

# Controlador CNC para modernización del proceso de fresado a bajo costo: caso con fresadora Supernova

---

## CNC controller for low cost milling process upgrade: Supernova milling machine case

Jennifer Rolong-Ibáñez <sup>1a</sup>, Saúl Sierra-Márquez <sup>1b</sup>, Edson Tapias-Higuera <sup>1c</sup>, Milton Coba-Salcedo <sup>2</sup>, Eugenio Yime-Rodríguez <sup>3a</sup>, Javier Roldán-Mckinley <sup>3b</sup>

<sup>1</sup> Universidad del Atlántico, Colombia. Correos electrónicos: <sup>a</sup> [jennifer.rolong@gmail.com](mailto:jennifer.rolong@gmail.com),  
<sup>b</sup> [saulsierramarquez@gmail.com](mailto:saulsierramarquez@gmail.com), <sup>c</sup> [edsontapias@gmail.com](mailto:edsontapias@gmail.com)

<sup>2</sup> Grupo de Ingeniería de Materiales y Tecnología de Fabricación (Imtef), Universidad del Atlántico, Colombia.  
Orcid: 0000-0002-2436-5536. Correo electrónico: [miltoncoba@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:miltoncoba@mail.uniatlantico.edu.co)

<sup>3</sup> Grupo de Investigación en Diseño de Sistemas Mecánicos y Robóticos para la Producción Industrial (Dimer), Universidad del Atlántico, Colombia. Orcid: <sup>a</sup> 0000-0003-3576-7095, <sup>b</sup> 0000-0003-1444-6460.  
Correos electrónicos: <sup>a</sup> [eugenioyime@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:eugenioyime@mail.uniatlantico.edu.co), <sup>b</sup> [javierroldan@mail.uniatlantico.edu.co](mailto:javierroldan@mail.uniatlantico.edu.co)

Recibido: 20 agosto, 2018. Aceptado: 18 enero, 2019. Versión final: 29 abril, 2019.

### Resumen

Se presenta la implementación de un controlador CNC para una fresadora Alecop Supernova, compuesto por una tarjeta electrónica Motenc-lite PC100 (3 ejes), de 32 entradas analógicas y 16 entradas digitales (I/O) para datos. El computador ensamblado para la comunicación entre el controlador y la fresadora es de 512 Mb-RAM, 40Gb disco duro, procesador de 700 MHz, y SO Ubuntu 6.02-86bits, con tarjeta de gráficos de 800x600p, para ejecución del *software* libre EMC2. Se escogió la ejecución en entorno Axis para vista interactiva de los códigos G y de las coordenadas de la herramienta, y velocidades de husillo y corte. El funcionamiento del controlador se verificó con el maquinado de una pieza de media complejidad que requiere agujero y desbastado interno. La implementación realizada mejora la funcionalidad en el modelado de piezas, al llevar la máquina de 2½ (con el antiguo controlador Fagor 8025) a 3 grados de libertad, lo que permite ahora el movimiento simultáneo en los ejes x, y, y z, y se da así un mecanizado más limpio y detallado.

**Palabras clave:** automatización; CNC; EMC2; fresadora Supernova.

### Abstract

It is presented the implementation of a CNC controller for an Allecop-Supernova milling machine. The device is comprised of a 3-axis Motenc-lite card with 32 analog inputs and 16 digital inputs (I/O). A computer was assembled to communicate the controller and the machine with specifications: 512Mb-RAM, 40Gb hard disc, 700 MHz processor and a 800x600p graphic card. The operative system Ubuntu 6.02-86bits allows the running of the free software EMC2. It was chosen to be carried out on the Axis environment to display an interactive view of the G codes, in addition to the tool coordinates and the tool and cut speeds. The functionality of the controller was verified through the machining of a medium complexity piece that required a hole and internal rough. The functionality of the milling machine was improved, moving from 2½ (with the original Fagor 8025 controller) to 3 degrees-of-freedom, by allowing now the simultaneous motion along the x, y and z axis, for a faster and cleaner machining process.

ISSN impreso: 1657 – 4583, ISSN en línea: 2145 – 8456. CC BY-ND 4.0 

J. Rolong-Ibáñez, S. Sierra-Márquez, E. Tapias-Higuera, M. Coba-Salcedo, E. Yime-Rodríguez, J. Roldán-Mckinley, "Controlador CNC para modernización del proceso de fresado a bajo costo: caso con fresadora Supernova," *Rev.UIS. Ing.*, vol. 18, no. 3, pp. 95- 104, 2019. doi: 10.18273/revuin.v18n3-2019010

**Keywords:** automation; CNC; EMC2; Supernova milling machine.

## 1. Introducción

La automatización de máquinas herramientas a través del uso de controladores CNC es una implementación ampliamente utilizada que permite mejorar la productividad del proceso de maquinado y la calidad de las piezas mecanizadas [1]. Desde sus inicios, la automatización ha tenido como objetivo principal mejorar la productividad reduciendo los costos de mano de obra y minimizando los tiempos de ciclos y esfuerzo. También busca mejorar la calidad de las piezas fabricadas y reducir los daños a las piezas que se pudieran ocasionar por el manejo manual, trayendo consigo la reducción de la intervención humana y por tanto una mejora en la seguridad de las condiciones peligrosas de trabajo [2]. Los equipos en los cuales la automatización se aplica con éxito son, principalmente, los tornos y fresadoras, aunque se pueden encontrar una gran cantidad de máquinas que hoy en día utilizan un controlador de tipo CNC para la automatización de procesos. Para el caso de la fresadora, el controlador CNC realiza la función de un control de posición o velocidad de los tres ejes. Para ello el controlador interpreta un comando escrito en código G y lo convierte en una señal, usualmente análoga, a ser enviada a los servocontroladores de los motores, comparando para ello la señal recibida con el valor reportado por el encoder o tacómetro ubicado en el motor o eje impulsado por dicho motor [1].

Se encuentran reportes de la implementación de sistemas de arquitectura abierta para control CNC. En el año 2009, Staroveški *et al.* [3] implementan un sistema de 3 ejes EMC (Enhanced Motion Controller) basado en Linux para una minifresadora. Ellos usaron una tarjeta Motenc-Lite PCI de pines HAL (*Hardware Abstraction Layer*). Peña *et al.* [4], en el año 2010, en la Universidad Cooperativa de Colombia-Bogotá, desarrollaron un torno CNC de arquitectura abierta con un conversor de RS-232 a TTL con un microcontrolador PIC 16F877A. Posteriormente, en el año 2011, Kovács *et al.* [5] proponen una arquitectura electrónica como *hardware* universal para controlar robots, incluso máquinas CNC, y para ello integra tarjeta Mesa Electronics 5i20 PCI con una tarjeta Vital System de 8 ejes con PCI *board* que permitían comunicación con los actuadores en lenguaje EMC2. En el mismo año, en México, es reportada la restauración de un torno CNC marca EMCO, cuyo *hardware* electrónico incluyó la integración de una tarjeta tipo PWM (Pulse Width Modulation) con un MOFSET de canal N para control de velocidad de giro del husillo, junto con un computador personal con sistema operativo LINUX para ejecución del EMC [6].

Más recientemente, Pusman y Kosturic [7] (2014) han presentado un módulo esclavo MODBUS con microcontrolador Freescale HCS08 en paquete de 32 pines para programar en LinuxCNC una fresadora hecha bajo pedido del cliente.

En este trabajo se reporta la modernización del controlador de la fresadora CNC Supernova de la Universidad del Atlántico. La fresadora utiliza un controlador FAGOR suministrado por el fabricante, pero su antigüedad y baja capacidad de memoria no permiten el aprovechamiento del *hardware* mecánico de la fresadora. Se propone un nuevo controlador de arquitectura abierta con tarjetas de control de amplio uso en proyectos de arquitectura abierta de máquinas CNC. Estas tarjetas permiten utilizar el *software* EMC2 del sistema operativo Linux. Mediante esta adaptación, los tres ejes de la máquina serían controlados simultáneamente, mientras que el antiguo controlador FAGOR únicamente permite “control de 2 ½ ejes” al no permitir movimiento simultáneo con algún otro eje horizontal. El “medio eje” adicional mejorará los tiempos, calidad y versatilidad de la fresadora.

## 2. Metodología

La figura 1 sintetiza el sistema a integrar. Se instalará Linux en un computador dedicado con la memoria RAM y prestaciones requeridas. Para la programación CNC se usará la capa de EMC2. Este es un programa de la familia de Enhanced Machine Controller-EMC de propósito general basado en un kernel Linux en tiempo real, destinado al control de máquina herramienta, cuyo código es libremente utilizable.

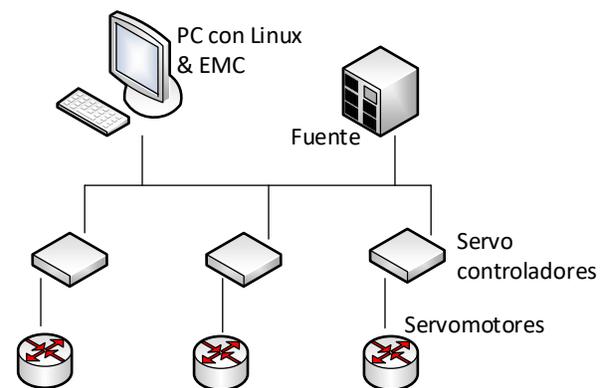


Figura 1. Esquema típico de un sistema triaxial de EMC2. Fuente: elaboración propia.

Esta herramienta permite programar tareas de máquina utilizando el lenguaje de G-Codes. La versión 1.0 de este programa fue desarrollada por el Instituto Nacional de Estándares y Tecnología (NIST) y posteriormente fue liberado para uso y mejora por la comunidad del *software* libre, quienes desarrollaron la versión 2.0 (EMC2) [8].

## 2.1. Disposición general del hardware

La figura 2 presenta un esquemático de las conexiones del hardware integrado, son 6 en total: 4 DB-15 tipo hembra (15 pines x 2 hileras) y dos conectores hembra tipo Sub-D (37 pines x 2 hileras). Se distinguen de este esquema las entradas de los ejes X, Y y Z. El conector I/O-3 permite la variación de la velocidad de la herramienta. Cada uno de los cuatro puertos admite también señal sinusoidal. Se muestra en la figura 3 la enumeración de cada uno de los 15 pines, el respectivo significado y función en la tabla 1.

Tabla 1. Conectores X, Y, Z e I/O-3

Terminal		Significado y función
1	A	Señales cuadradas de contejo diferenciales.
2	$\bar{A}$	
3	B	
4	$\bar{B}$	
5	$I_o$	Señales de impulso de referencia máquina
6	$\bar{I}_o$	
7	Ac	Señales senoidales de contejo
8	Bc	
9	+5V	Alimentación de los sistemas de captación. No conectado
10		
11	0V	Alimentación de los sistemas de captación. No conectado
12		
13	-5V	Alimentación de los sistemas de captación. No conectado
14		
15	CHASIS	Apantallamiento

Fuente: elaboración propia.

La conexión al puerto I/O-1 indicado en la figura 2 es a través de un conector tipo SUB-D (hembra) de 37 terminales, para la conexión a la fresadora. Tiene 10 entradas digitales, 16 salidas digitales y 4 salidas analógicas de tensión de mando en rango  $\pm 10V$ . Para el conector I/O-2 se utiliza Conector tipo SUB-D (hembra) de 25 terminales para la conexión al armario eléctrico de 16 salidas digitales y 2 salidas analógicas de tensión de mando de los reguladores (rango  $\pm 10 V$ ).

## 2.2. Tarjetas análoga y digital

Para la comunicación analógica y digital se escoge la tarjeta MONTEC-Lite (ver figura 4.a). Para las señales digitales, presenta una interface PCI bus que tiene una

tolerancia de 3.3 a 5 V. La tarjeta cuenta con varios dispositivos que son requeridos para aplicaciones de control de movimiento, por ejemplo, encoder, contadores, DACs, ADCs, e I/Os. Todos los dispositivos son controlados desde el computador personal. En la figura 4.a se aprecia la tarjeta digital con su representación esquemática, con el conector de señales digitales de 50 pines. Se muestra la tarjeta análoga con su esquema en la figura 4.b. Las características de la tarjeta son entradas analógicas: rango  $\pm 5V$ Volts, 14-bit de resolución; 8 canales; salidas analógicas:  $\pm 10V$ ; 13-Bit de resolución; 8 canales; encoder de entradas diferenciales; 32-Bit de resolución; 4-canales; I/Os: 32 entradas y 16 salidas en dos conectores de 50 pines; Adicionalmente 6 entradas y 4 salidas en conectores SIP; Temporizador programable de interrupción; Temporizador de vigilancia. La tarjeta tiene incorporado un bus de datos de 32-bit, y requiere acceso de lectura y escritura para todos los 32-bit. La tarjeta tiene memoria asignada (sin asignación de I/O) y ocupa más de 512 bits de espacio de direcciones en la región de PCI.

El ADC que utiliza la MOTENC-Lite es MAXIM MAX125 con características: entradas: 8 canales (2 grupos de cuatro entradas); resolución: 14 bits; rango de salida digital: -8.192-8.191; rango de tensión de entrada: -5 V a +5V; función de transferencia 0,61 mV/1 LSB; Corriente de entrada: 10 uA/Canal. El MAX125 ADC tiene 8 entradas analógicas. Las entradas se configuran como dos bancos de 4 entradas cada uno. La cabecera J3 conecta los bancos A y B. En el encendido el dispositivo por defecto es la conversión de un solo canal de banco A. El dispositivo se programa para convertir 1, 2, 3 o 4 canales del banco seleccionado por muestra. ADC\_DONE se baja cuando todos los canales están digitalizados, en la tabla 2 se listan los comandos. El DAC utilizado por la MOTENC-Lite es MAXIMs MAX547. Y tiene las siguientes características: número de salidas: 8 canales; tiempo de conversión por canal 5 microsegundos; Resolución: 13bit; rango de datos 0x0000 a 0x1FFF (0-8191); función de transferencia  $V_{out} = -10 \times ((Data/4096)-1)$ ;  $0x0000 \approx 10 V$ ;  $0x1000 \approx 0 V$ ;  $0x1FFF \approx -10 V$ .

Los datos se escriben secuencialmente para todos los ocho canales de ubicación 24-31 correspondiente al canal 0 a través de 7. El canal de datos se escribe en el DAC por un ciclo de escritura única, por tanto, la actualización de los ocho canales requerirá ocho ciclos de escritura. Pines de la tarjeta: encoder: J3 proporciona señales del Encoder, DAC y ADC; I/O Digital: J5 y J4 proporcional la señal de la conexión digital de la I/O. La tabla 3 muestra los pines asociados con los conectores J5 y J4.

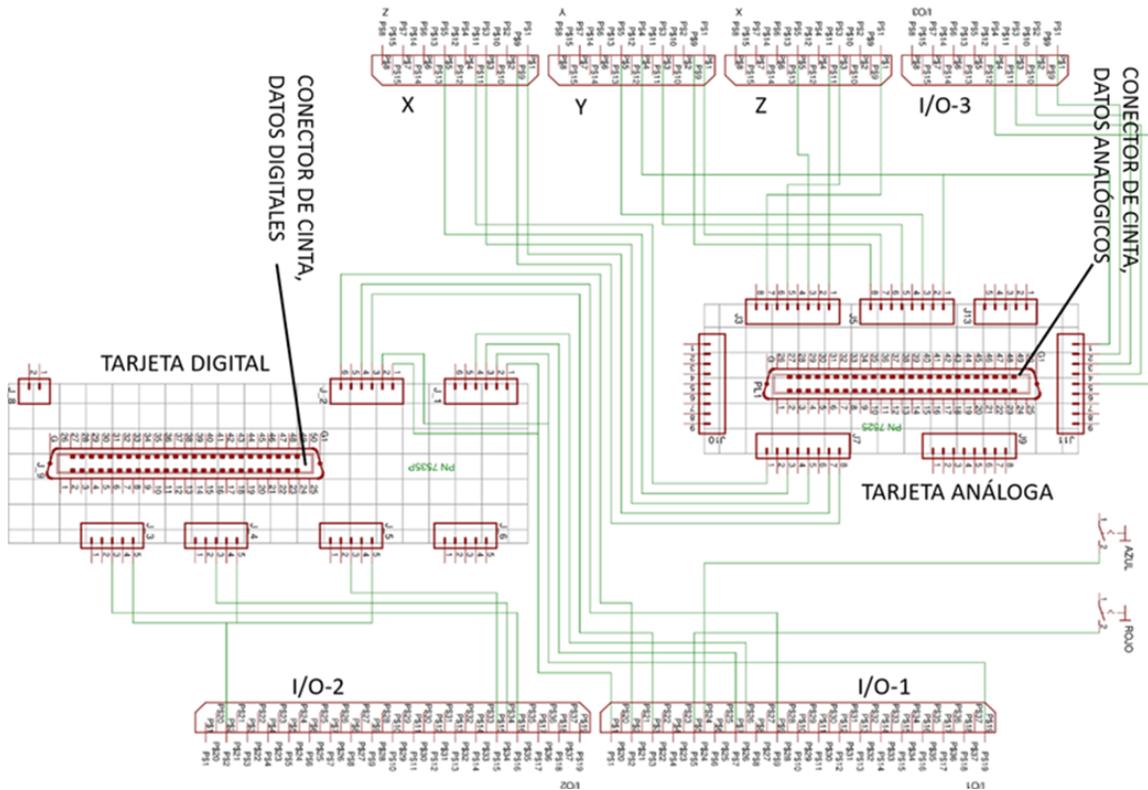


Figura 2. Esquema de conexiones del dispositivo. Fuente: elaboración propia.

Todos los pines pares van ligados a tierra. El pin 49 está ligado a +5V. Todos los pines pares van ligados a tierra. El pin 49 está ligado a +5V. La información general de la tarjeta se tuvo en cuenta para la conexión dentro del controlador desarrollado, con el fin de permitir controlar la fresadora Supernova a través del computador, adaptado para dicha función, de sistema operativo Linux y con el programa EMC-2 previamente instalado.

Comando	Descripción
0	Conversión entrada analógica 0
1	Conversión entrada analógica 0 y 1
2	Conversión entrada analógica 0,1 y 2
3	Conversión entrada analógica 0, 1, 2 y 3
4	Conversión entrada analógica 4
5	Conversión entrada analógica 4 y 5
6	Conversión entrada analógica 4, 5 y 6
7	Conversión entrada analógica 4, 5, 6 y 7
8	Modo apagado

Fuente: elaboración propia.

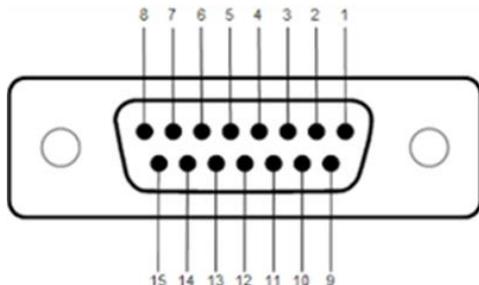


Figura 3. Enumeración de pines para los conectores DB-15 2 filas hembra, rotulados con “X”, “Y”, “Z” e “I/O-3” en la figura 2. Fuente: elaboración propia.

Tabla 2. Comandos de la tarjeta MONTEC-Lite.

### 2.3. Requerimientos del computador

Se construyó un computador especialmente para la comunicación entre el controlador y la fresadora. El equipo tiene 512 Mb de memoria RAM, un disco duro de 40Gb, velocidad de procesamiento de 700 MHz, y sistema operativo Ubuntu 6.02 86 bits, complementado con una tarjeta de gráficos de 800x600p. El software para comunicación con la tarjeta escogido es el EMC2, sugerido por el proveedor de la tarjeta ML PC100. El software brinda varias opciones de interfaz gráfica, de las

cuales se escogió la disposición Axis que permite una vista interactiva de los códigos G enviados a la fresadora, así como las coordenadas de la herramienta, velocidad de husillo y velocidad de corte.

Tabla 3. Pines de entrada y salida de conectores J4 y J5.

Pines de Entrada J5		Pines de Entrada J4	
Entrada #	Pin#	Entrada #	Pin #
0	1	16	1
1	3	17	3
2	5	18	5
3	7	19	7
4	9	20	9
5	11	21	11
6	13	22	13
7	15	23	15
8	17	24	17
9	19	25	19
10	21	26	21
11	23	27	23
12	25	28	25
13	27	29	27
14	29	30	29
15	31	31	31
Pines de Salida J5		Pines de Salida J4	
Salida #	Pin #	Salida #	Pin #
0	33	8	33
1	35	9	35
2	37	10	37
3	39	11	39
4	41	12	41
5	43	13	43
6	45	14	45
7	47	15	47

Fuente: elaboración propia.

### 2.4. Consideraciones del software utilizado

El software EMC puede controlar servomotores (que se configuran mediante un control PID) y motores a pasos. Se utiliza uno o más puertos paralelos de conector DB-50 o tarjetas especializadas que se conectan a la tarjeta madre de la computadora en uno de sus puertos PCI y permiten controlar un mayor número de ejes coordenados, así como señales de entrada y salida. En este caso puede utilizarse el programa como un PLC que utiliza el lenguaje clásico y diagramas de lógica escalera [9]. Los requerimientos mínimos de software son procesador @ 700 MHz X 86 bits (se recomienda 1,2 GHz X 86 Bits); 384 MB de memoria RAM (1 GB recomendado); disco duro de 40 GB; tarjeta de gráficos capaz de soportar una resolución de 800x600 pixeles que no utilice los drivers de propietario NVidia o ATI, y la

cual no sea un chip de video dentro de la tarjeta madre que comparte memoria con el CPU.

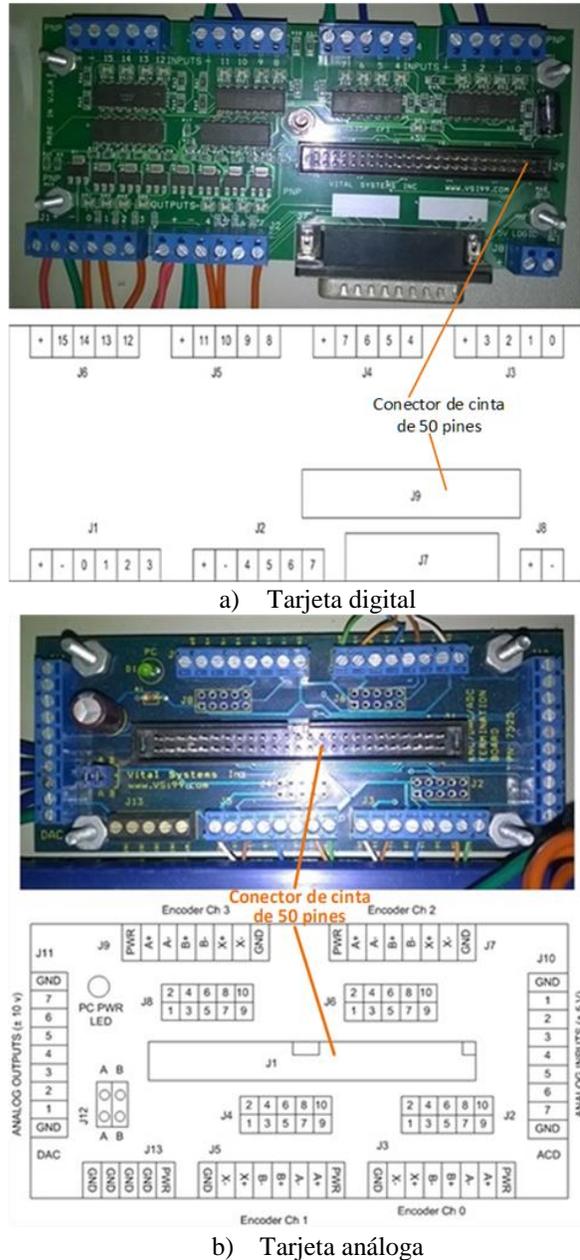


Figura 4. Módulo de tarjetas MONTC-Lite para control de movimiento. Fuente: elaboración propia.

#### 2.4.1. Configuración EMC2

Para configurar una máquina que utiliza motores a pasos, se utiliza la opción StepconfWizard, en la cual se ingresa la función de los pines del puerto paralelo y parámetros de la máquina, por ejemplo, medida de los ejes, paso del husillo, etc.

### 2.4.2. Principio de funcionamiento

El sistema se basa en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo (velocidades de avance y rotación, sentido de giro del husillo, etc.) con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un programa informático ejecutado desde un computador personal.

### 2.4.3. Estructura de un programa

Se llama programa de CNC al que contiene instrucciones e información necesaria para maquinar una pieza de trabajo. A cada programa le es asignado un número entre 00 y 99, antepuesto de la letra "O". A cada una de las líneas de un programa se les llama bloque (debe contener todas las funciones geométricas, funciones de máquina y funciones tecnológicas del mecanizado). Cada bloque está compuesto de palabras, cada palabra está compuesta de una letra seguida de un valor numérico, y estas letras son conocidas como las direcciones.

## 2.5. Descripción de la caja de control

La figura 5 muestra el aspecto de la caja con la disposición general de los elementos. Se muestra también en esta figura el botón de apagado de emergencia o interruptor universal de STOP.

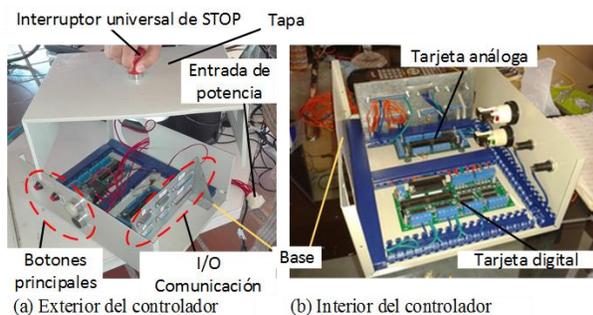


Figura 5. Descripción de la caja de control CNC.  
Fuente: elaboración propia.

La figura 6 detalla los conectores reales descritos previamente y esquematizados en la figura 2 con la misma nomenclatura. La figura 7 muestra los botones para encendido, apagado y movimiento de la cubierta protectora de la fresadora o carenado. El costo del *hardware* de la caja de control es de aproximadamente USD 1.100.000.



Figura 6. Conexiones para comunicación de datos con la fresadora. Fuente: elaboración propia.



a) Botones para encendido (ON), Apagado (PFF), y subida y baja del carenado



b) Carenado o cubierta de la fresadora

Figura 7. Encendido y movimiento del carenado.  
Fuente: elaboración propia.

## 3. Resultados: pruebas de funcionamiento

A continuación se documenta el procedimiento a seguir para usar el controlador, ilustrado con la elaboración de una pieza en acrílico.

I. Verifique los requerimientos del computador.

II. Descargue e instale el *software* EMC2 (Enhanced Machine Controller) [8]. Después de instalar este

*software*, se debe obtener la ventana mostrada en la figura 8.

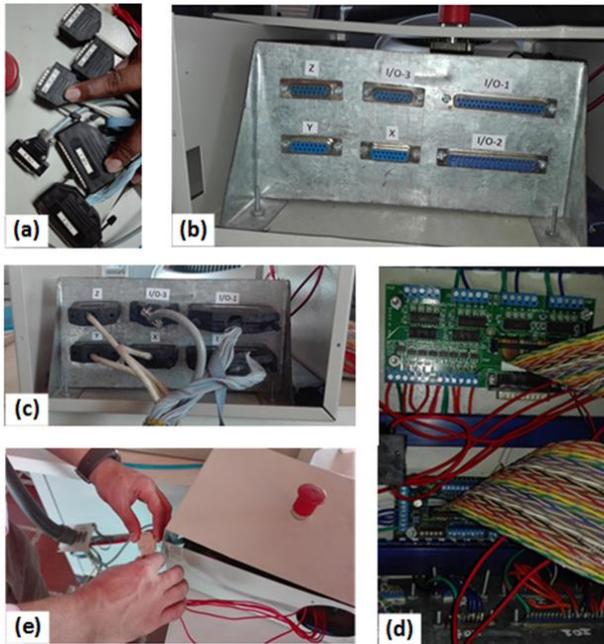


Figura 8. Secuencia de conexiones entre cables de la fresadora y controlador construido a, b, c; conexiones entre el controlador y el computador d; y conexión de potencia entre la fresadora y el controlador e. Fuente: elaboración propia.

III. Configuración. Una vez instalado el *software*, utilice la opción StepconfWizard para ingresar la función de los pines del puerto paralelo y parámetros de la máquina como medida de los ejes, paso del husillo, etc.

IV. Conecte los puertos de la fresadora CNC con los puertos del controlador. Identifique los cables de conexión de la fresadora, como se muestran en la figura 8.a, leyendo el rótulo de cada uno de ellos. A continuación, conecte en los conectores correspondientes de acuerdo con el rotulado en el controlador, como se muestra en la figura 8.b, hasta completar las conexiones como se indica en la figura 8.c. Prosiga conectando las cintas de comunicación análogas y digitales entre el computador y el controlador, como se muestra en la figura 8.d. Finalmente una los conectores de potencia entre el controlador y la fresadora, como se indica en la figura 2.e.

V. Límites, desplazamiento y *home*. Cada eje tiene una cierta distancia de desplazamiento. El fin físico del recorrido es llamado parada dura. Antes de la parada dura hay un *switch* límite. Si se encuentra un *switch* límite durante la operación, el EMC2 apaga el activador de los

motores. La distancia entre el *switch* límite debe ser lo suficientemente larga como para permitirle al motor detenerse sin sobrepasarla. Antes del *switch* límite hay un límite suave. Este se pone en operación mediante *software* después de hacer *home* durante la preparación de la máquina. Si un comando MDI o un programa en código G sobrepasara este límite suave, no se ejecuta, y de estar en modo manual, el movimiento se termina en el límite suave. El *switch* de *home* puede ponerse en cualquier punto dentro del recorrido de las paradas duras. Dado el caso que las tarjetas (*i. e.* los circuitos) no desactiven la operación al tocar uno de los *switches* límite, puede utilizarse uno de ellos como *switch* de *home*. La posición cero es la localización en un eje en donde es cero en el sistema coordenado de la máquina. Normalmente esta posición está entre los límites suaves. Finalmente, la posición de *home* es la localización dentro del recorrido a donde se moverán los ejes después de realizar una rutina de *home*. Este valor debe estar dentro de los límites suaves y, en particular, la posición de *home* nunca debe ser igual a la del límite suave.

VI. Encienda el computador.

VII. Puede verificar conectividad ejecutando funciones básicas como cerrar mordazas, abrir mordazas, etc. Si un problema es detectado, verifique la conexión de los cables. Asegure las conexiones con los tornillos de ser necesario. Si el problema persiste, podría ser necesaria una revisión de circuitos.

VIII. Haga clic sobre el ícono de “ON” para encender la fresadora (ver figura 9).

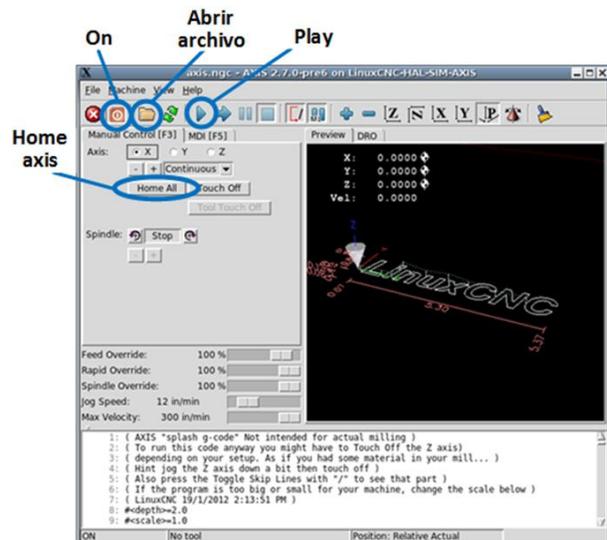
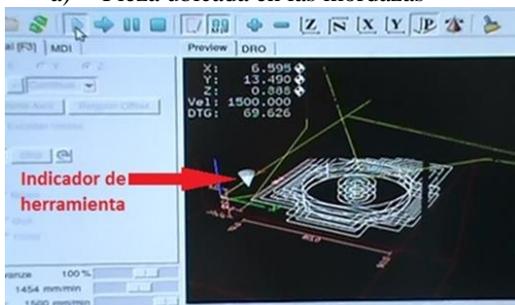


Figura 9. Identificación de los íconos en los pasos VIII a XII. Fuente: elaboración propia.

IX. Inserte en las mordazas la pieza que va a fresar, figura 10.a. Debe corresponder con el CAD que usted ha simulado previamente, para la generación del código G del procedimiento.



a) Pieza ubicada en las mordazas



b) Indicador de herramienta al inicio de maquinado

Figura 10. Preparación de pieza. Fuente: elaboración propia.

X. Seleccione “Home All” o “Home axis” (ver figura 9). Espere a que los ejes se posicen en 0,0.

XI. Abra el archivo correspondiente haciendo clic en el ícono de “Abrir archivo”, mostrado en la figura 9. Debe tener cargado previamente el código G del procedimiento de fresado a realizar.

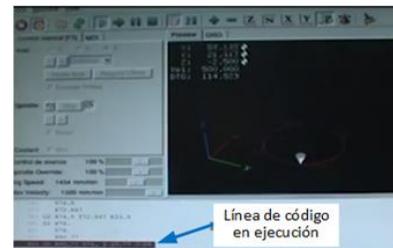
XII. Haga clic sobre el ícono de “Play”, figura 9, para iniciar la ejecución de los códigos. El indicador de la herramienta debe señalarse y moverse de acuerdo con los movimientos de la herramienta, ver figura 10.b.

XIII. En la ventana de notificación se muestra el código, se resalta la línea de código en ejecución. En la figura 11.a se muestra la concordancia entra las posiciones de la herramienta en el *software* y de la fresadora.

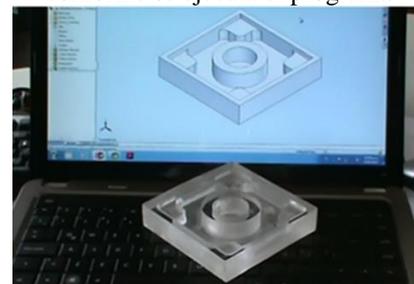
XIV. Finalmente, para este caso se muestra la pieza final obtenida, idéntica al modelo CAD original en SolidWorks, ver figura 11.b.

Después de realizado el mecanizado, se hace notable la facilidad del proceso con el nuevo controlador. El

desarrollo implementado permite la importación de un diseño de un programa específico. El ajuste de la herramienta se hace a través de comandos de *software*, teniendo acceso a una previsualización que permite claridad en el movimiento. Gracias a que la fresadora trabaja con 3 ejes se espera un mejor acabado a la pieza, evitando el acabado escalonado que se presenta cuando se trabajaba con el controlador original FAGOR que trabaja con 2.5 ejes. El principal problema afrontado durante la implementación del controlador fue el control de velocidad del husillo. Para tal fin fue necesario descargar el instalador de los parámetros básicos de las tarjetas para controlar cualquier equipo CNC. Para este caso en particular, se debió tener en cuenta las características físicas y electrónicas de la máquina, tales como límites de carrera máximos de los ejes, cero de la máquina, resolución de los encoders ubicados en los motores de los ejes, revoluciones máximas de los motores, PID de los motores de los ejes (este valor es determinado bajo el método ensayo y error, ya que no existe un parámetro fijo para el caso de la supernova), etc.



a) Indicación de línea de comando activa conforme se ejecuta el programa



b) Pieza terminada en ilustración del uso del controlador con fresadora Supernova

Figura 11. Indicación de ejecución y pieza terminada. Fuente: elaboración propia.

#### 4. Conclusiones

Se documentó en este trabajo la implementación de un controlador numérico CNC para una fresadora Alecop Supernova con fines académicos. El controlador construido integra un kit de tarjetas electrónicas marca Motenc-lite PC100 de tres ejes o actuadores (uno para cada eje de la fresadora x-y-z); y es capaz de procesar 32 entradas analógicas y 16 digitales (I/O) para datos, lo cual se consiguió usando seis conectores de cinta: cuatro de 16 pines y 2 de 32 pines. Un total de cinco botones se insertaron en la caja metálica para encendido, apagado, parada de emergencia, subida y bajada de carenado o cubierta de protección. El costo total del hardware del controlador fue de USD 1.100, sin incluir los costos de ensamble en talleres locales.

El funcionamiento del controlador se verificó con el maquinado de una pieza de media complejidad, que requirió agujero y desbastado interno. Se obtuvo una calidad superficial aceptable al tacto y un buen acabado en material acrílico, dadas las limitaciones de la fresadora. La prueba se documentó en un video que hace parte del material audiovisual de apoyo para el uso del equipo como material didáctico en asignaturas relacionados al proceso de maquinado, que complementa las instrucciones de uso del controlador incluidas en los anexos.

Se logró modernizar el controlador de la fresadora. El aspecto de la interfaz escogida permite trabajar con códigos G o M ingresándolos de manera manual, o traduciéndolos desde un modelo desarrollado en cualquier software CAD/CAM (AutoCad o SolidWorks) de manera rápida y sencilla. Esto permitirá a los estudiantes realizar sus prácticas, incluso sin tener una pieza de trabajo en las mordazas de la prensa de la fresadora, sino utilizando únicamente la función del *software* que permite la simulación de archivos, mostrando el paso a paso del proceso. Se brinda una mayor funcionalidad en el modelado de piezas, al llevar la máquina de 2.5 a 3 grados de libertad, permitiendo ahora el movimiento simultáneo en los ejes x, y, y z, dando así un mecanizado más limpio y detallado.

Adicionalmente, el desarrollo de este modelo puede tener fácil aplicación en trabajos futuros e incluso en la comercialización de controladores de bajo costo para las PYMES de la región, que estén interesadas en invertir en la modernización de su maquinaria pero que no cuentan con los recursos suficientes para adquirir equipos nuevos de última tecnología. Se requeriría además de la inversión en el hardware del controlador, una adicional para la adquisición de servomotores que controlen los ejes, en este caso de una fresadora convencional, y

desarrollar un controlador similar al descrito en este trabajo de grado. Ello permitiría una manera sencilla y económica de convertir una fresadora convencional en una tipo CNC.

#### Agradecimientos

A la Vicerrectoría de Investigaciones, Extensión y Proyección Social de la Universidad del Atlántico.

#### Referencias

- [1] M. P. Groover, *Fundamentos de Manufactura Moderna*, 3rd ed. México City: McGraw-Hill, 2007.
- [2] Serowe Kalpakjian and Steven R. Schmid, *Manufactura, ingeniería y tecnología Procesos de manufactura Volumen 2*. Pearson, 2015.
- [3] T. Staroveški, D. Brezak, T. Udiljak, and D. Majetić, "Implementation of a Linux-based CNC open control system," in *12th International Scientific Conference on Production Engineering, Computer Integrated Manufacturing and High Speed Machining, CIM*, 2009.
- [4] H. Peña, J. Martínez, J. Rodríguez, and F. Trujillo, "Torno cnc de uso didáctico: prototipo mecatrónico UCCNC01," *Ing. Solidar.*, vol. 6, no. 10–11, pp. 8–18, Jan. 2011.
- [5] B. Kovács, G. Szayer, and F. Tajti, "Design of a universal robot controller," *Period. Polytech. Mech. Eng.*, vol. 55, no. 2, Apr. 2011, doi: 10.3311/pp.me.2011-2.06.
- [6] O. Chaides Z., S. Avila M., and H. Ahuett-Garza, "Restauración de Torno de Control Numérico Empleando Software Libre," *Concienc. Tecnológica*, vol. 42, pp. 62–67, Apr. 2011.
- [7] L. Pusman and K. Kosturik, "Integration of Digimatic measuring tool into LinuxCNC controlled milling machine by using MODBUS," in *2014 22nd Telecommunications Forum Telfor (TELFOR)*, pp. 691–693. doi: 10.1109/TELFOR.2014.7034502
- [8] M. Graybill, "EMC2 for CNC Machine Control Now Known as LinuxCNC," *saundby*. Disponible en: <http://saundby.com/cnc/workflow/EMC2.shtml>
- [9] E. Slawiński, J. F. Postigo, V. Mut, D. Carestía, and F. Castro, "Estructura Abierta de Software Para un Robot Industrial," *Rev. Iberoam. Automática e Informática Ind.*, vol. 4, no. 3, pp. 56–95, 2007.