador numérico Sinumerik 828D

BLOQUES	LÍNEA DE PROGRAMACIÓN	ACCIÓN
Inicio del programa	MOM_set_seq_off	Deshabilita la salida del número de secuencia.
	PB_CMD_data_time_stamp	Da la salida de la información relevante para el usuario, de nombre, fecha, número de programa, etc. (Ver Figura 3.8)
	MOM_set_seq_on	Habilita la salida del número de línea de programación.
	G291	Bloque para que el CN Sinumerik 828D reconozca códigos ISO.
	G40 G21 G90	Bloque con códigos modales absolutos de trabajo

Fuente: (Autor)

- Línea de programación: ***PB_CMD_data_time_stamp***

Esta línea es un comando en el que se programa la salida de la información del encabezado del código CN en el que se encuentra: nombre de la universidad, título de tesis, programador, fecha y hora del post-procesado. Su programación se encuentra en la Figura 3.8

```

proc PB_CMD_data_time_stamp () {
# Con estas líneas de programación se da las primeras líneas de programación del código.

global mom_date

set date [string toupper $mom_date]
MOM_output_text ";ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL"
MOM_output_text ";TESIS DE INGENIERÍA MECÁNICA"
MOM_output_text ";DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN POST-PROCESADOR GENERADOR DE CÓDIGOS G PARA UN TORNO CNC ROMI C420"
MOM_output_text ";Programado por: Mayra Andrango"

MOM_output_text ";Post-procesado el: $date"

# Con esta programación se da el nombre al programa que el usuario desee.

global mom_attr_PROGRAMVIEW_PROGRAM_NUMBER
global mom_group_name

if ![info exists mom_group_name] {set mom_group_name ""}
if ![info exists mom_attr_PROGRAMVIEW_PROGRAM_NUMBER] {set mom_attr_PROGRAMVIEW_PROGRAM_NUMBER "00001"}
MOM_output_literal ":%mom_attr_PROGRAMVIEW_PROGRAM_NUMBER ($mom_group_name)"

```

Figura 3.8: Programación de la línea PB_CMD_data_time_stamp

Fuente: (Autor)

b) Secuencia inicial de la operación

Se encarga de las instrucciones iniciales para realizar las operaciones de maquinado, las líneas con las que trabaja son: inicio de la trayectoria, primera herramienta, modificación automática de la herramienta, modificación manual de la herramienta, movimiento inicial y primer movimiento y son resumidas en la Tabla 3.11.

Tabla 3.11: Líneas de programación de la secuencia inicial de la operación para el controlador numérico Sinumerik 828D

BLOQUES	LÍNEA DE PROGRAMACIÓN	ACCIÓN
Inicio de la trayectoria (Ver Figura 3.9)	PB_CMD_tool_operation_information	Permite la salida del nombre de la operación y herramienta a usarse.
Modificación automática (Ver Figura 3.11)	PB_CMD_alignment_block	Forzar la salida de códigos en el arranque del husillo.
	G G00 X Z	Códigos de decalaje al cambiar la herramienta.
	G41 T D01	Códigos para el cambio de herramienta y número y ajuste de radio de la herramienta.
Modificación manual (Ver Figura 3.11)	PB_CMD_alignment_block	Forzar la salida de códigos en el arranque del husillo
	T D01	Número y ajuste de radio de la herramienta.
Movimiento inicial y Primer movimiento (Ver figura 3.12)	PB_CMD_coolant_mode	Da salida de aplicación de refrigerante. (Ver Figura 3.13)
	G92 S	Velocidad máxima en RPM.
	G96 S M03	Velocidad constante del husillo css en [mm/min]
	G97 S M03	Velocidad del husillo en [RPM].

Fuente: (Autor)

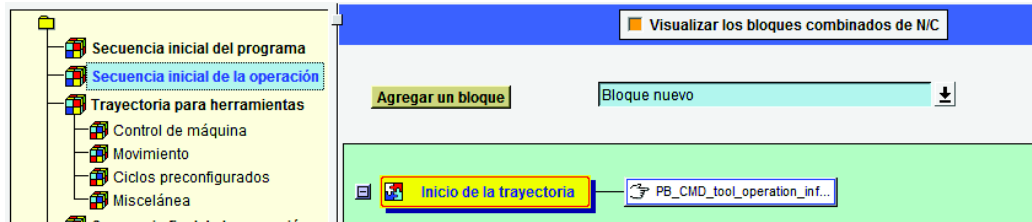


Figura 3.9: Bloque de inicio de trayectoria

Fuente: (Autor)

Las líneas de programación de PB_CMD_tool_operation_information se indica en la Figura 3.10, por medio del uso de las variables \$mom_operation_name y \$mom_tool_name, imprimen en el documento la información de nombre de la operación y herramienta empleada. En este comando se incluye a las sentencias MOM_set_seq_off y MOM_set_seq_on para suprimir su numeración, aparte se preceden las variables mom por el símbolo “;”, debido a que al ser texto el controlador numérico Sinumerik 828D no lo reconoce y da la señal de error.

```

proc PB_CMD_tool_operation_information () {
# Identifica el inicio de una nueva operación

MOM_set_seq_off

global mom_sys_control_in mom_sys_control_out mom_operation_name
global mom_tool_name
set co $mom_sys_control_out
set ci $mom_sys_control_in

MOM_output_literal ";Operación: $mom_operation_name "
MOM_output_literal ";Herramienta: $mom_tool_name"

MOM_set_seq_on

```

Figura 3.10: Línea de programación PB_CMD_tool_operation_information

Fuente: (Autor)

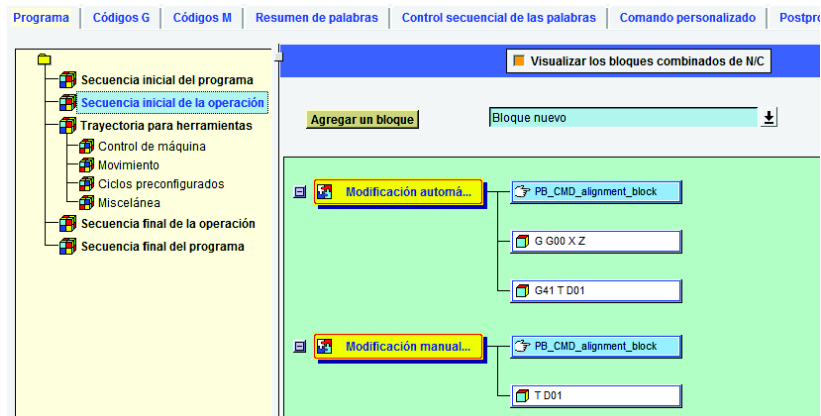


Figura 3.11: Bloques de primera herramienta, modificación automática y manual de herramienta

Fuente: (Autor)

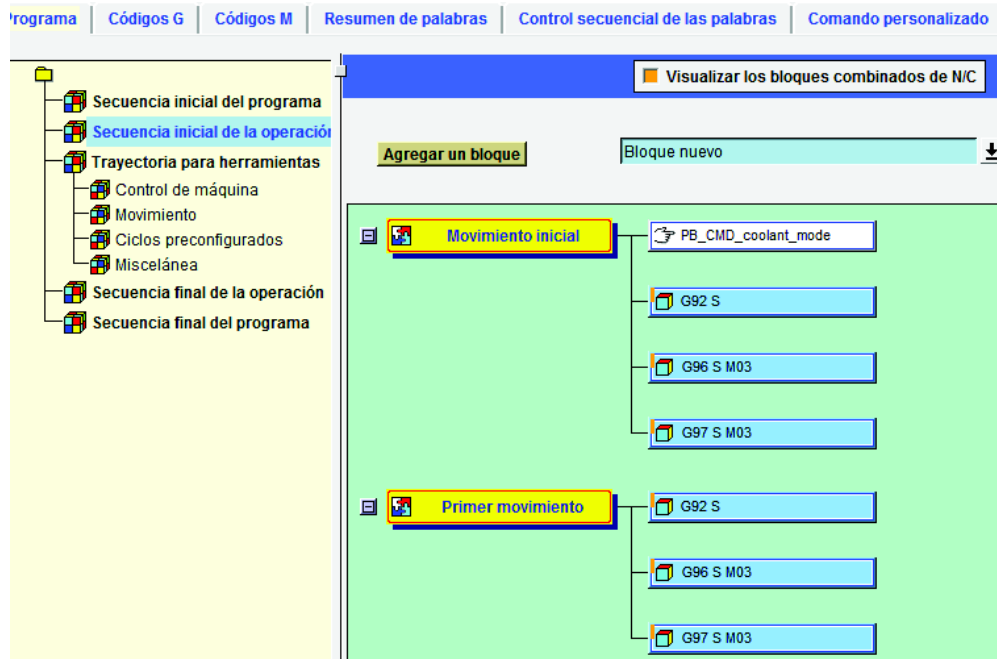


Figura 3.12: Bloques de movimiento inicial y primer movimiento
Fuente: (Autor)

El bloque movimiento inicial usa la línea de programación PB_CMD_coolant_mode, su finalidad es permitir la salida de una de las opciones de aplicación de refrigerante que el software de fabricación dispone. La Figura 3.13 muestra la programación de las opciones ON, Flood, Mist, tap, thru o por defecto la salida de refrigerante desconocido en caso de no seleccionar una forma de suministrar el refrigerante, así también contiene las líneas MOM_set_seq_off y MOM_set_seq_on para numeración o no de las instrucciones dadas.

```

Comando personalizado
proc PB_CMD_coolant_mode () {
#Describe la salida del código del refrigerante

global mom_coolant_mode

MOM_set_seq_off

switch $mom_coolant_mode {
  "ON"      { MOM_output_literal "Refrigerante ON" }
  "FLOOD"   { MOM_output_literal "Refrigerante flood" }
  "MIST"    { MOM_output_literal "Refrigerante mist" }
  "TAP"     { MOM_output_literal "Refrigerante tap" }
  "THRU"    { MOM_output_literal "Refrigerante thru" }
  default   { MOM_output_literal "Refrigerante desconocido" }
}

MOM_set_seq_on

```

Figura 3.13: Comando de programación PB_CMD_coolant_mode
Fuente: (Autor)

c) Trayectoria para herramientas

Describe los pasos intermedios para obtener el código G, está compuesto por los bloques de programación: control de máquina, movimiento, ciclos preconfigurados y miscelánea. Los bloques que se modifican son descritos a continuación en la Tabla 3.12.

Tabla 3.12: Líneas de programación de la trayectoria para herramientas para el controlador numérico Sinumerik 828D

BLOQUES	FUNCIÓN	LÍNEAS A MODIFICARSE
Control de máquina (Ver Figura 3.14)	Permite modificar parámetros pre establecidos para el manejo del controlador, que dependen de los datos ingresados en el CAM.	<ul style="list-style-type: none"> • Modificación de la herramienta. (Figura 3.15) • Compensación longitudinal de la herramienta. • Retardo. (Ver Figura 3.16)
Movimiento (Ver Figura 3.17)	Se modifica constantemente al manipular el resto de bloque, permite añadir palabras o códigos que comandan los movimientos.	Movimiento lineal
		Movimiento circular
		Movimiento rápido
		Rosca de tomo

Fuente: (Autor)

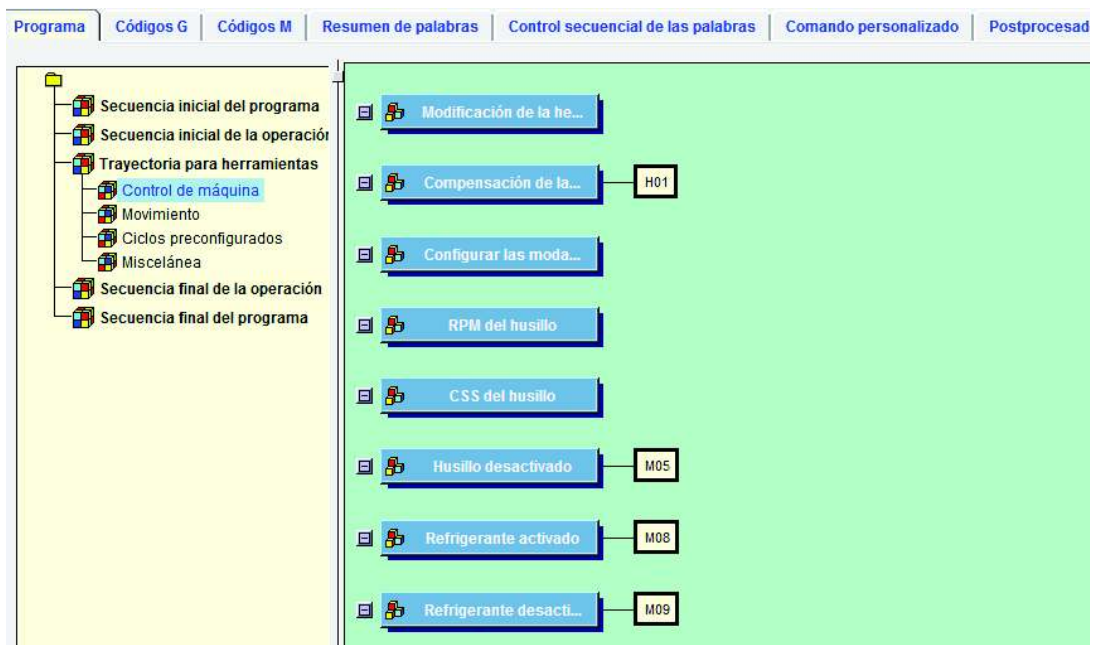


Figura 3.14: Secuencia trayectoria para herramientas

Fuente: (Autor)

En la línea de programación de modificación de la herramienta se coloca el número máximo de herramientas a 8 y tiempo de modificación 12 segundos, el resto de parámetros se conservan de la misma manera como en la Figura 3.15.

Figura 3.15: Línea de programación modificación de la herramienta
Fuente: (Autor)

Con este cambio se debe verificar las funciones que se encuentran en cada línea de programación y se agrega las funciones H en el bloque compensación de la longitud de la herramienta y para desactivar el husillo se usa la función miscelánea M05, el significado de las funciones M se encuentran en el anexo A-2. Para activar y desactivar el refrigerante se hace mediante M08 y M09 respectivamente, en el bloque de retardo se usa G04 y se refiere al tiempo de espera o demora entre el desplazamiento en alguna operación u operaciones, depende del usuario el uso del mismo. (Ver Figura 3.16)

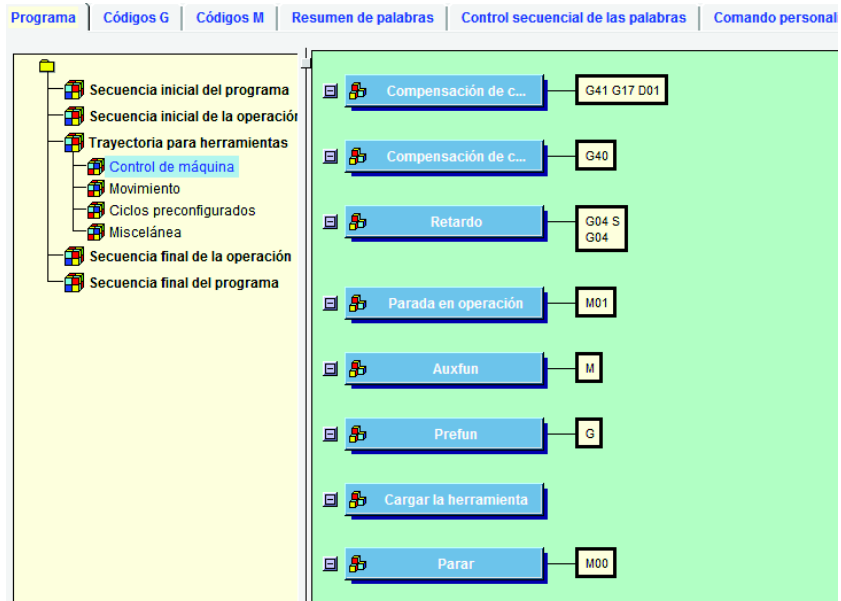


Figura 3.16: Bloque de control de máquina
Fuente: (Autor)

En la Figura 3.17 se encuentra los formatos de salida de los movimientos lineal, circular, rápido y roscado que deben estar de acuerdo a los parámetros del torno Romi C420, es así como para el movimiento lineal G01 y circular G02 se emplean G94 para preparar el control que establece todos los avances según los modos G20 y G21.

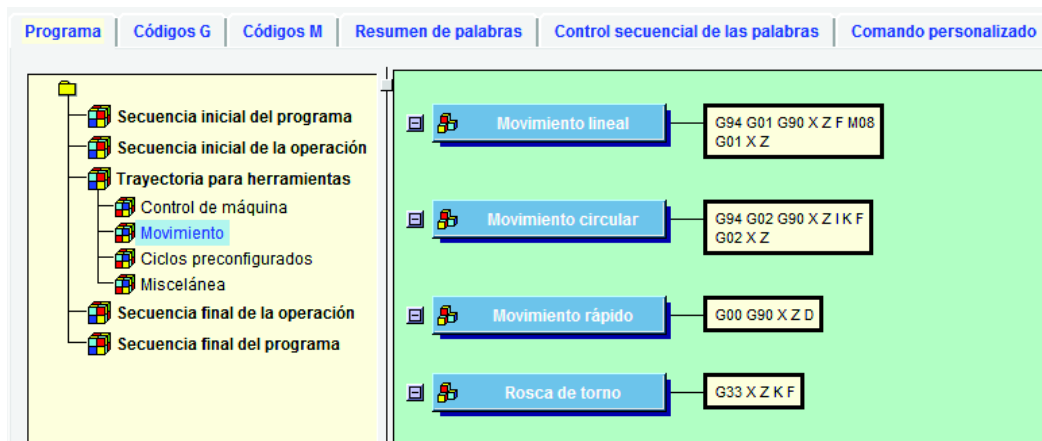


Figura 3.17: Bloque movimiento
Fuente: (Autor)

d) Secuencia final de operación

En la Figura 3.18 se visualiza el bloque de la fase final de cada operación de maquinado, que da la salida del tiempo de maquinado de cada operación, así como la suma de tiempos al tratarse de diferentes tareas consecutivas en una misma pieza y entregar finalmente el tiempo total del trabajo en minutos, centésimas de minutos u horas, esto es gracias al uso del comando PB_CMD_machining_time.

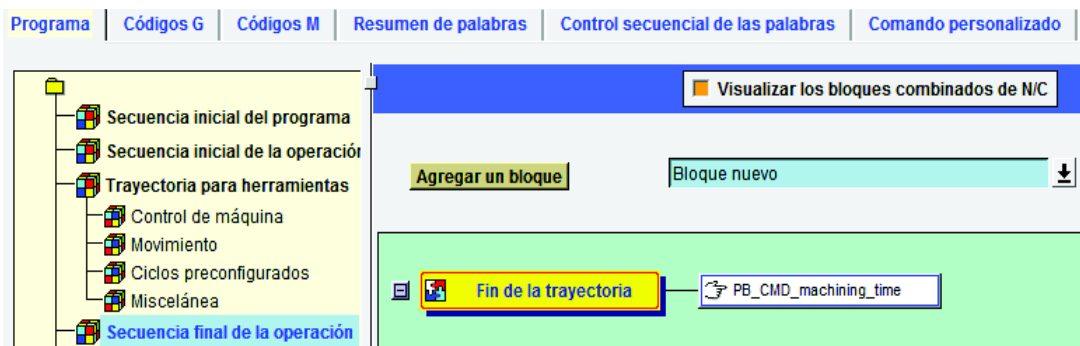


Figura 3.18: Secuencia final de operación
Fuente: (Autor)

La programación del bloque fin de la trayectoria es mostrada en la Figura 3.19, e incluye los comandos MOM_set_seq_on y MOM_set_seq_off para que el tiempo entregado no se encuentre numerado.

```

proc PB_CMD_machining_time {} {
# Con este comando se obtiene el tiempo estimado total de maquinado

MOM_set_seq_off

global mom_machine_time mom_sys_control_in mom_sys_control_out operation_time

set co $mom_sys_control_out
set ci $mom_sys_control_in

set hours [format %2.0f [expr [format %2.0f $mom_machine_time] / 60]]
set minutes [format %2.2f [expr $mom_machine_time -60 * $hours]]
set seconds [format %2.2f [expr $mom_machine_time -60 * $minutes]]

if { [info exists operation_time] } {
set current_time [expr $mom_machine_time - $operation_time]
MOM_output_literal ";Tiempo de operación:Minutos:[format %2.2f $current_time]"
}

if { $hours > 0 } {
MOM_output_literal ";Tiempo de maquinado: Horas:$hours Minutos:$minutes"
} else {
MOM_output_literal ";Tiempo de maquinado: Minutos:$minutes "
}

set operation_time $mom_machine_time

MOM_set_seq_on

```

Figura 3.19: Programación del comando PB_CMD_machine_time
Fuente: (Autor)

e) Secuencia final del programa

Son las últimas sentencias del código G que incluyen las funciones misceláneas: M5 y M30 para parar el husillo y finalizar el programa con reseteo al inicio del programa respectivamente. El orden de los bloques de la secuencia se observa en la Figura 3.20.

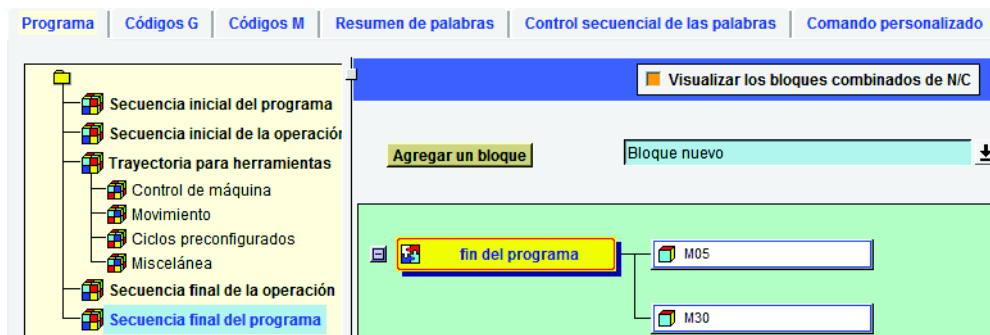


Figura 3.20: Secuencia final del programa
Fuente: (Autor)

3.2.4.2 Paso 4.2: Modificación de los bloques de códigos G & M

En las Figuras 3.21 y 3.22 se encuentran la lista de códigos G & M esenciales para crear el post-procesador, que deben ser comprobados con los códigos que el CN Sinumerik 828D entiende para cumplir con su trabajo sin ocasionar algún error al ser ejecutados.

Programa	Códigos G	Códigos M	Resumen de palabras	Control secuencial de las palabras	Comando personalizado	Postprocesadores enlazado
	Movimiento rápido	G 00				
	Movimiento lineal	G 01				
	Interpelación circular en sentido horario	G 02				
	Interpelación circular en antihoraria	G 03				
	Rosca constante	G 33				
	Rosca incremental	G 34				
	Rosca no incremental	G 35				
	Demora (seg)	G 4				
	Demora (rev)	G 4				
	Compensación de cortador desactivada	G 40				
	Compensación de cortador izquierda	G 41				
	Compensación de cortador derecha	G 42				
	Modalidad de pulgada	G 20				
	Modalidad métrico	G 21				
	Modalidad absoluto	G 90				
	Modalidad incremental	G 91				
	Modalidad FRN de la velocidad de avance	G 93				
	CSS del husillo	G 96				
	RPM del husillo	G 97				
	Modalidad MPPM (milímetros por minuto) de la velocidad de avance	G 94				
	Modalidad MPPR (milímetros por revolución) de la velocidad de avance	G 95				

Figura 3.21: Bloque de códigos G

Fuente: (Autor)

Es necesario que el usuario conozca los códigos y sus respectivas funciones para verificarlos para ello el anexo A-1 y A-2 presenta tablas con estos códigos y el operador se familiarice.

Entre los cambios realizados se tiene: modalidad pulgada con G70 por G20 y la modalidad métrico con G71 por G21, esto depende del acotado del plano de maquinado, para programar los ejes geométricos relativos a la pieza de trabajo ya sean en el sistema métrico o en pulgadas, al tratar ciclos se modifica G73 de ciclo de virutas resultantes del taladrado por G74, G84 por G76 para ciclo de roscado automático y ciclo de mandrinar de G85 por G86. Para las funciones M se modifica únicamente el valor de torreta secundaria con M22 por M12 que tiene como función dar paso a la torreta principal o desactivar torreta secundaria.

Códigos M	Resumen de palabras	Control secuencial de las palabras	Comando personalizado
Modificación de la herramienta manual/Detención	M	00	
Parada en operación	M	01	
Fin del programa	M	02	
Husillo activado/sentido horario	M	03	
Husillo en el sentido contrahorario	M	04	
Husillo desactivado	M	05	
Modificación o retroceso de la herramienta	M	06	
Neblina del refrigerante	M	07	
Refrigerante activado	M	08	
Inundación de refrigerante	M	08	
Refrigerante desactivado	M	09	
Torreta primaria	M	21	
Torreta secundaria	M	12	
Rebobinar	M	30	

Figura 3.22: Bloque de códigos M
Fuente: (Autor)

3.2.5 Paso 5: Modificación de la pestaña definiciones de los datos de N/C

Se compone de: bloque, palabra, formato y otros elementos de datos como se ve en la Figura 3.23, permiten al usuario crear, cambiar, quitar y agregar códigos y funciones que acompañan a los códigos modales.

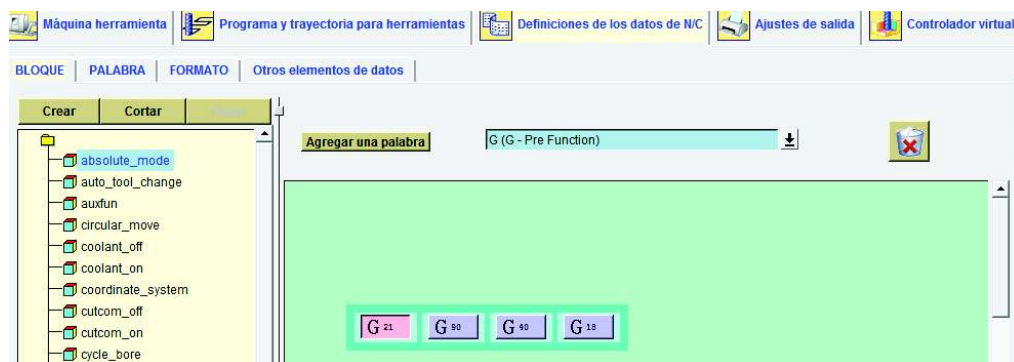


Figura 3.23: Pestaña de definiciones de los datos de N/C
Fuente: (Autor)

En bloque se permite la modificación de bloques completos de programación, en palabra hace cambios específicos de cada código y función, el formato se refiere a la presentación en el programa en cuanto a número de decimales, si se define como función o texto, etc. Cada modificación afecta a las órdenes de maquinado,

en caso de que el usuario haya omitido alguno de ellos, se verá reflejado en los bloques anteriores.

La ficha de la Figura 3.24 de otros elementos de datos se utiliza para definir la numeración de la secuencia, caracteres especiales para textos y permite especificar un usuario personalizado para eventos definidos. Aquí el usuario puede cambiar la salida de numeración de las líneas ya que puede ser de una en una o de 10 en 10 según como le convenga.

Figura 3.24: Bloque de otros elementos de datos

Fuente: (Autor)

CAPITULO IV

PRUEBAS DE FUNCIONAMIENTO DEL POST- PROCESADOR

Este capítulo se centra en la validación del programa de post-procesamiento diseñado en la sección anterior. Para lo cual se desarrollan dos modelos en CAD a los que se les denominará como prueba #1 y prueba #2, en ellos se realiza las operaciones básicas de torneado: refrentado, desbaste, acanalado y roscado.

La prueba #1 es un eje diseñado con las operaciones externas de torneado, con un perfil que contiene curvaturas hacia dentro y fuera de diferentes dimensiones, la prueba #2 es un eje hueco con las operaciones internas de torneado. Cada uno se sujeta a una comprobación de dimensiones y puntos de trayectoria. Para cumplir con el proceso de verificación se divide en dos partes, la primera abarca el diseño en CAD, fabricación en CAM y obtención del código y planos de las piezas, realizado en el software CAD/CAM NX (ver Tabla 4.1), la segunda parte se presenta en la verificación propiamente dicha por medio de la simulación del programa en el torno Romi C420 y maquinado de las pruebas en material grilón negro y blanco para las pruebas #1 y #2 respectivamente.

Tabla 4.1: Proceso de obtención de las pruebas a mecanizarse mediante el software NX

PROCESO	PASOS
Diseño del modelo	Se realiza en el módulo CAD del software.
Fabricación del modelo en CAM	Crear herramientas
	Crear geometrías
	Crear operaciones
Obtención del código	Agregar el programa a la biblioteca de post-procesadores
	Generar las trayectorias
	Extraer el código

Fuente: (Autor)

En la Tabla 4.2 se resume los pasos a seguir para la comprobación del funcionamiento del post procesador.

Tabla 4.2: Proceso de verificación de las pruebas a mecanizarse en el torno Romi C420

PROCESO	PASOS
Simulación del código en el torno Romi C420	Ingresar el programa al puerto USB del panel de exhibición del CN Sinumerik 828D del torno Romi C420.
	Ingreso los parámetros de decalajes, herramientas y simulo el proceso.
	Verificar trayectoria de herramientas.
	Corregir el programa de ser necesario.
Maquinado usando el código	Correr el programa con los códigos G
	Verificar dimensiones del producto obtenido con los planos de maquinado

Fuente: (Autor)

4.1 Proceso de verificación de la prueba #1: eje de operaciones externas de torneado

4.1.1 Proceso de obtención de la prueba #1

Se entiende que el lector maneja software de diseño para crear modelos de piezas, por lo tanto la información de esta sección se encuentra de manera general debido a que la importancia del proyecto radica en el código obtenido. Así también se considera que en la pieza a maquinarse no se realiza el pase final de afinado, por lo que para la verificación dimensional se maneja tolerancias generales de $\pm 0,5$ [mm].

4.1.1.1 Diseño en CAD de la prueba #1

La prueba #1 tiene un perfil con canales, diámetros de diferentes medidas y una rosca, curvaturas hacia dentro y fuera. (Ver Figura 4.1). Con dimensiones totales:

- 118 [mm] de largo
- 36 [mm] de diámetro
- Rosca M20x2

El resto de medidas se encuentran en el plano del anexo B-1.

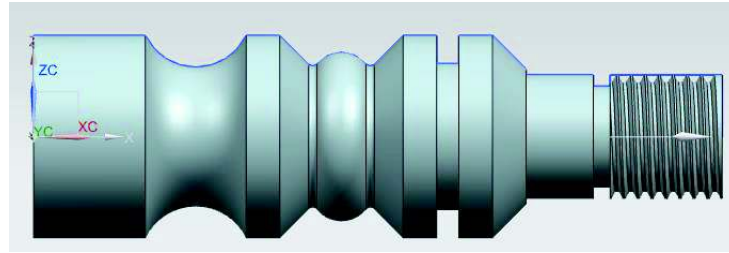


Figura 4.1: Prueba #1 de eje con operaciones externas de torneado
Fuente: (Autor)

4.1.1.2 Fabricación en CAM de la prueba #1

Al terminar el diseño del CAD se ingresa al módulo de fabricación del software, el mismo que cuenta con iconos para crear herramientas de corte, geometría y operaciones (ver Figura 4.2).



Figura 4.2: Iconos de creación de herramienta, geometría y operación del módulo CAM de NX
Fuente: (Autor)

A continuación se describe cada icono en el orden que se observa en la Figura 4.2, para la obtención de la prueba #1 modelada.

- **Paso 1: Creación de herramientas**

Previamente a la selección de las herramientas se debe considerar que el torno Romi C420 trabaja con insertos y porta insertos marca Sandvick, de estos elementos se tiene sus hojas técnicas. Para elegir la adecuada se recomienda considerar los siguientes aspectos:

- Material a ser maquinado.
- Método de mecanizado.
- Recorrido de la herramienta.
- Geometría de la plaquita.
- Velocidades de corte, avance y profundidad. (Sandvik, 2015)

Una vez que tomados en cuenta las recomendaciones del fabricante se procede a ingresarlas en el software, para ello se presiona el icono de crear herramienta visto en la Figura 4.2, inmediatamente se despliega una ventana como la de la Figura 4.3 que contiene todas las herramientas disponibles para torno, en dicho cuadro se escoge la herramienta y se le asigna un nombre con la que se identificará en todo momento dentro del programa.



Figura 4.3: Ventana de creación de herramientas
Fuente: (Autor)

Las herramientas del software se componen de insertos y porta insertos, con características dimensionales y de posición propias que pueden ser modificadas según se desee. Para programar las cuchillas de corte se debe ingresar el punto imaginario de inserción de la herramienta respecto a las posiciones relativas de la herramienta a la pieza de trabajo, como se observa en la Figura 4.4.

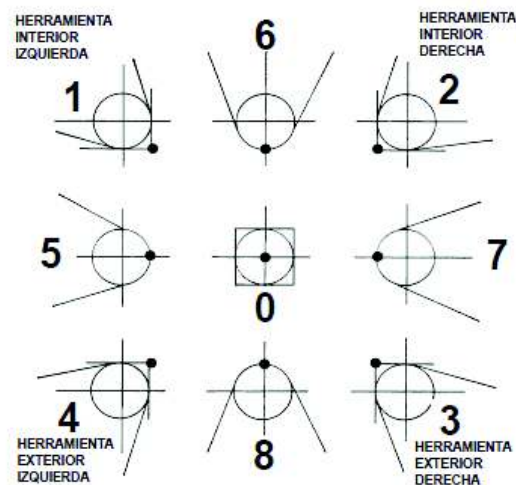


Figura 4.4: Puntos imaginarios de la inserción de la herramienta
Fuente: (Romi, 2016)

Las herramientas programadas para las operaciones externas se caracterizan por la forma cuadrada del elemento porta herramienta y los nombres de los insertos que inician con la letra O como se observa en la Tabla 4.3:

Tabla 4.3: Identificación de la herramienta y puntos de rastreo para ingresarse en el software CAM

OPERACIONES EXTERNAS			
N° EN TORRETA	HERRAMIENTA	IDENTIFICACIÓN NX	PUNTO DE RASTREO
1	CUCHILLA_REFRENTADO (Diamante 80)	OD_80_L	P1
1	CUCHILLA_DESBASTE (Diamante 35)	OD_55_L	P4
5	CUCHILLA_ACANALADO (Estándar)	OD_GROOVE_L	P9
7	CUCHILLA_ROSCADO (Estándar)	OD_THREAD_L	P8

Fuente: (Autor)

En el anexo C-1 se encuentra la información relevante tomada de los manuales Sandvick de los insertos y porta insertos. A continuación se describen las 4 herramientas utilizadas en el proceso de fabricación.

- **Cuchilla #1 para refrentado**

Su función es mecanizar la cara perpendicular de la pieza al eje de giro. Puede utilizarse para desbaste, dependiendo de la trayectoria que tenga que seguir. Sus características se visualizan en la Figura 4.5.



Figura 4.5: Parámetros de (a) inserto y (b) porta inserto modificados para herramienta de refrentado
Fuente: (Autor)

- **Cuchilla #2 para desbaste**

Sirve para desprender viruta al momento de cilindrar una pieza en bruto, para gradualmente darle la forma deseada, su ángulo de contacto con el material varía de acuerdo a la forma del modelo. (Ver Figura 4.6).

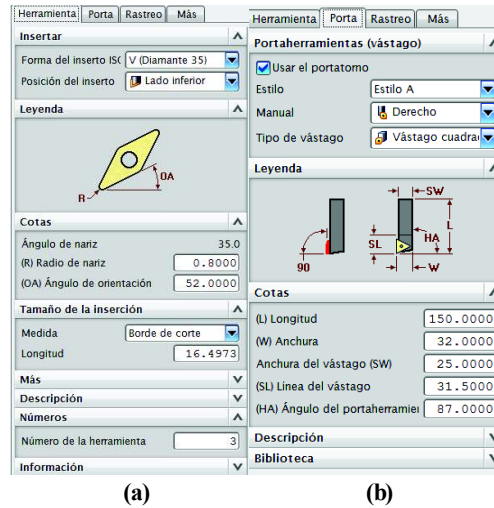


Figura 4.6: Parámetros de (a) inserto y (b) porta inserto modificados para herramienta de desbaste
Fuente: (Autor)

- **Cuchilla #3 para acanalado**

Su propósito es hacer ranuras siguiendo la forma del perfil, puede ser utilizada en la operación de tronzado dependiendo de los límites de corte establecidos para la herramienta. En la Figura 4.9 se encuentran los parámetros modificados para el inserto y el porta insertos.

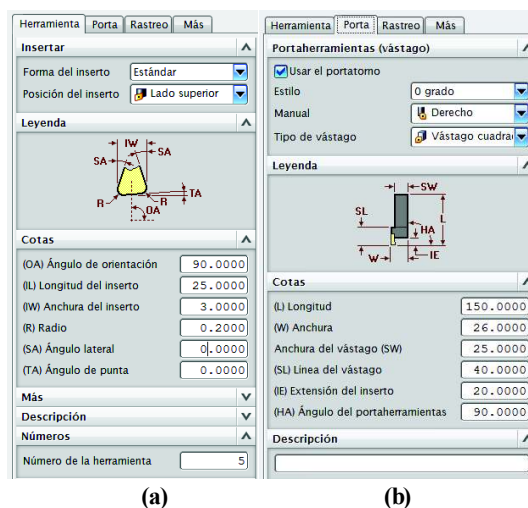


Figura 4.7: Parámetros de (a) inserto y (b) porta inserto modificados para herramienta de acanalado
Fuente: (Autor)

- **Cuchilla #4 para roscado**

Es diseñada para realizar el roscado externo en piezas, su particularidad es que no necesita modificarse el ángulo de orientación del porta insertos, por estar definido por defecto. Sus dimensiones se muestran en la Figura 4.8.

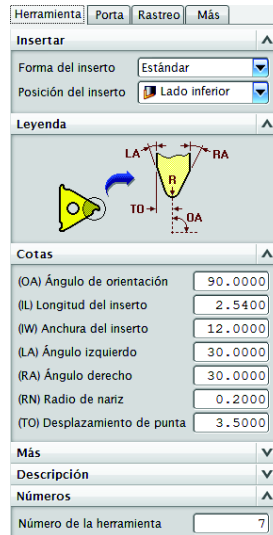


Figura 4.8: Parámetros de inserto modificado para herramientas de roscado
Fuente: (Autor)

- **Paso 2: Creación de geometrías**

Para crear una geometría se define el sistema de coordenadas de la máquina, en el cual se orienta el plano de trabajo del torno para realizar los movimientos de cortes, el procedimiento para crear los ejes de cero máquina se visualiza en la Figura 4.9.

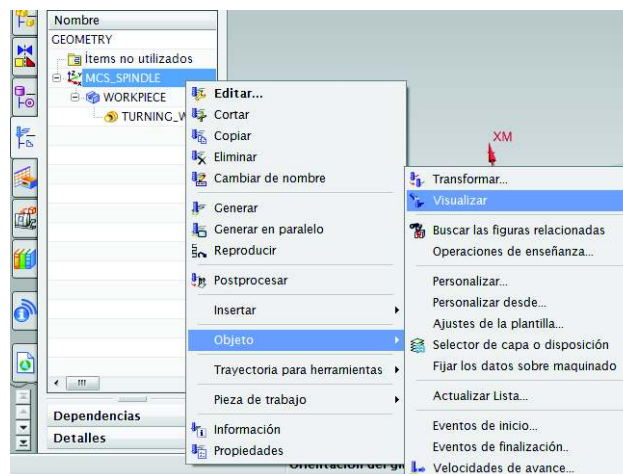


Figura 4.9: Definición del cero máquina
Fuente: (Autor)

El plano de trabajo que está dado por los ejes XM y ZM de la prueba #1 se observa en la Figura 4.10.

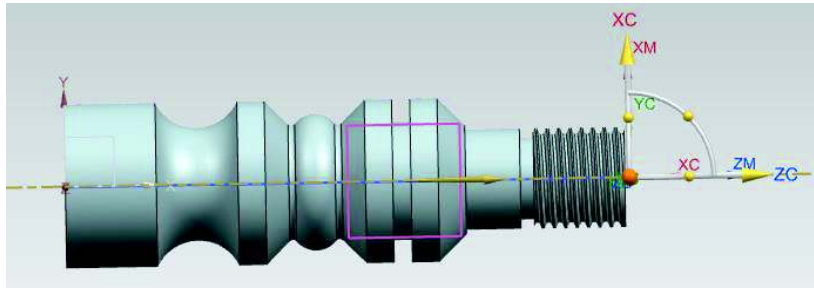


Figura 4.10: Plano de trabajo de la prueba #1
Fuente: (Autor)

Luego se define la geometría de la pieza en bruto, para eso se da clic derecho en WORKPIECE, editar y rápidamente se despliega una ventana como la de la Figura 4.11.



Figura 4.11: Cuadro de diálogo de WORKPIECE
Fuente: (Autor)

Esta acción nos permite especificar la pieza de trabajo, pero lo que es necesario seleccionar todo, al hacerlo se tornará de color naranja, como en la Figura 4.12. Se da aceptar y automáticamente la linterna junto al icono de especificar pieza se encenderá, y se da aceptar nuevamente para guardar el cambio hecho.

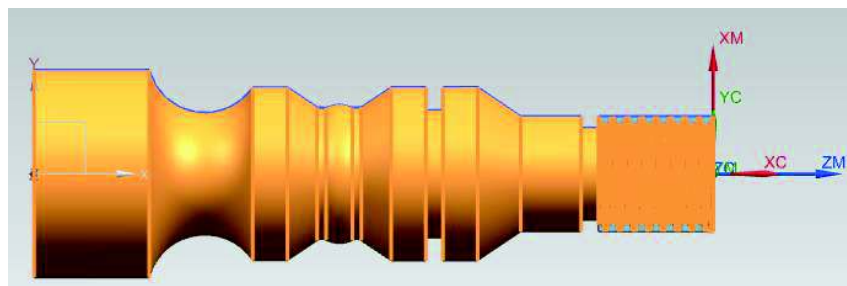


Figura 4.12: Selección de la pieza en bruto de la prueba #1
Fuente: (Autor)

En TURNING _WORKPIECE se define los valores de los límites de la pieza en bruto, y se ingresa con un clic derecho, opción editar. Al hacerlo se despliega los cuadros de diálogo en el cual se modifica la sección de especificar los límites del material en bruto. (Ver la Figura 4.13).

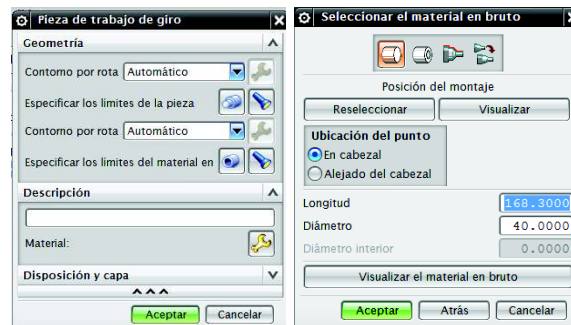


Figura 4.13: Cuadros de diálogo de TURNING_WORKPIECE
Fuente: (Autor)

Se inicia con escoger la opción de demasía en forma de barra, luego se establece la posición del montaje, ubicado en la cajonera de reseleccionar, donde se colocan las coordenadas de inicio del plano de montaje, para la prueba #1 los valores son: eje X: -50 [mm] que será la longitud del material que estará sujeto al mandril, los ejes Y, Z conservan su valor de cero, y se acepta.

En la ventana del lado derecho de la Figura 4.13, se coloca en longitud el valor de 168, 3 [mm] en donde los 0.3 [mm] son para realizar la operación de refrentado, en diámetro corresponde el valor de 41,5 [mm]. La Figura 4.14 indica la disposición del plano de montaje con líneas de color rosa.

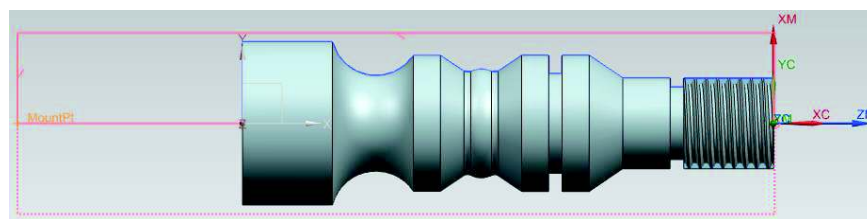


Figura 4.14: Plano de trabajo de la prueba #1
Fuente: (Autor)

Concluido con las definiciones de sistemas de coordenadas, planos de trabajo y material en bruto se procede a limitar la trayectoria de cada operación, para evitar cualquier tipo de colisión que cause daños al equipo, herramienta o pieza. Estas acciones son a través de la geometría CONTAINMENT que emplea puntos limitantes axiales y radiales de corte, la geometría AVOIDANCE ubica los puntos

de inicio, aproximación, retorno de herramienta. Estos iconos están dentro del icono crear geometrías y se visualizan en la Figura 4.15.



Figura 4.15: Cuadro de creación de geometría de CONTAINMENT y AVOIDANCE
Fuente: (Autor)

Se inicia con la creación de los CONTAINMENT para la prueba #1 en donde se define los planos de trabajo de cada herramienta y junto a cada uno se crea los AVOIDANCE para ubicar los puntos: FR desde el punto donde está posicionada la herramienta o punto de seguridad para cambio de herramienta, ST que indica el punto de inicio del movimiento de la operación, AP para aproximarse, RT de movimiento de retorno, GH de movimiento de inicio.

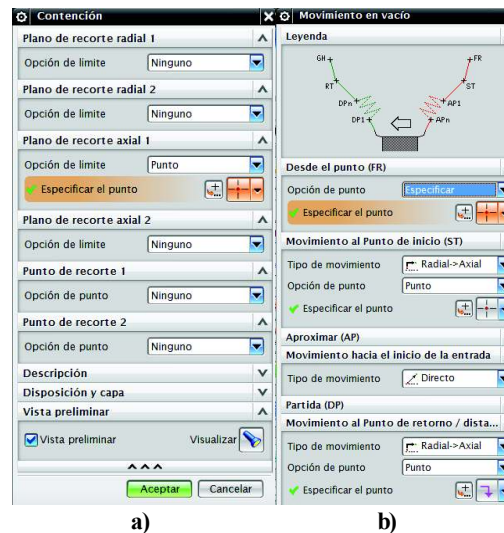


Figura 4.16: Cuadros de diálogo: a) Containment y b) Avoidance para la primera operación de mecanizado de la prueba #1.

Fuente: (Autor)

- **Paso 3: Creación de operaciones**

Con la creación de los planos de corte limitantes y puntos de movimiento de la herramienta se establece las operaciones. Cada una cuenta con sus parámetros

de corte, movimientos sin corte, profundidad y avance, por lo que se debe analizar cada uno antes de ponerlo en el programa.

Antes de seleccionar velocidades se considera las recomendaciones de los manuales de insertos que emplea el torno Romi C240, estos valores se encuentran en [m/mim] por lo que es necesario transformar a [RPM] ya que el software de diseño trabaja con esas unidades.

El cálculo de la velocidad de corte en RPM se por medio de la ecuación 1, que depende inversamente del diámetro de mecanizado de la pieza. Estos valores se resumen en la Tabla 4.4. (Sandvik, 2015)

$$n = \frac{V_c * 1000}{\pi * D_m} \quad (1)$$

donde:

n	Velocidad de corte	[RPM]
Vc	Velocidad de corte	[m/min]
Dm	Diámetro de mecanizado	[mm]

Tabla 4.4: Velocidades, avances y profundidades recomendadas para las operaciones de mecanizado en la prueba #1

OPERACIÓN	Velocidad de corte Vc			Avance fn [mm/r]	Profundidad ap [mm]
	[m/min]	[RPM]	MAX [RPM]		
Refrentado	210	1759	2136	0,20	0,20
Desbaste	255	2136	2345	0,20	0,4
Acanalado	125	1047	1800	0,07	0,5
Roscado	125	1047	1800	0,07	0,26

Fuente: (Sandvik, 2015)

Con la información de la Tabla 4.4 y los parámetros antes establecidos se crean las operaciones al dar clic en el ícono que lleva el mismo nombre, para que se despliegue la ventana de la Figura 4,17. En donde se elige la operación y escoge la ubicación dentro del programa, la herramienta que usará, geometría de contención, el método de desbaste y el nombre asignado por el usuario.



Figura 4.17: Ventana de creación de operaciones para la prueba #1

Fuente: (Autor)

La Tabla 4.5 resume la selección de cada ítem al crear una operación, todas se ubican en la opción de programa con el nombre de PRUEBA_1.

Tabla 4.5: Datos para crear las operaciones externas de torneado para la prueba #1

OPERACIÓN	HERRAMIENTA	GEOMETRÍA	MÉTODO	NOMBRE EN NX
Refrentado	CUCHILLA_REFRENTADO	Containment-Avoidance	LATHE_FINISH	FACING
Desbaste	CUCHILLA_DESBASTE	Containment_1 Avoidance_1	LATHE_ROUGH	ROUGH_TURN_OD
Acanalado_1	CUCHILLA_ACANALADO	Containment_2 Avoidance_2	LATHE_GROOVE	GROOVE_OD
Acanalado_2	CUCHILLA_ACANALADO	Containment_3 Avoidance_3	LATHE_GROOVE	GROOVE_OD
Roscado	CUCHILLA_ROSCADO	Containment_3 Avoidance_4	LATHE_THREAD	THREAD_OD

Fuente: (Autor)

4.1.1.3 Obtención del código de la prueba #1

Con los procesos de diseño y fabricación del modelo de prueba terminado, es necesario añadir el post-procesador creado a la biblioteca central del software en el que se creó el modelo, generar las trayectorias de la herramienta y extraer el código. En los siguientes ítems se indica los pasos a seguirse para obtener el programa de códigos G.

- **Añadir el post-procesador Sinumerik 828D a la biblioteca de post-procesadores**

Para agregar el post-procesador creado en la ubicación deseada, se sigue la siguiente dirección:

- Equipo> Disco local C<: > Archivos de programa> Siemens> NX 9> POSTBUILD> pplib > controller > lathe > SIEMENS > Sinumerik_828D

POSTBUILD es la librería del generador de post procesadores, es ahí donde se añade la carpeta y se guarda, para su uso. Para acceder al programa de post-procesamiento, es necesario ingresar al modelo de la prueba #1.

- **Generar trayectorias de la prueba #1**

En la parte lateral izquierda de la interfaz de usuario del modelo, se encuentra el Navegador de operaciones que es árbol de acciones con todas las operaciones de maquinado realizadas, es encabezado por la carpeta de nombre PRUEBA_1. Para cumplir con este paso es necesario accionar los iconos de la barra herramientas del software mostrados en la Figura 4.19 al presionar la carpeta PRUEBA_1.

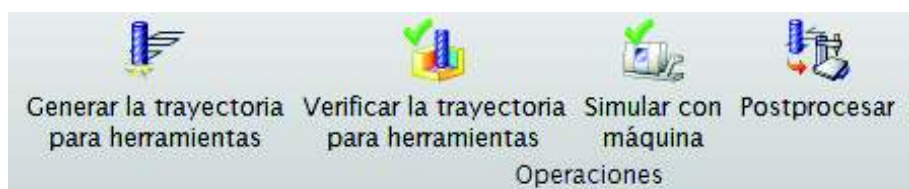


Figura 4.18: Iconos para correr el programa de post-procesamiento para el CN Sinumerik 828D
Fuente: (Autor)

Se selecciona el icono generar la trayectoria para herramientas y automáticamente aparece un cuadro de diálogo de la trayectoria seguida en cada operación, se acepta. Luego se verifica la trayectoria de las herramientas por medio de la simulación del software, y de ser necesario se corrigen.

- **Extraer el código G de la prueba #1**

Es necesario presionar el icono Postporcesar de la Figura 4.18, con lo que se despliega la ventana de la Figura 4.19, donde se encuentra la lista de los post-procesadores disponibles.

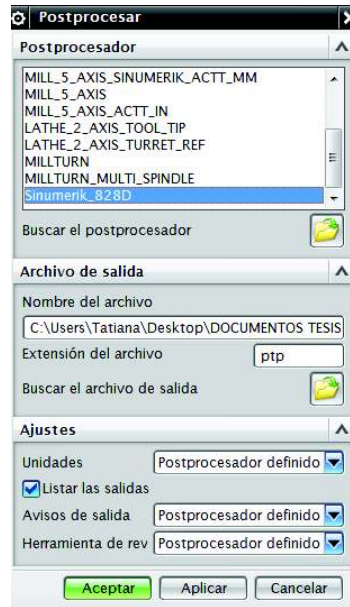


Figura 4.19: Ventana de la lista de post-procesadores
Fuente: (Autor)

Por ser la primera vez en utilizarse se procede a buscar el archivo en la dirección antes mostrada y se selecciona la opción de abrir, se escoge la carpeta en donde fue guardado el post-procesador y se selecciona el archivo con extensión: .pui, se acepta para que aparezca en la lista y puede ser usado. La Figura 4.20 muestra la carpeta que contiene al archivo del post procesador creado.

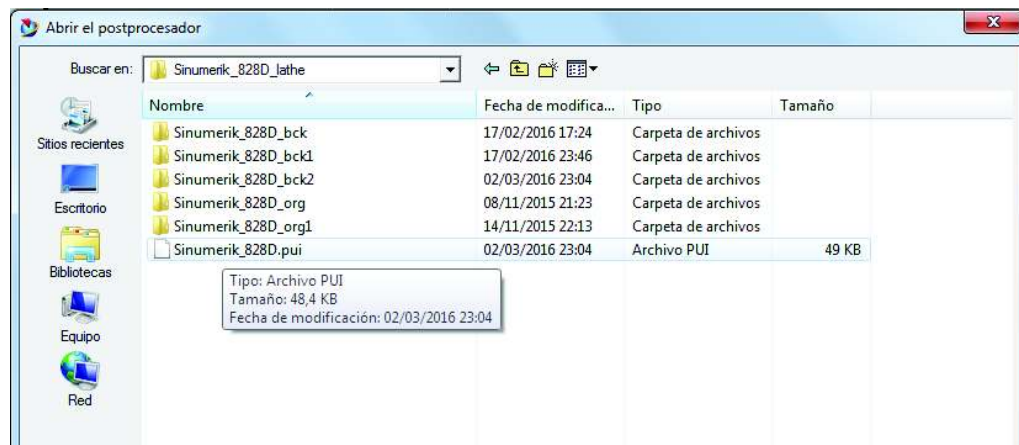


Figura 4.20: Carpeta de ubicación del programa de post procesamiento
Fuente: (Autor)

A continuación solo se acepta y automáticamente se genera el código en un editor de block de notas, cada código está formado por partes de: encabezado, cuerpo y fin del programa como se mencionó en la Figura 1.21 de la sección 1.4.4. El cuerpo consta de los decalajes de origen, herramientas, trayectorias generadas

por los datos CL y traducidas a códigos alfa numéricos, nombre de la operación y herramienta empleada y tiempo de maquinado. A continuación se muestra el código obtenido para la prueba #1.

```
;ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
;TESIS DE INGENIERÍA MECÁNICA
;DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN POST-PROCESADOR GENERADOR DE CÓDIGOS G
PARA UN TORNO CNC ROMI C420
;Programado por: Mayra Andrango
;Post-procesado el: FRI JUL 08 08:40:06 2016
;O0001 (PRUEBA_1)
```

(Coloque cero pieza en el código G54, considerando que deben estar en dos líneas de programación, axial-radial)

(En el proceso de roscar modificar el parámetro K de paso por F)

```
N00010 G291
N00020 G40 G95 G21 G90
;Operación: REFRENTADO
;Herramienta: CUCHILLA_REFRENTADO
N00030 G54 G00 X100
N00031 Z49.7
N00040 T0101
;Refrigerante Desconocido
N00050 G92 S2345
N00060 G96 S560 M03
N00070 X40. Z50.
N00080 Z2.
N00090 X54.112 Z4.8
N00100 G03 X49.312 Z2.4 I-2.4 K0.0 F.15
N00110 G01 X23.168
N00120 X22.795 Z2.463
N00130 X2.4
N00140 G03 X-2.4 Z4.863 I0.0 K2.4 F1.
N00150 G00 X100.
N00160 Z50.
;Tiempo de maquinado: Minutos:0.30
```

```
;Operación: DESBASTE
;Herramienta: CUCHILLA_DESBASTE
N00170 G54 G00 X100.
N00171 Z49.7
N00180 T0101
;Refrigerante Desconocido
N00190 G92 S2345
N00200 G96 S560 M03
N00210 Z2.
N00211 X40
N00220 X39. Z5.342
N00230 G01 Z4.242 F.15
N00240 Z-118 F.5
N00250 X40. F.15
N00260 X41.131 Z-118 F1.
N00270 G00 Z5.4
N00280 X38.
N00290 G01 Z4.3 F.15
N00300 Z-118
N00310 X39.
N00320 X40.131 Z-118 F1.
```

N00330 G00 Z5.1
N00340 X37.
N00350 G01 Z4.3 F.15
N00360 Z-118
N00370 X38.
N00380 X39.131 Z-118 F1.
N00390 G00 Z5.1
N00400 X36.
N00410 G01 Z4.3 F.15
N00420 Z-97.213
N00430 G03 X36.1 Z-97.5 I-.8 K-.287
N00440 G01 Z-118
N00450 X37.
N00460 X38.131 Z-118 F1.
N00470 G00 Z5.1
N00480 X35.
N00490 G01 Z4.3 F.15
N00500 Z-96.705
N00510 G03 X36. Z-97.213 I-.3 K-.795
N00520 G01 X37.131 Z-96.647 F1.
N00530 G00 Z5.1
N00540 X34.
N00550 G01 Z4.3 F.15
N00560 Z-96.558
N00570 G02 X34.831 Z-96.678 I2.737 K8.731
N00580 G01 X35. Z-96.405
N00590 X36.131 Z-95.139 F1.
N00600 G00 Z5.1
N00610 X33.
N00620 G01 Z4.3 F.15
N00630 Z-96.385
N00640 G02 X34. Z-96.558 I3.237 K8.558
N00650 G01 X35.131 Z-95.993 F1.
N00660 G00 Z5.1
N00670 X32.
N00680 G01 Z4.3 F.15
N00690 Z-96.179
N00700 G02 X33. Z-96.385 I3.737 K8.352
N00710 G01 X34.131 Z-95.82 F1.
N00720 G00 Z5.1
N00730 X30.
N00740 G01 Z4.3 F.15
N00750 Z-40.073
N00760 G03 X30.164 Z-40.437 I-.768 K-.364
N00770 G01 Z-55.437
N00780 G03 X30. Z-55.801 I-.85 K0.0 F.5
N00790 G01 Z-73.213 F.15
N00800 G03 X30.1 Z-73.5 I-.8 K-.287
N00810 G01 Z-79.5
N00820 G03 X30. Z-79.787 I-.85 K0.0 F.5
N00830 G01 Z-95.656 F.15
N00840 G02 X31. Z-95.937 I4.737 K7.828
N00850 G01 X32.131 Z-95.371 F1.
N00860 G00 X32.164
N00870 Z5.1
N00880 X29.
N00890 G01 Z4.3 F.15
N00900 Z-39.312
N00910 X29.875 Z-39.963
N00920 X30. Z-40.073

N00930 X31.131 Z-39.507 F1.
N00940 G00 Z5.1
N00950 X28.
N00960 G01 Z4.3 F.15
N00970 Z-38.568
N00980 X29. Z-39.312
N00990 X30.131 Z-38.746 F1.
N01000 G00 Z5.1
N01010 X27.
N01020 G01 Z4.3 F.15
N01030 Z-37.824
N01040 X28. Z-38.568
N01050 X29.131 Z-38.002 F1.
N01060 G00 Z5.1
N01070 X26.
N01080 G01 Z4.3 F.15
N01090 Z-37.08
N01100 X27. Z-37.824
N01110 X28.131 Z-37.258 F1.
N01120 G00 Z5.1
N01130 X25.
N01140 G01 Z4.3 F.15
N01150 Z-36.336
N01160 X26. Z-37.08
N01170 X27.131 Z-36.514 F1.
N01180 G00 Z5.1
N01190 X24.
N01200 G01 Z4.3 F.15
N01210 Z-35.592
N01220 X25. Z-36.336
N01230 X26.131 Z-35.77 F1.
N01240 G00 Z5.1
N01250 X23.
N01260 G01 Z4.3 F.15
N01270 Z-34.847
N01280 X24. Z-35.592
N01290 X25.131 Z-35.026 F1.
N01300 G00 Z5.1
N01310 X22.
N01320 G01 Z4.3 F.15
N01321 Z-34.103
N01330 X23. Z-34.847
N01340 X24.131 Z-34.282 F1.
N01350 G00 Z5.1
N01360 X21.
N01370 G01 Z4.3 F.15
N01380 Z-33.642
N01390 G03 X21.811 Z-33.963 I-.3 K-.795
N01400 G01 X22. Z-34.103
N01410 X23.131 Z-33.538 F1.
N01411 G00 Z1.866
N01420 X21.231
N01430 G01 X20.1 Z1.3 F.15
N01440 Z-33.587
N01450 X20.4
N01460 G03 X21. Z-33.642 I0.0 K-.85
N01470 G01 X22.131 Z-32.076 F1.
N01480 G00 X32.164
N01490 Z-55.801
N01500 X31.6

N01510 G01 X30. F.15
N01520 X29.878 Z-55.908 F.5
N01530 X29. Z-56.567
N01540 Z-72.417 F.15
N01550 X29.815 Z-73.029
N01560 G03 X30. Z-73.213 I-.707 K-.471
N01570 G01 X31.131 Z-72.647 F1.
N01580 G00 Z-56.567
N01590 X30.6
N01600 G01 X29. F.15
N01610 X28. Z-57.317 F.5
N01620 Z-71.667 F.15
N01630 X29. Z-72.417
N01640 X30.131 Z-71.852 F1.
N01650 G00 Z-57.317
N01660 X29.6
N01670 G01 X28. F.15
N01680 X27. Z-58.067 F.5
N01690 Z-70.917 F.15
N01700 X28. Z-71.667
N01710 X29.131 Z-71.101 F1.
N01720 G00 Z-58.067
N01730 X28.6
N01740 G01 X27. F.15
N01750 X26. Z-58.817 F.5
N01760 Z-70.167 F.15
N01770 X27. Z-70.917
N01780 X28.131 Z-70.351 F1.
N01790 G00 Z-58.817
N01800 X27.6
N01810 G01 X26. F.15
N01820 X25. Z-59.567 F.5
N01830 Z-69.416 F.15
N01840 X26. Z-70.167
N01850 X27.131 Z-69.601 F1.
N01860 G00 Z-59.567
N01870 X26.6
N01880 G01 X25. F.15
N01890 X24. Z-60.317 F.5
N01900 Z-63.463 F.15
N01910 G03 X24.163 Z-64.437 I-5.768 K-.974
N01920 X24. Z-65.411 I-5.85 K0.0 F.5
N01930 G01 Z-68.666 F.15
N01940 X25. Z-69.416
N01950 X26.131 Z-68.851 F1.
N01960 G00 X26.163
N01970 Z-60.317
N01980 X25.6
N01990 G01 X24. F.15
N02000 X23. Z-61.067 F.5
N02010 Z-61.894 F.15
N02020 G03 X24. Z-63.463 I-5.268 K-2.543
N02030 G01 X25.131 Z-62.897 F1.
N02040 G00 Z-61.067
N02050 X24.6
N02060 G01 X23. F.15
N02070 X22.946 Z-61.107 F.5
N02080 G02 X22.728 Z-61.468 I.541 K-.361
N02090 X22.872 Z-61.765 I.65 K0.0 F.15
N02100 G01 X23. Z-61.894

N02110 X24.131 Z-61.328 F1.
N02120 G00 X26.163
N02130 Z-65.411
N02140 X25.6
N02150 G01 X24. F.15
N02160 G03 X23. Z-66.98 I-5.768 K.974 F.5
N02170 G01 Z-67.916 F.15
N02180 X24. Z-68.666
N02190 X25.131 Z-68.1 F1.
N02200 G00 Z-66.98
N02210 X24.6
N02220 G01 X23. F.15
N02230 G03 X22.814 Z-67.164 I-5.268 K2.543 F.5
N02240 G02 X22.664 Z-67.467 I.575 K-.303
N02250 X22.882 Z-67.828 I.65 K0.0 F.15
N02260 G01 X23. Z-67.916
N02270 X24.131 Z-67.35 F1.
N02280 G00 X32.1
N02290 Z-79.787
N02300 X31.6
N02310 G01 X30. F.15
N02320 G03 X29.493 Z-80.151 I-.8 K.287 F.5
N02330 G01 X29. Z-80.358
N02340 Z-95.33 F.15
N02350 G02 X30. Z-95.656 I5.237 K7.503
N02360 G01 X31.131 Z-95.09 F1.
N02370 G00 Z-80.358
N02380 X30.6
N02390 G01 X29. F.15
N02400 X28. Z-80.777 F.5
N02410 Z-94.955 F.15
N02420 G02 X29. Z-95.33 I5.737 K7.128
N02430 G01 X30.131 Z-94.765 F1.
N02440 G00 Z-80.777
N02450 X29.6
N02460 G01 X28. F.15
N02470 X27. Z-81.197 F.5
N02480 Z-94.522 F.15
N02490 G02 X28. Z-94.955 I6.237 K6.695
N02500 G01 X29.131 Z-94.39 F1.
N02510 G00 Z-81.197
N02520 X28.6
N02530 G01 X27. F.15
N02540 X26.163 Z-81.548 F.5
N02550 X26. Z-81.636
N02560 Z-94.019 F.15
N02570 G02 X27. Z-94.522 I6.737 K6.192
N02580 G01 X28.131 Z-93.956 F1.
N02590 G00 Z-81.636
N02600 X27.6
N02610 G01 X26. F.15
N02620 G02 X25. Z-82.228 I6.737 K-6.192 F.5
N02630 G01 Z-93.426 F.15
N02640 G02 X26. Z-94.019 I7.237 K5.599
N02650 G01 X27.131 Z-93.453 F1.
N02660 G00 Z-82.228
N02670 X26.6
N02680 G01 X25. F.15
N02690 G02 X24. Z-82.942 I7.237 K-5.599 F.5
N02700 G01 Z-92.712 F.15

N02710 G02 X25. Z-93.426 I7.737 K4.885
N02720 G01 X26.131 Z-92.86 F1.
N02730 G00 Z-82.942
N02740 X25.6
N02750 G01 X24. F.15
N02760 G02 X23. Z-83.843 I7.737 K-4.885 F.5
N02770 G01 Z-91.811 F.15
N02780 G02 X24. Z-92.712 I8.237 K3.984
N02790 G01 X25.131 Z-92.146 F1.
N02800 G00 Z-83.843
N02810 X24.6
N02820 G01 X23. F.15
N02830 G02 X22. Z-85.109 I8.237 K-3.984 F.5
N02840 G01 Z-90.545 F.15
N02850 G02 X23. Z-91.811 I8.737 K2.718
N02860 G01 X24.131 Z-91.246 F1.
N02870 G00 Z-85.109
N02880 X23.6
N02890 G01 X22. F.15
N02900 G02 X21.174 Z-87.827 I8.737 K-2.718 F.5
N02910 X22. Z-90.245 I9.15 K0.0 F.15
N02920 G01 X23.131 Z-89.979 F1.
N02930 G00 X100
N02940 Z49.7
;Tiempo de operación:Minutos:5.06
;Tiempo de maquinado: Minutos:5.38

;Operación: ACANALADO_1
;Herramienta: CUCHILLA_ACANALADO
N02950 G54 G00 X100.
N02951 Z49.7
N02960 T0505
;Refrigerante Desconocido
N02970 G92 S1047
N02980 G96 S274 M03
N02990 Z-50.3
N03000 X34.
N03010 X36.964 Z-49.737
N03020 G01 X36.564 F.07
N03030 X22.463 F.5
N03040 X22.863 F1.
N03050 G00 X50.
N03060 Z-50.3
;Tiempo de operación:Minutos:0.23
;Tiempo de maquinado: Minutos:5.61
;Operación: ACANALADO_2
;Herramienta: CUCHILLA_ACANALADO
N03070 G92 S1800
N03080 G96 S274 M03
N03090 Z-23.3
N03100 X22.
N03110 X22.7
N03120 X26.9 Z-23.037
N03130 G01 X26.5 F.07
N03140 X16.399 F.5
N03150 X16.799 F1.
N03160 G00 X100.
N03170 Z50.
;Tiempo de operación:Minutos:0.02
;Tiempo de maquinado: Minutos:5.63

```
;Operación: ROSCADO
;Herramienta: CUCHILLA_ROSCADO
N03180 G54 G00 X50.
N03181 Z-50.
N03190 T0707
;Refrigerante Desconocido
N03200 G92 S1800
N03210 G96 S574 M03
N03220 X22. Z12.7
N03230 X26. Z.063
N03240 G01 X19.6 F.07
N03250 G33 Z-22.175 K2.
N03260 G01 X26. F1.
N03270 G00 Z1.763
N03280 G01 X19.22 F.07
N03290 G33 Z-22.175 K2.
N03300 G01 X26. F1.
N03310 G00 Z1.763
N03320 G01 X18.86 F.07
N03330 G33 Z-22.175 K2.
N03340 G01 X26. F1.
N03350 G00 Z1.763
N03360 G01 X18.52 F.07
N03370 G33 Z-22.175 K2.
N03380 G01 X26. F1.
N03390 G00 Z1.763
N03400 G01 X18.2 F.07
N03420 G33 Z-22.175 K2.
N03420 G01 X26. F1.
N03430 G00 Z1.763
N03440 G01 X17.9 F.07
N03450 G33 Z-22.175 K2.
N03460 G01 X26. F1.
N03470 G00 Z1.763
N03480 G01 X17.6 F.07
N03490 G33 Z-22.175 K2.
N03500 G00 X100.
N03501 Z50.
;Tiempo de operación:Minutos:1.56
;Tiempo de maquinado: Minutos:7.19
;Operación: TRONZADO
;Herramienta: CUCHILLA_ACANALADO
N03510 G54 G00 X100.
N03521 Z50.
N03530 T0505
;Refrigerante Desconocido
N03540 G97 S250 M03
N03550 X76.
N03560 Z-118.
N03570 X46.8 Z-120.8
N03580 G95 G01 X46.4 F.7
N03590 X0.0
N03600 X.4 F1.
N03610 G00 X46.8
N03620 Z50.
N03630 X100.
;Tiempo de operación:Minutos:0.38
;Tiempo de maquinado: Minutos:7.57
N03640 M05
N03650 M30
```


4.1.2 Proceso de verificación de la prueba #1

Con el código extraído es necesario iniciar con el proceso de verificación que contiene los pasos de simular el código y maquinarse en el torno Romi C420, como se detalla a continuación.

4.1.2.1 Simulación de la prueba #1 en el torno Romi C420

La simulación del programa se realiza directamente en la interfaz de usuario máquina. El proceso comienza con ubicar el código dentro de una de las carpetas principales de la memoria del controlador, definir dimensiones de la pieza en bruto y simular para comprobar que las operaciones que describe el código de salida corresponden a las acciones del CAM programadas.

- **Ingreso del programa de códigos G a la carpeta sub programas del controlador numérico Sinumerik 828D**

Para este paso es necesario transferir el archivo del código a una flash memory, que será introducida en los puertos USB del panel de exhibición del torno, al abrir los archivos es necesario que se ingresen a la memoria del equipo mediante el siguiente procedimiento tomado del manual de usuario del torno Romi C420 con controlador numérico Sinumerik 828D:

- Insertar la memoria externa en el puerto correspondiente (USB).
- Accionar la tecla "PROGRAM MANAGER" del panel de programación.
- Accionar la botonera softkey de USB.
- Dirigirse al archivo del programa a ser abierto, por medio del cursor.
- Active el softkey de COPIAR y NC.
- Ubicarse en la carpeta de destino del archivo por medio de los cursores.

Finalmente se inserta el archivo y abre para pasar a la definición de las dimensiones de la pieza en bruto.

- **Definición de pieza en bruto de la prueba #1**

Este proceso delimita las dimensiones de la pieza en bruto y sigue los pasos:

- Activar el softkey otros.

- Escoger materiales de pieza en bruto y activar
- Colocar los valores que la interfaz solicita. (Ver Figura 4.21)
- Aceptar

Los valores escritos aparecen automáticamente en el programa que será corrido.

- **Simulación de la prueba #1**

Posteriormente se activa el proceso de la siguiente manera:

- Activar el softkey SIMULACIÓN
- Esperar y resetear el programa por medio del softkey [//]
- Finalmente presionar START

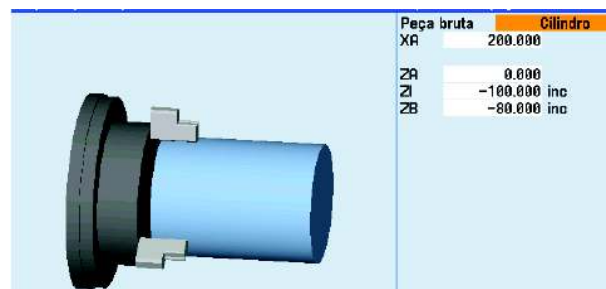


Figura 4.21: Definición de dimensiones del material en bruto en el panel de exhibición
Fuente: (Siemens, 2009)

Con la simulación en el torno Romi C420, visualizado en el panel de exhibición del operador, se comprueba la trayectoria de la herramienta al maquinarse, puntos de inicio y fin de operaciones

La Figura 4.22 muestra la simulación de la prueba #1, donde las líneas de color rojo representan la trayectoria de la herramienta.

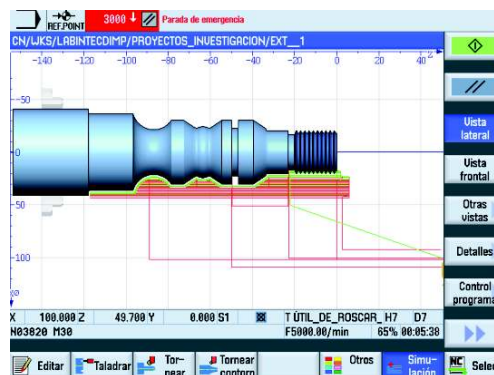


Figura 4.22: Simulación de maquinado de la prueba #1 en el torno Romi C420
Fuente: (Autor)

4.1.2.2 Maquinado de la prueba #1 usando el código G extraído

Este paso es una verificación por medios físicos, en donde se emplea el material grilón negro cuyas características se encuentran en la Tabla 4.6 para ser maquinado en el torno Romi C420 y se traduce los códigos obtenidos.

Tabla 4.6: Características del material grilón para realizar las pruebas de maquinado en el torno Romi C420

Nombre técnico	Poliamida 6
Nombre comercial	Grilón
Absorción de agua	1.80%
Densidad	1.14 [g/cm ³]
Dureza rockwell HRD	D75-80
Resistencia a temperatura	79-121 [°C]
Resistencia a la tensión	720-840 [Kg/cm ²]
Resistencia a la fatiga	Buena

Fuente: (Acerind, 2016)

El programa obtenido incluye las operaciones de refrentado, desbaste, acanalado, roscado y tronzado, sin embargo en la práctica no se realizaron las operaciones de refrentado y tronzado. Las razones se deben al uso del contrapunto para el maquinado y la segunda a la forma del porta inserto de la herramienta de acanalado que podría causar un choque contra la pieza. En las Figuras 4.23 y 4.24, se indica el material en bruto físicamente y la pieza terminada.

- **Material en bruto**

El maquinado de la prueba #1 se realizó en material grilón negro con las dimensiones de 158 [mm] de largo y 41,5 [mm] de diámetro, los 40 [mm] más son para el agarre al mandril del material.

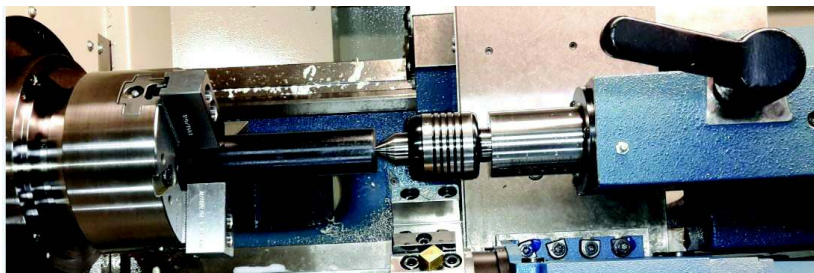


Figura 4.23: Material en bruto para el maquinado de la prueba #1

Fuente: (Autor)

- **Maquinado de la prueba #1 terminada**

Una vez corrida la simulación completa se indica en la Figura 4.24, el ejercicio terminado y plasmado en el material.



Figura 4.24: Maquinado de la prueba #1 terminada en grilón negro
Fuente: (Autor)

En este paso se puede comparar el tiempo final de maquinado con el tiempo entregado por el código G creado (ver Figura 4.25). Los resultados se encuentran en la Tabla 4.7.

Tabla 4.7: Comparación del tiempo real del torno y estimado por el programa obtenido para la prueba #1

TIEMPO		
ESTIMADO [min]	REAL [min]	Diferencia entre tiempos [min]
6,89	5,72	1,17

Fuente: (Autor)

En la Tabla 4.7 se observa que para la prueba #1 existe una diferencia entre tiempos de 1.17 [min] lo que se debe a factores como programación de puntos innecesarios al desplazarse la herramienta o cambio en la misma al momento de crear operaciones y trayectorias en el CAM.

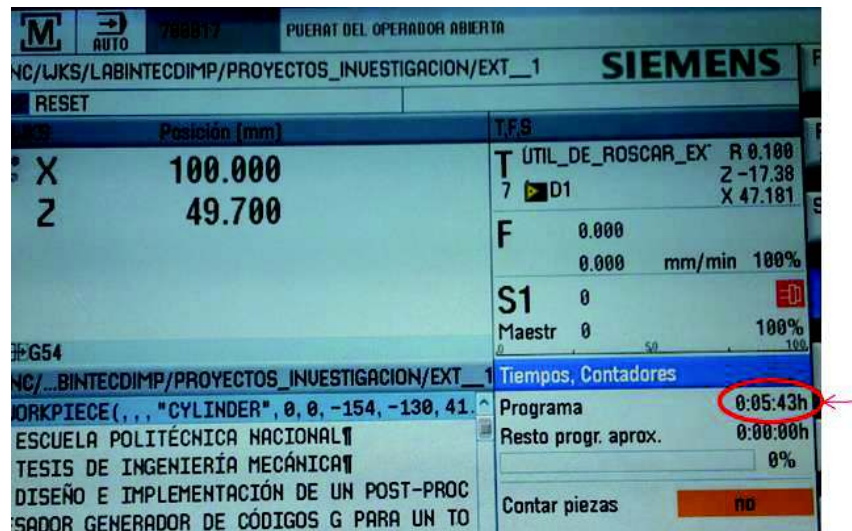


Figura 4.25: Tiempo real de maquinado de la prueba #1
Fuente: (Autor)

- **Verificación de dimensiones del producto obtenido con los planos de pieza**

Las Tablas 4.8, 4.9, 4.10 muestran los resultados obtenidos de las pruebas dimensionales, en esta verificación se toma como tolerancia general para la pieza como el valor de $\pm 0,5$ [mm] debido al acabado dado y se encuentran divididas en:

- Medidas principales: son las medidas totales y límites de la pieza.
- Medidas secundarias: corresponden a medidas en las que sus valores no afectan el modelo y tienen una tolerancia mayor.
- Medidas funcionales: son las dimensiones de las que depende el funcionamiento de la pieza y tendrán una tolerancia específica.

Para medir se empleó un pie de rey de marca MITUTOYO perteneciente al Laboratorio de Análisis de Esfuerzos y Vibraciones (LAEV) de la Escuela Politécnica Nacional, galgas para el paso de las roscas y galgas de radios. En el anexo D-3 se encuentra el certificado de calibración del equipo, para validar este proceso. La Figura 4.26 indica el plano guía de la pieza de la prueba #1.

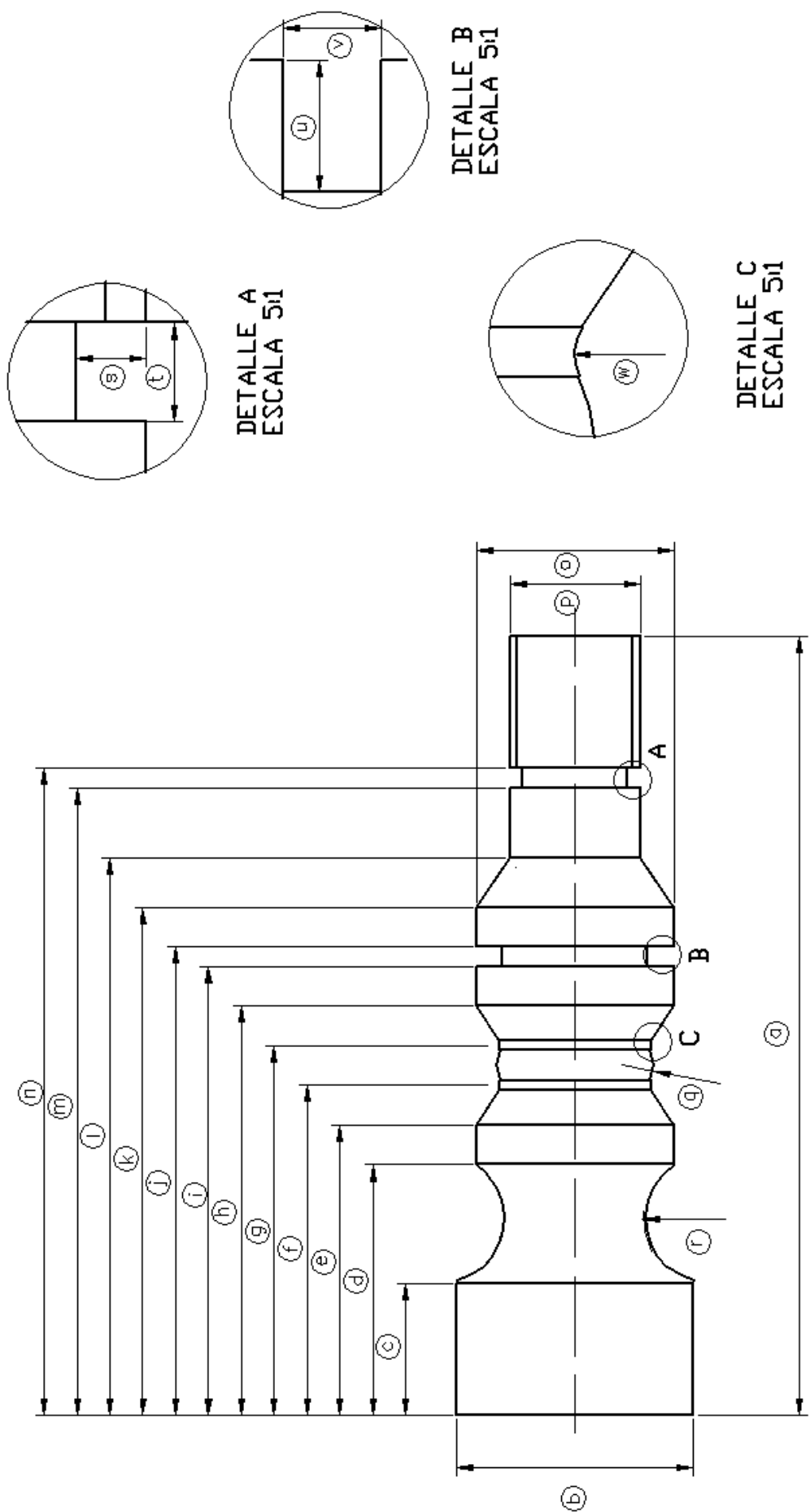


Figura 4.26: Plano guía para comprobar dimensiones de la prueba #1
Fuente: (Autor)

En las tablas de evaluación de dimensiones se incluye la columna de condición que asigna el valor de Aceptado o No aceptado, de acuerdo a la tolerancia general establecida $\pm 0,5$ que depende del equipo y acabado final de la pieza maquinada. Para el radio de 10 [mm] de curvatura se usó una galga métrica, para el de 5 [mm] se fabricó una guía con esa dimensión y se estableció los valores máximos y mínimos para su aceptación.

Tabla 4.8: Dimensiones principales de la prueba #1

MARCA	DESCRIPCION	VALOR NOMINAL [mm]	VALOR MEDIDO [mm]	TOLERANCIA GENERAL \pm [mm]	CONDICIÓN
a	Longitud total	118,0	118,01	0,5	Aceptado
b	Diámetro mayor	36,0	35,59	0,5	Aceptado
c	Longitud del diámetro mayor	20,0	20,45	0,5	Aceptado
d	Longitud del arco hacia dentro	18,0	18,03	0,5	Aceptado
r	Radio del arco hacia dentro	10,0	10,00	Máx.: 11 Mín.: 9	Aceptado
g	Inicio del arco hacia fuera	50,0	50,46	0,5	Aceptado
f	Fin del arco hacia afuera	56,0	56,42	0,5	Aceptado
p	Diámetro medio	30,0	29,75	0,5	Aceptado
q	Radio del arco hacia fuera	5,0	5,00	Máx.: 6 Mín.: 4	Aceptado
s	Altura del canal A	2,0	1,97	0,5	Aceptado
t	Ancho del canal A	3,0	2,96	0,5	Aceptado
u	Altura del canal B	4,0	3,96	0,5	Aceptado
v	Ancho del canal B	3,0	2,96	0,5	Aceptado
w	Radio de curvatura menor	1,5	1,50	Máx.: 2 Mín.: 1	Aceptado

Fuente: (Autor)

Tabla 4.9: Dimensiones secundarias de la prueba #1

MARCA	DESCRIPCION	VALOR NOMINAL [mm]	VALOR MEDIDO [mm]	TOLERANCIA GENERAL \pm [mm]	CONDICIÓN
e	Longitud	44	44,42	0,5	Aceptado
h	Longitud	62	62,50	0,5	Aceptado
i	Longitud	68	68,18	0,5	Aceptado
j	Longitud	71	71,10	0,5	Aceptado
k	Longitud	77	77,09	0,5	Aceptado
l	Longitud	84	84,39	0,5	Aceptado
m	Longitud	95	95,19	0,5	Aceptado
n	Longitud	98	98,20	0,5	Aceptado

Fuente: (Autor)

NOTA: La tolerancia de los valores mejoran al hacerse el pase de afinado, y descartar todos los factores relacionados con el operador, máquina y material, que influyen directamente en la obtención de la pieza. Es así como el ingreso de datos erróneos de la medición de la herramienta para iniciar el maquinado, herramientas desgastadas, mal ajuste de porta insertos, definición de cero pieza y/o máquina afectan al momento de plasmar el código en el elemento maquinado.

Tabla 4.10: Dimensiones funcionales del prueba #1

MARCA	DESCRIPCION	VALOR NOMINAL [mm]		VALOR MEDIDO [mm]		TOLERANCIA GENERAL \pm [mm]	TOLERANCIA ESPECIFICA -[mm]	CONDICIÓN
		Φ Cresta	Paso	Φ Cresta	Paso			
o	Rosca M20 x2	20	2	19,73	2	0,5	h6: 0,28	Aceptado

Fuente: (Autor)

Para la rosca M20x2 mecanizada en la prueba #1 se asigna una tolerancia específica h6 con un valor de 0,28 [mm] con el cual el valor del diámetro de cresta se debe encontrar alrededor de los -19,72 [mm] para aceptarse. Este dato fue tomado de: (INEN, 2016)

4.2 Proceso de verificación de la prueba #2: eje de operaciones internas de torneado

Los pasos para comprobar el funcionamiento del programa es el mecanizado de la pieza correspondiente a la prueba #2 que sigue el mismo proceso que se aplicó a la prueba #1, por lo que la información de este apartado es guiado por las secciones 4.1 y 4.2. Las operaciones internas que incluye son: desbaste, acanalado y roscado en un eje hueco de material grilón blanco.

4.2.1 Proceso de obtención de la prueba #2

4.2.1.1 Diseño en CAD de la prueba #2

Para una mejor visualización de las operaciones internas de torneado de: desbaste, ranurado y roscado se realizó un corte en el modelo de la Figura 4.27, en el modelo se excluye el material que sirve de agarre para el husillo de 35[mm] de largo y diámetro 58 [mm].

Las dimensiones del material que es maquinado es 40 [mm] de largo y 40 [mm] de diámetro, con una rosca de M40x2, longitud total de 84,3[mm] y diámetro mayor de 81,5[mm].

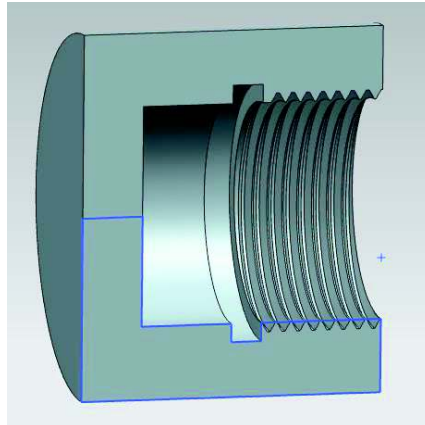


Figura 4.27: Prueba #2 de operaciones internas de torneado
Fuente: (Autor)

4.2.1.2 Fabricación en CAM de la prueba #2

- **Paso 1: Creación de herramientas**

En las operaciones internas la forma del porta herramientas es redondo y los nombres de los insertos empieza por la letra en el software, por ejemplo: ID_55_L (cuchilla de desbaste). Las herramientas empleadas, número asignado y puntos de rastreo para la prueba 2 se resumen en la Tabla 4.11, así como la asignación en el software CAM para la selección de las mismas.

A continuación de la Tabla 4.11 se muestran las figuras de las herramientas seleccionadas para el proceso, con los parámetros a ser tomados en cuenta para el maquinado de la prueba #2.

Tabla 4.11: Identificación de la herramienta y puntos de rastreo para ingresarse en el software CAM

N° EN TORRETA	HERRAMIENTA	IDENTIFICACIÓN NX	PUNTO DE RASTREO
2	CUCHILLA_DESBASTE	ID_55_L	P2
4	CUCHILLA_ACANALADO	ID_GROOVE_L	P9
8	CUCHILLA_ROSCADO	ID_THREAD_L	P6

Fuente: (Autor)

- **Cuchilla #1 para desbaste**

Los parámetros para esta herramienta se muestran en la Figura 4.19.

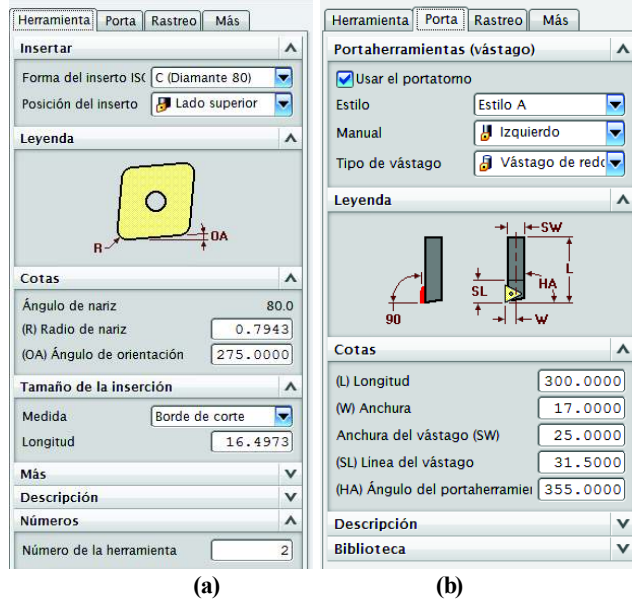


Figura 4.28: Parámetros de (a) inserto y (b) porta inserto modificados para herramienta de desbaste interno
Fuente: (Autor)

- **Cuchilla #2 para acanalado**

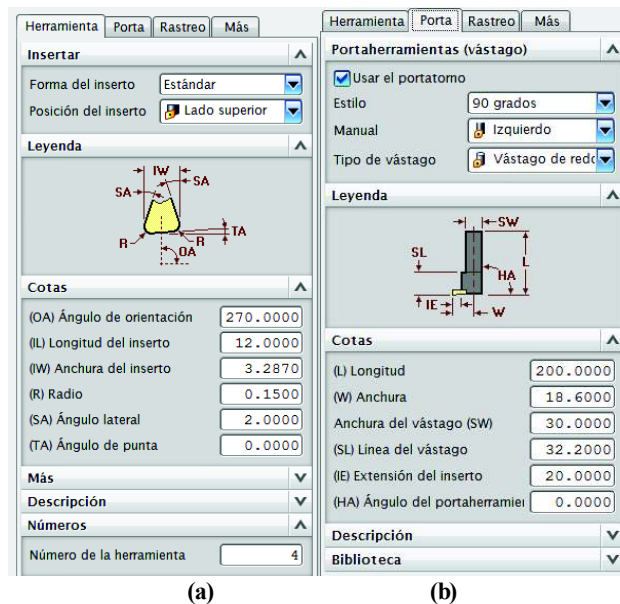


Figura 4.29: Parámetros de (a) inserto y (b) porta inserto modificados para cuchilla de acanalado de operaciones internas
Fuente: (Autor)

- **Cuchilla #3 para roscado**

En esta herramienta no se modifica parámetros del porta herramientas.

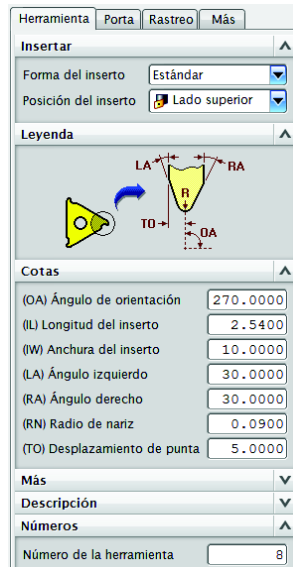


Figura 4.30: Parámetros de inserto modificados para herramienta de roscado interno
Fuente: (Autor)

- **Paso 2: Creación de geometrías**

Primero se define el cero máquina en el icono MCS_SPINDLE, ubicando los ejes en el punto X: 50.3, Y: 0, Z: 0, la Figura 4.31 muestra los ejes definidos para la prueba #2 y su plano de trabajo. La pieza se encuentra en una trama alámbrica con bordes de cota.

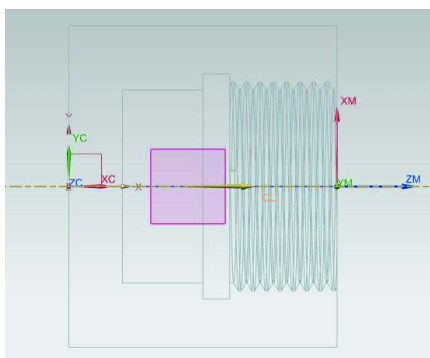


Figura 4.31: Plano de trabajo de la prueba #2
Fuente: (Autor)

En WORKPIECE se especifica la pieza en bruto para el maquinado, su selección está en color café y se aprecia en la Figura 4.32.

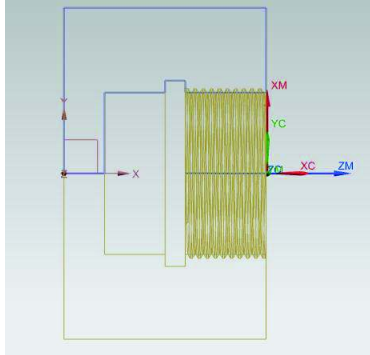


Figura 4.32: Selección de la pieza en bruto del ejercicio #2

Fuente: (Autor)

En los cuadros de diálogo de TURNING_WORKPIECE se limita a una demasía de tubo, con valores de posición de montaje de: X: -80, Y: 0, Z: 0, longitud 130.3 [mm], diámetro externo 81,5 [mm] y diámetro interior 38 [mm]. (Ver Figura 4.33)

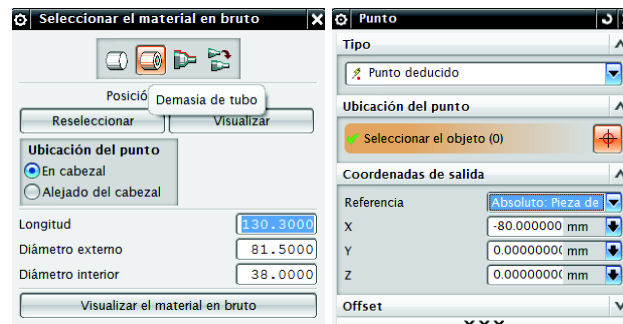


Figura 4.33: Cuadros de diálogo de TURNING_WORKPIECE de la prueba #2

Fuente: (Autor)

El plano de montaje, en el que se realiza el trabajo de maquinado para realizar las operaciones y queda como se observa en la Figura 4.34.

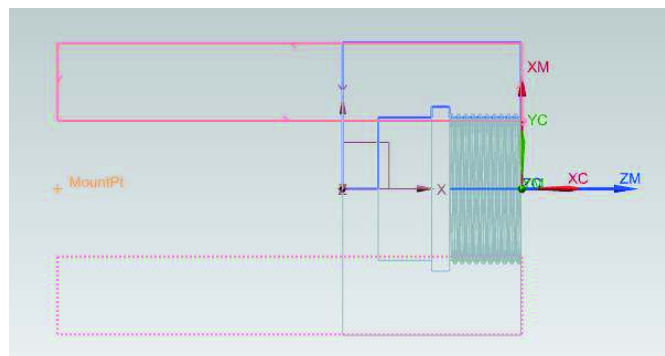


Figura 4.34: Plano de trabajo de la prueba #2

Fuente: (Autor)

Posteriormente se crean los containment y avoidance correspondientes para limitar el maquinado de la prueba #2, los cuadros son los mismos de la Figura

4.16, la diferencia son los puntos que se programen de acuerdo a las operaciones a realizarse.

- **Paso 3: Creación de operaciones**

Para la creación de las operaciones se utiliza las velocidades de la Tabla 4.12 calculadas con la ecuación 1 de la sección 4.1.1.2.

Tabla 4.12: Velocidades, avances y profundidades recomendadas para las operaciones de mecanizado de la prueba #2

OPERACIÓN	Velocidad de corte Vc			Avance fn [mm/r]	Profundidad ap [mm]
	[m/min]	[RPM]	MAX [RPM]		
Refrentado	210	1759	2136	0,20	0,80
Desbaste	210	1759	2136	0,20	0,80
Acanalado	95	795	1298	0,07	-
Roscado	125	1047	1800	-	0,26

Fuente: (Sandvik, 2015)

En la Figura 4.35 se indica la ventana de selección de operaciones, las que son destinadas para desprendimiento de viruta internamente en una pieza comienzan con la letra I, y su opción para programa toma el nombre de PRUEBA_2.



Figura 4.35: Ventana de creación de operaciones para la prueba #2

Fuente: (Autor)

Los datos para seleccionar la operación se encuentran en la Tabla 4.13, con el resumen de la herramienta, geometría en donde se ubica la operación, método y el nombre de la operación en el software CAD/CAM.

Tabla 4.13: Datos para crear las operaciones externas de torneado para la prueba #2

OPERACIÓN	HERRAMIENTA	GEOMETRÍA	MÉTODO	NOMBRE EN NX
Refrentado	CUCHILLA_DESBASTE	Containment_1 Avoidance_1	LATHE_ FINISH	FACING
Desbaste	CUCHILLA_DESBASTE	Containment_2 Avoidance_2	LATHE_ ROUGH	ROUGH_BORE_ID
Acanalado	CUCHILLA_ACANALADO	Containment_3 Avoidance_3	LATHE_ GROOVE	GROOVE_ID
Roscado	CUCHILLA_ROSCADO	Containment_3 Avoidance_4	LATHE_ THREAD	THREAD_ID

Fuente: (Autor)

4.2.1.3 Obtención del código G

Esta sección parte de la obtención del código de la prueba #2, debido a que los pasos de añadir el código y dar valores a la pieza en bruto es el mismo que para la prueba #1.

Por lo tanto el programa extraído queda de la siguiente manera:

```
;ESCUELA POLITÉCNICA NACIONAL
;TESIS DE INGENIERÍA MECÁNICA
;DISEÑO E IMPLEMENTACIÓN DE UN POST-PROCESADOR GENERADOR DE CÓDIGOS G
PARA UN TORNO CNC ROMI C420
;Programado por: Mayra Andrango
;Post-procesado el: FRI JUL 08 08:29:42 2016
;O0001 (PRUEBA_2)
```

(Coloque cero pieza en el código G54, considerando que deben estar en dos líneas de programación, axial-radial)

(En el proceso de roscar modificar el parámetro K de paso por F)

```
N00010 G291
N00020 G40 G95 G21 G90
;Operación: REFRENTADO
;Herramienta: CUCHILLA_DESBASTE
N00030 G54 G00 X100 Z150
N00040 T0202
N00050 M08
;Refrigerante Flujo
N00060 G92 S2136
N00070 G96 S470 M03
N00080 X100. Z12.7
N00090 X30.
N00100 X30.946 Z-.2
```

N00110 G01 X32.535 F.15
N00120 X84.143 F.5
N00130 X85.731 F1.
N00140 G00 Z2.8
N00150 X30.756
N00160 Z-.3
N00170 G01 X32.345 F.15
N00180 X84.332
N00190 X85.921 F1.
N00200 G00 Z12.7
N00210 X32.

;Tiempo de maquinado: Minutos:0.34

;Operación: DESBASTE

;Herramienta: CUCHILLA_DESBASTE

N00220 G92 S2136
N00230 G96 S470 M03
N00240 X38.8 Z3.39
N00250 G01 Z2.595 F.15
N00260 Z-40.2 F.5
N00270 X38. F.15
N00280 X36.877 Z-39.638 F1.
N00290 G00 X36.8
N00300 Z3.494
N00310 X39.6
N00320 G01 Z2.7 F.15
N00330 Z-40.2
N00340 X38.8
N00350 X37.677 Z-39.638 F1.
N00360 G00 X37.6
N00370 Z.262
N00380 X38.677
N00390 G01 X39.8 Z-.3 F.15
N00400 Z-40.2
N00410 X39.6
N00420 X38.477 Z-39.638 F1.
N00430 G00 X37.482 Z-39.349
N00440 X36.823 Z.88
N00450 G03 X40. Z-.708 I0.0 K-1.589 F.15
N00460 G01 Z-40.3
N00470 X38.817
N00480 G03 X35.64 Z-38.711 I0.0 K1.589 F1.
N00490 G00 Z12.7
N00500 X32.

;Tiempo de operación:Minutos:0.46

;Tiempo de maquinado: Minutos:0.81

;Operación: ACANALADO

;Herramienta: CUCHILLA_ACANALADO

N00510 G54 G00 X100 Z150
N00520 T0404
N00530 M08
;Refrigerante Flujo
N00540 G92 S1298
N00550 G96 S208 M03
N00560 Z12.7
N00570 X38.
N00580 X33.3 Z-20.45

N00590 G01 X33.7 F.05
N00600 X45.7 F.5
N00610 X45.3 F1.
N00620 G00 X33.3
N00630 Z-20.95
N00640 G01 X33.7 F.05
N00650 X45.7
N00660 X45.3 F1.
N00670 G00 X33.3
N00680 Z-21.45
N00690 G01 X33.7 F.07
N00700 X45.7
N00710 X45.3 F1.
N00720 G00 X33.3
N00730 Z-21.95
N00740 G01 X33.7 F.07
N00750 X45.7
N00760 X45.3 F1.
N00770 G00 X33.3
N00780 Z-22.45
N00790 G01 X33.7 F.07
N00800 X45.7
N00810 X45.3 F1.
N00820 G00 X38.
N00830 Z14.7
N00840 X100.

;Tiempo de operación:Minutos:0.52
;Tiempo de maquinado: Minutos:1.33

;Operación: ROSCADO
;Herramienta: CUCHILLA ROSCADO
N00850 G54 G00 X100. Z150
N00860 T0808
N00870 M08
;Refrigerante Flujo
N00880 G92 S1800
N00890 G96 S274 M03
N00900 X30. Z9.7
N00910 X34. Z-.3
N00920 X40.38
N00930 G33 Z-20.3 K2.
N00940 G01 X34. F1.
N00950 G00 Z-.3
N00960 X40.74
N00970 G33 Z-20.3 K2.
N00980 G01 X34.
N00990 G00 Z-.3
N01000 X41.08
N01010 G33 Z-20.3 K2.
N01020 G01 X34.
N01030 G00 Z-.3
N01040 X41.4
N01050 G33 Z-20.3 K2.
N01060 G01 X34.
N01070 G00 Z-.3
N01080 X41.7
N01090 G33 Z-20.3 K2.
N01100 G01 X34.
N01110 G00 Z-.3


```

N01120 X41.98
N01130 G33 Z-20.3 K2.
N01140 G01 X34.
N01150 G00 Z-.3
N01160 X42.19
N01170 G33 Z-20.3 K2.
N01180 G01 X34.
N01190 G00 Z-.3
N01200 X42.4
N01210 G33 Z-20.3 K2.
N01220 G01 X34.
N01230 G00 X30.
N01240 Z9.7
N01250 M09
N01260 X100. Z14.7

;Tiempo de operación:Minutos:0.27
;Tiempo de maquinado: Minutos:1.60
N01270 M05
N01280 M30

```

4.2.2 Proceso de verificación de la prueba #2

Se ingresa el programa a la memoria del controlador del torno Romi C420 y se corre para dar paso al proceso de simulación, previamente definido la pieza en bruto.

4.2.2.1 Simulación de la prueba #2 en el torno Romi C420

La Figura 4.36 indica el proceso de simulación de la prueba #2 en el cual se observa los puntos de la trayectoria de la herramienta, así como el punto de seguridad programado en el CAM.



Figura 4.36: Simulación de maquinado de la prueba #2 en el torno Romi C420

Fuente: (Autor)

4.2.2.2 Maquinado de la prueba #2 usando en código G extraído

El mecanizado de operaciones internas de la prueba #2 se hace en material grilón blanco con las características presentes en la Tabla 4.6.

- **Material en bruto**

El material a utilizarse para la prueba #2 fue pre maquinado para tomar la una forma que se observa en la Figura 4.37, esto se debe a la capacidad máxima de agarre de las muelas del mandril. El diámetro menor corresponde a 58[mm] con un largo de 35 [mm] que ingresa completamente entre las muelas del mandril. El diámetro mayor en el que se realiza las operaciones internas tiene un diámetro de 81,5 [mm] y 49,3 [mm] de longitud.

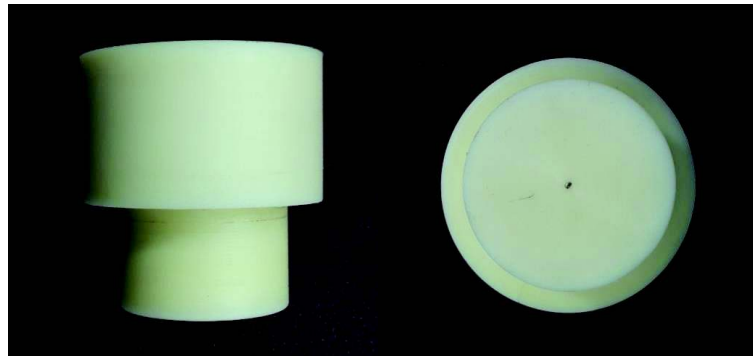


Figura 4.37: Material en bruto para la prueba de maquinado de la prueba #2
Fuente: (Autor)

- **Maquinado de la prueba 2 terminada**

El maquinado queda como se observa en la Figura 4.38.



Figura 4.38: Maquinado de la prueba #2 terminada en grilón blanco
Fuente: (Autor)

Al finalizar el maquinado se toma la información del tiempo total que se visualiza en el panel de exhibición del torno Romi (ver Figura 4.39), correspondiente a 1,22 [min] y se compara con el valor del tiempo del programa del post- procesador creado que es de 1,60 [min] (ver Tabla 4.14).

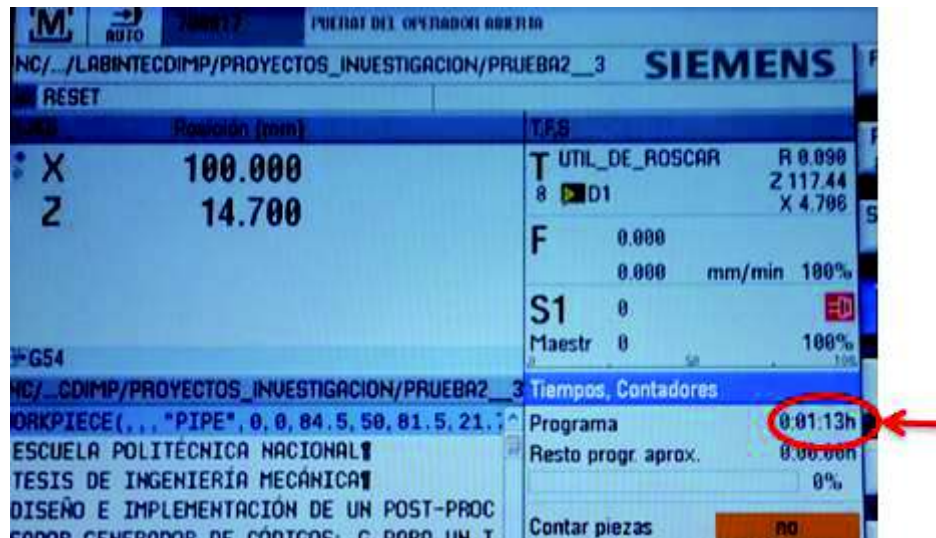


Figura 4.39: Tiempo real de maquinado de la prueba #2

Fuente: (Autor)

La diferencia entre el tiempo real y el tiempo estimado por el programa es de 0,38 [min] esto se debe a la programación de las operaciones de maquinado y puntos innecesarios en el módulo CAM para la prueba #2. El valor positivo se traduce como un tiempo de seguridad empleado para la verificación que seguirá la herramienta.

Tabla 4.14: Comparación del tiempo real del torno y estimado por el programa obtenido para la prueba #2

TIEMPO		
ESTIMADO [min]	REAL [min]	Diferencia entre tiempos [min]
1,60	1,22	0,38

Fuente: (Autor)

- **Verificación de dimensiones del producto obtenido con los planos de pieza**

A continuación se presenta el plano guía y tablas con los resultados obtenidos de la validación de dimensiones principales, secundarias y funcionales.

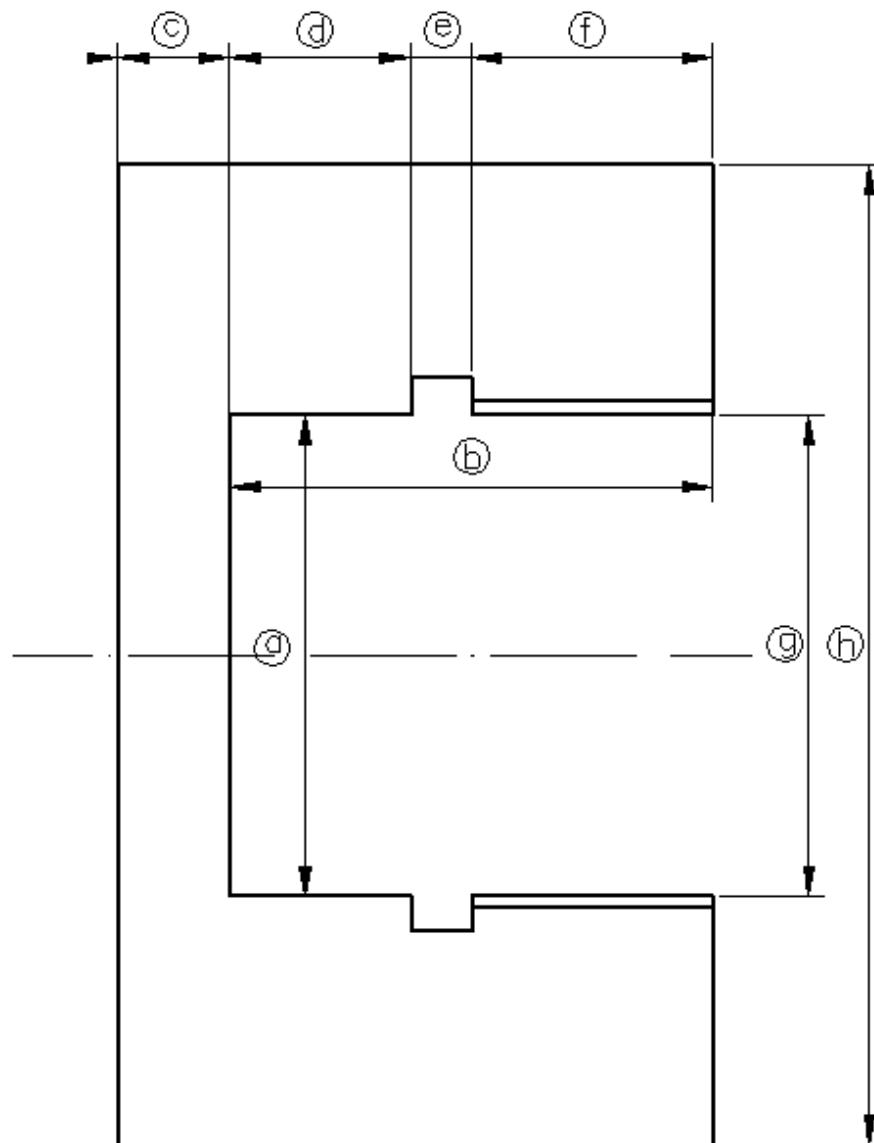


Figura 4.40: Plano guía comprobar dimensiones para la prueba #2
Fuente: (Autor)

Las Tablas 4.15, 4.16 y 4.17 resumen la comparación de dimensiones con la condición de los valores de aceptar o no el proceso, de acuerdo al rango de tolerancia general establecido de $\pm 0,5$ para la prueba que es afectado por configuración de herramientas, del equipo y acabado final dado.

La Tabla 4.15 de dimensiones principales de la prueba #2, indican que los valores obtenidos cumplen se encuentran dentro del rango de tolerancia admisible dado, excepto en el inicio y fin del canal que no cumple.

Tabla 4.15: Dimensiones principales de la prueba #2

MARCA	DESCRIPCION	VALOR NOMINAL [mm]	VALOR MEDIDO [mm]	TOLERANCIA GENERAL \pm [mm]	CONDICIÓN
a	Diámetro de desbaste	40	40,50	0,5	Aceptado
b	Longitud total de desbaste	40	39,97	0,5	Aceptado
d	Longitud desbastada	18	18,5	0,5	Aceptado
e	Ancho del canal	3	2,5	0,5	Aceptado
h	Diámetro mayor	81,5	81,50	0,5	Aceptado

Fuente: (Autor)

Nota: Los valores se pueden mejorar al seleccionar el filo de corte adecuado para la operación, dar un pase de afinado final al proceso y definir de forma precisa los punto cero de pieza y/o máquina, así como la medición de la herramienta.

Tabla 4.16: Dimensiones secundarias de la prueba #2

MARCA	DESCRIPCION	VALOR NOMINAL [mm]	VALOR MEDIDO [mm]	TOLERANCIA GENERAL \pm [mm]	CONDICIÓN
c	Longitud sin maquinar	9,3	9,33	0,5	Aceptado
f	Longitud rosca	19	18,7	0,5	Aceptado

Fuente: (Autor)

Para la rosca M40x2 de la Tabla 4.17, presenta una tolerancia general de $\pm 0,5$ y específicamente en la rosca una calidad de H6 con un valor de tolerancia de 0,3 con el cual el diámetro de cresta debe encontrarse en un valor de 39,7 [mm] para ser aceptado.

Tabla 4.17: Dimensiones funcionales de la prueba #2

MARCA	DESCRIPCION	VALOR NOMINAL [mm]		VALOR MEDIDO [mm]		TOLERANCIA GENERAL \pm [mm]	TOLERANCIA ESPECIFICA -[mm]	CONDICIÓN
		Φ Cresta	Paso	Φ Cresta	Paso			
g	Rosca M40 x2	40	2	39,7	2	0,5	H6: $\pm 0,3$	Aceptado

Fuente: (Autor)

CAPITULO V

CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES

Conclusiones

- Con el presente proyecto se pudo diseñar y obtener un post procesador generador de códigos G que cumple con los parámetros de funcionamiento de un torno Romi C420 de controlador numérico Sinumerik 828D.
- Se seleccionó al software NX que integra los sistemas CAD/CAM por el método ordinal corregido de criterios ponderados para diseñar la interfaz de usuario del programa que da salida a los códigos G de una pieza modelada.
- Para la validación del programa se realiza el mecanizado de dos piezas con operaciones básicas de torneado externas e internas de desbaste, roscado y acanalado en el torno Romi C420, con el cual se depuró códigos innecesarios en el programa como el código G18 que especifica el plano de trabajo y el símbolo de % para inicio y fin del programa debido a que las características del controlador numérico Sinumerik 828D reconoce directamente el inicio, fin o plano de trabajo de la pieza a mecanizarse.
- Para el cambio de herramientas de forma manual y automático no se acompaña de las funciones misceláneas M06 y M00, debido a que el equipo tiene parámetros preestablecidos en su memoria de trabajo para la realización de estas acciones.
- El programa obtenido entrega los códigos de decalaje de origen G54 acompañado de los valores de los ejes X, Z sin embargo es necesario que el operador programe estos puntos correspondientes de creación de pieza al iniciar el proceso, considerando el eje Z en una línea y el eje X en una segunda línea de programación. Para recordar este proceso se ingresa al inicio del programa un mensaje para que el operador realice esta acción.
- Al simular los programas obtenidos, se puede visualizar las trayectorias de la herramienta, y a la vez conocer los errores en el código, para descartar

que el problema es en el código se realiza la verificación de dimensiones realizada en las secciones 4.2.1.2 y 4.3.2.2 correspondientes a la prueba #1 y #2 respectivamente. Con esto se pudo comprobar que los errores se debían a la programación de puntos innecesarios o puntos mal limitados en el CAM y no el post procesador.

- Para las pruebas #1 y #2 se observa la importancia del pase de afinado, que ayudará a la obtención de dimensiones más cercanas a las reales, así como definir los puntos de cero pieza o máquina, medición de la herramienta en donde una falla de decimas afecta en un mayor o menor desprendimiento de material como se observa en las tablas de dimensiones principales, secundarias y funcionales de las pruebas respectivamente.
- En la prueba #1 de operaciones externas de torneado se visualiza que el uso de los códigos G92 y G96 de velocidad del husillo hacen que el mandril aumente su velocidad de giro a medida que disminuye el diámetro de la pieza, de acuerdo a la ecuación 1 de la velocidad de corte en RPM, lo que causa que el desgaste no sea constante. Para disminuir este proceso se añade en la línea de programación correspondiente al bloque absoluto el código G95 para que el equipo reconozca las revoluciones por minuto máximas programadas en CAM.
- Con el maquinado de la prueba #1 se verifica las limitantes de las herramientas de corte correspondiente a la operación de acanalado, que por la forma del porta inserto no se realizó el corte de la pieza.
- Así también para el roscado de la prueba #1 se adapta una herramienta perfilada a 60° sin embargo presenta vibración haciendo que el desprendimiento del material no sea constante y no alcance uniformidad en la misma y por ello se presente un error de -0.018.
- Para la medición de radios del perfil de la prueba #1 se utilizó una galga de radio interiores de 10 [mm] sin embargo para el radio de 5[mm] fue necesario fabricarse una plaquita con la dimensión del radio y comprobar si tenía la dimensión, por medio de este procedimiento se verifica y se concluye que el programa si sigue la trayectoria de curvaturas.

- La pieza obtenida de la prueba #1 finalmente presenta una superficie irregular, esto se debe a la profundidad de corte dado a la herramienta, así como la geometría de la misma, aparte de que no se realizó la operación de afinado en la misma.
- En la simulación de la prueba #2 correspondiente a este ejercicio demuestra una trayectoria satisfactoria de la herramienta, sin embargo se realiza el cambio en la profundidad de penetración de la cuchilla de roscado, usando la Tabla C.9 del anexo C, para obtener el número de pasadas necesario y alcanzar la profundidad deseada de la rosca.
- La definición de los filos de corte son un factor que debe ser tomado en cuenta, esto se aprecia en el canal de la prueba #2 en el cual se observa que por tomarse mal este parámetro el canal se desplaza el valor del ancho de la herramienta dado en la programación del CAM.
- El acabado en la pieza maquinada de la prueba #2 depende de la estabilidad de la herramienta en la torreta, el hecho de presentarse vibración al momento de desprender viruta es una causa de error en las dimensiones resultantes, esto es evidente al hacer una segunda corrida del programa en la pieza ya maquinada se observa que las cuchillas aun desprendían cantidades de material de forma irregular.
- La maquinabilidad del material usado para la prueba #2 no era bueno debido a que las virutas no se quebraban completamente haciendo que parte del material se quedará en el mismo y obstruya el filo de corte de la herramienta.
- El uso de una herramienta demasiado larga para desbaste a diferencia de las herramientas de roscado y acanalado para el proceso de mecanizado de la prueba #2 influyen en las dimensiones de la forma final debido a que al medir las herramientas para iniciar el proceso se considera la de mayor longitud, esto se refleja en la variación del ancho del canal y trayectoria de la herramienta, en donde el canal tiene 1[mm] menos y por ellos se rechaza el valor.
- Es necesario que el programa CAM de la prueba #2 se delimite de manera correcta los puntos de corte para la operación de roscado y acanalado, para que la herramienta se desplace y llegue a los puntos programados.

Recomendaciones

- Se debe revisar las líneas entregadas del post procesador creado siempre por parte del personal que conozca las funciones y códigos que el controlador Sinumerik 828D reconoce, como medida de seguridad.
- Simular el programa obtenido de la pieza del post procesador creado para el torno Romi C420, antes de realizar su maquinado para comprobar la trayectoria de herramienta y evitar colisiones del porta herramientas contra la pieza o el mandril.
- Seguir las instrucciones mencionadas al inicio del código que se extrae para realizar el cero pieza en el equipo CNC antes de comenzar el proceso, esto ayudará a que se tenga una referencia de trabajo para el controlador numérico Sinumerik 828D.
- Para el proceso de mecanizado de las pruebas #1 y #2 es recomendable seleccionar materiales blandos para realizar las pruebas de funcionamiento.
- Revisar el que el filo de corte de las herramientas de roscar externo e interno de las pruebas #1 y #2 que no se encuentre desgastado para evitar la deformidad en las roscas obtenidas.
- En el caso de la prueba #1 seleccionar los insertos de corte considerando el perfil de la pieza a obtenerse y el material, debido a que el ángulo de la herramienta garantiza la precisión en las dimensiones del ejercicio, un libre flujo de corte de virutas, versatilidad y el mínimo desgaste del inserto.
- En la prueba #2 se debe tomar en cuenta las dimensiones de la materia prima a ser trabajada para realizar los cálculos de posicionamiento de la herramienta a utilizarse.
- Considerar las dimensiones de las herramientas de interiores usadas en la prueba #2 para la selección del material en bruto que será maquinado, ya que si el agujero para el maquinado es demasiado pequeño no entrará la herramienta o en su defecto no podrá desplazarse para realizar el corte.
- Considerar el filo de corte de la cuchilla de acanalado programada en el CAM sea el mismo que el original para evitar desplazamientos en el maquinado.

BIBLIOGRAFÍA

- Abisse. (2016). *Découvrez Solid Edge ST 8*. Recuperado en enero de 2016. Obtenido de <http://www.abisse.com/logiciel/solid-edge/les-nouveautes>
- Acerind. (2016). *PLÁSTICOS, Distintas propiedades*. Recuperado en junio de 2016. Obtenido de <http://www.inoxidable.com/propiedades1.htm>
- Adivarekar , M., & Liou, F. (2012). *Developing a General portprocessor for multi-axis CNC milling centers*. Recuperado en octubre de 2015. Obtenido de http://www.cadanda.com/CAD_PACE_2__57-68.pdf
- Aguinaga, Á. (2009). *Integración CAD-CAM-CIM*. Recuperado en enero de 2016. Obtenido de http://app.ute.edu.ec/content/3466-287-19-1-6-19/CADCAM_CIM.pdf
- Austin N.C., Inc. (2015). *G-Post/CAM*. Recuperado en octubre de 2015. Obtenido de http://www.austinnc.com/anc_products.html
- Autodesk Inventor. (2016). *InventorCAM*. Recuperado en febrero de 2016. Obtenido de <http://www.inventorcam.com/>
- BobCAD-CAM. (2016). *BobCAD-CAM software para maquinaria CNC*. Recuperado en enero de 2016. Obtenido de <http://www.softwarecadcam.com.mx/quienessomos-n.html>
- Bricoacopple. (2015). *Qué es la memoria NVRAM*. Recuperado en Noviembre de 2015. Obtenido de <http://bricoapple.blogspot.com/2010/11/que-es-la-memoria-nvram.html>
- CadLab. (2016). *About CL DATA FILES*. Recuperado en febrero de 2016. Obtenido de http://www.cadlab.tuc.gr/proehelp/ncsheet/about_cl.htm
- Cenit Int. (2015). *Creation and adjustment of high-performance post processors*. Recuperado en octubre de 2015. Obtenido de http://www.cenit.com/en_EN/plm/digital-factory/services/development-of-pps.html

- Colegio Nacional de Educación Profesional Técnica. (2006). *Maquinado de Piezas en Torno C.N.C.* Recuperado en octubre de 2015. Obtenido de http://www.conalepslp.edu.mx/biblioteca/manual_11/maquinas-herramientas-01.pdf
- Cortes Industriales. (2016). *Historia de la fresadora*. Recuperado en marzo de 2016. Obtenido de <https://sites.google.com/site/deod2107f9/historia-de-la-fresadora>
- Dassault systemes. (2016). *CATIA*. Recuperado en febrero de 2016. Obtenido de <http://www.3ds.com/es/productos-y-servicios/catia/productos/catia-v5/>
- Diccionario de Informática y Tecnología. (2015). *Definición de QWERTY*. Recuperado en noviembre de 2015. Obtenido de <http://www.alegsa.com.ar/Dic/qwerty.php>
- Direct Industry. (2016). *Tornos Romi*. Recuperado en febrero de 2016. Obtenido de <http://www.directindustry.es/prod/romi/product-26465-89514.html>
- Escuela Técnica Superior de Ingeniería- Bilbao. (2016). *Fabricación Asistida por Ordenador-CAM*. (U. d. Vasco, Ed.) Recuperado en enero de 2016. Obtenido de http://www.ehu.eus/manufacturing/docencia/425_ca.pdf
- Icam. (2015). *ICAM. CAM-POST Solución para creación de post procesadores CNC*. Recuperado en octubre de 2015. Obtenido de <http://www.maquinariainternacional.com/maquinaria/de/cam-post-solucion-de-post-procesado.asp?cod=457&nombre=457&nodo=&orden=True&sesion=1>
- Idm. (2016). *UltraEdit is the multi-purpose text editor*. Recuperado de febrero de 2016. Obtenido de <http://www.ultraedit.com/>
- Ims Software. (2015). *IMSpot CNC Post Processing*. Recuperado en octubre de 2015. Obtenido de <https://www.ims-software.com/en/content/impspot>
- INEN. (2016). Rosca métrica ISO. Tolerancias. Fundamentos y datos básicos. Recuperado en Julio de 2016. Obtenido de: <https://law.resource.org/pub/ec/ibr/ec.nte.0514.1981.pdf>

- Interempresas.net. (2016). *Máquinas de cinemática paralela*. Recuperado en febrero de 2016. Obtenido de <http://www.interempresas.net/MetalMecanica/Articulos/26569-Maquinas-de-cinemática-paralela-implementacion-industrial-y-futuras-tendencias.html>
- Jiménez Brito, W., & Leiva González, C. (2014). Diseño e implementación de un post-procesador desde el software NX hacia el torno Hass SST-10. (Tesis de Masterado). EPN, Quito, Pichincha, Ecuador.
- Lee, R.-S., & Shee, C.-H. (1997). *Developing a Postprocessor for three types of five-axis machine tools*. (The international journal of Advanced Technology, Ed.) Recuperado el 10 de Octubre de 2015, de <http://link.springer.com/article/10.1007%2FBF01350824#page-2>
- Mastercam. (2016). *Mill-turn Mastercam*. Recuperado en enero de 2016. Obtenido de <http://www.mastercam.com/en-us/Solutions/Mill-Turn-Solutions>
- Orejuela, J., Aguinaga, A., & Llulluna, F. (2013). Desarrollo de interfaces de integración CAD-CAM a través del sistema de manufactura virtual para el aprendizaje asistido por computadora de la programación y manejo de controladores de máquinas CNC. Quito.
- Riba, C., & Romeva. (2002). *Diseño Concurrente*. España: Ediciones Upc.
- Romi. (2015). *CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS TORNOS CNC LÍNEA ROMI C*. Recuperado en noviembre de 2015. Obtenido de <http://www.romi.com.br/index.php?L=3&id=805&type=98>
- Romi. (2016). Manual de programación y operación. Línea C. CNC Siemens 828D. Sao Paulo, Brasil.
- Sánchez Fulgueira, M. (2014). Elaboración de programas de CNC para la fabricación de piezas por arranque de viruta. FMEH0109. En Innovación y Cualificación S.L.. Barcelo, España: ICEditorial.
- Sandvik. (2015). Herramientas de torneado. En *Herramientas de corte de Sandvvik Coromant* (págs. 600-700). Sandvik.

- Sociedad biblica internacional. (1999). Santa Biblia. Salmo 23: 4 y 27:3. Ed. Panamericana formas e impresos S.A. Colombia.
- Siemens. (2009). SINUMERIK 828D Turning. SIEMENS. Recuperado el 08 de Noviembre de 2015
- Siemens. (2009). SINUMERIK 840D sl/840Di sl/828D/802D sl Torneado ISO. 139-141. SIEMENS.
- Siemens. (2011). *NX CAM: Una solución completa para fabricar piezas mejores en menor tiempo*. Recuperado el 05 de Enero de 2016, de www.siemens.com/plm
- Siemens. (2011). *SINAMICS S120, Manual de funciones*. Recuperado el 08 de Noviembre de 2015, de https://cache.industry.siemens.com/dl/files/671/49084671/att_107803/v1/FH1_01_2011_esp_es-ES.pdf
- Siemens. (2016). *Explorar NX*. Recuperado en enero de 2016. Obtenido de http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/products/nx/index.shtml
- Siemens. (2016). *Siemens PLM Software*. Recuperado el 06 de Enero de 2016, de CAD/Diseño Asistido por Computador: http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/plm/cad.shtml
- Siemens. (2016). *Solid Edge ST8*. Recuperado en enero de 2016. Obtenido de http://www.plm.automation.siemens.com/es_sa/products/solid-edge/index.shtml
- software.informer. (2016). *EditCNC*. Recuperado en febrero de 2016. Obtenido de <http://editcnc.software.informer.com/>
- Technology Cad/Cam. (2015). *EraPost*. Recuperado en octubre de 2015. Obtenido de <http://www.era.uk.com/page10.html>
- Tecnocim. (2016). *Mastercam*. Recuperado en enero de 2016. Obtenido de <http://www.tecnocim-formacion.es/sat/mastercam1/lista>

Tecnoedu.com. (2016). *Programación de máquinas de CNC con códigos G&M*. Recuperado en febrero de 2016. Obtenido de <https://tecnoedu.com/Denford/GM.php>

Terlevich, J. F. (2011). *Curso Básico de: Máquinas Herramientas con control numérico*.

Vicente, P., & Ginés, S. (2008). *Integración de sistemas CAD/CAM*. Recuperado el 06 de Enero de 2016, de http://repositorio.upct.es/bitstream/handle/10317/146/3_CADCAM.pdf?sequence=4

GLOSARIO

APT: Programación automática de herramienta, siglas usadas en el lenguaje de programación de alto nivel.

Ethernet: Estándar de transmisión de datos para redes local para computadores con acceso al medio por detección de la onda portadora y con detección de colisiones. (Diccionario de Informática y Tecnología, 2015)

CAD: Diseño asistido por computador.

CAM: Fabricación asistido por computador.

CAE: Ingeniería asistida por computador.

Lenguaje APT: Lenguaje de programación usado para generar instrucciones para un controlador numérico de una máquina herramienta.

NVRAM: siglas de memoria de acceso aleatorio no volátil, es un tipo de memoria que almacena información indexada a partir de parámetros y no la pierde al cortar la alimentación eléctrica. (Bricocopple, 2015)

USB: siglas de universal serial bus (Bus universal en serie) es el puerto que permite la transferencia de datos así como conectar periféricos a una computadora. (Diccionario de Informática y Tecnología, 2015)

QWERTY: forma de ordenar los botones en un teclado para escribir de forma rápida usando las dos manos. (Diccionario de Informática y Tecnología, 2015)