

Vol. 10 N° 1 • enero - junio 2020



MAQUINA DE CONTROL NUMÉRICO CON CONTROL EN TIEMPO REAL PARA TRABAJOS EN MADERA

(Numerical control machine with real-time control for wood work)

Luis Argel¹ y Maxsell Kammerer²

¹Universidad Pontífice Bolivariana, Colombia

²Universidad de la Guajira, Colombia
maxsellk@gmail.com

RESUMEN

La presente investigación tuvo como objetivo principal proponer un prototipo de control numérico CNC con control en tiempo real de bajo coste para elaboración de productos a partir de la madera. La delimitación del estudio se abordó para productos de geometría sencilla en dos planos y para aplicaciones domésticas. La misma estuvo sustentada teóricamente por Courier (1998) y Craig (1989). La metodología utilizada en la investigación fue proyectiva no experimental, de diseño de campo, transaccional. La investigación estuvo conformada por cinco (5) fases. Que abarcaron desde la caracterización del proceso de fabricación del prototipo de CNC para manipulación y procesamiento de madera, hasta la puesta en marcha de la máquina. Los resultados evidencian el desarrollo de la máquina de bajo costo empleando materiales de reciclaje y elementos cuyo funcionamiento y conexión es de Fácil manipulación de parte de cualquier operador por lo que el CNC es adecuado para la función que realizara.

Palabras clave: control numérico, tiempo real, CNC, prototipo, madera, bajo coste.

ABSTRACT

The main objective of this research was to propose a CNC numerical control prototype with low-cost real-time control for the production of products from wood. The study delimitation was addressed for simple geometry products in two planes and for domestic applications. It was theoretically supported by Courier (1998) and Craig (1989) The methodology used in the research was non-experimental projective, field design, transactional. The research consisted of five (5) phases. They ranged from the characterization of the manufacturing process of the CNC prototype for wood handling and processing, to the start-up of the machine. The results show the development of the low-cost machine using recycling materials and elements whose operation and connection is easy to handle by any operator, so the CNC is suitable for the function it will perform.

Keywords: numerical control, real time, CNC, prototype, wood, low cost.

INTRODUCCIÓN

Según Groover (1998) El control numérico (CN) es un sistema de automatización de máquinas-herramienta que son operadas mediante comandos programados en un medio de almacenamiento. El sistema se basa en el control de los movimientos de la herramienta de trabajo con relación a los ejes de coordenadas de la máquina, usando un programa informático, por lo que estaríamos tratando de un control numérico por computador (CNC).

Para Shigley (2010) La aplicación de sistemas de CNC en las máquinas-herramienta han hecho aumentar enormemente la producción, al tiempo que ha hecho posible efectuar operaciones de conformado que era difícil de hacer con máquinas con-

vencionales, por ejemplo, la realización de superficies esféricas manteniendo un elevado grado de precisión dimensional. Finalmente, el uso de CNC incide favorablemente en los costos de producción al reducir los costes de fabricación de muchas máquinas, manteniendo o mejorando su calidad.

Actualmente García (2010) comenta que existen en el mercado una infinidad de máquinas de control numérico con múltiples configuraciones y posibilidades, siendo una característica muy común el elevado coste económico de las mismas. Debido a esto, surgen en la red muchas propuestas de máquinas de control numérico caseras usando materiales de fácil manipulación (madera, plástico, entre otros.) y componentes reciclados como motores de impresora o guías de escáneres. También surgen propuestas más profesionales en las que se usan mejores componentes y materiales más adecuados (como aluminio o acero).

La investigación consiste en la creación de una máquina profesional CNC de 3 ejes a un mínimo coste, fácil de fabricar, fácilmente ampliable a más ejes (por módulos) y que posea una alta precisión. Con ello se busca que cualquier persona interesada en la fabricación con máquina de control numérico pueda crear la suya propia a un bajo coste y sin necesidad de poseer una gran cantidad de herramientas.

OBJETIVO

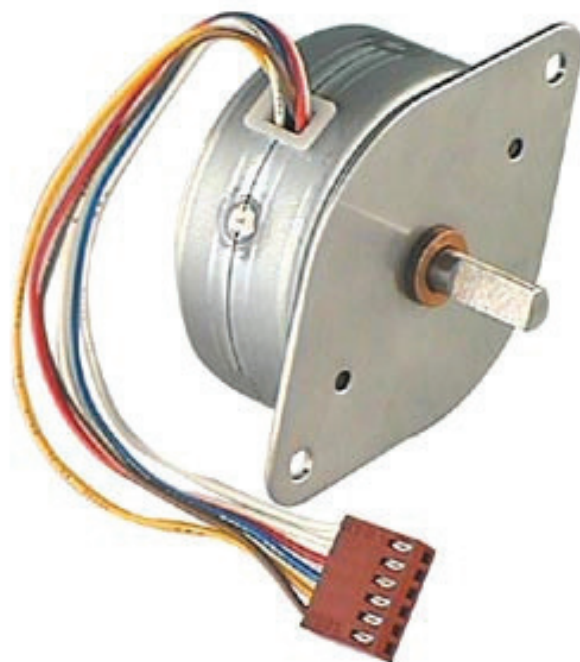
Implementar una maquina de control numérico con control en tiempo real para trabajos en madera

FUNDAMENTACIÓN TEÓRICA

Actuadores (motores a paso)

En primer lugar trataremos el actuador más utilizado en sistemas de control de bucle abierto. Este actuador es el motor paso a paso (Figura 1), un dispositivo electromecánico que convierte una serie de impulsos eléctricos en desplazamientos angulares discretos, lo que significa es que es capaz de avanzar una serie de grados (paso) dependiendo de sus entradas de control.

Figura 1. Motor a pasos.



Fuente: Graig (1989)

Entre sus principales ventajas se encuentran:

- Alta repetitividad en cuanto al posicionamiento.
- Al carecer de escobillas se alarga su vida útil y no genera chispas, lo que los hace más aptos para trabajar en entornos inflamables.
- Uso en sistemas de control de bucle abierto, lo que evita el uso de encoders y por tanto reduce el coste global del sistema.
- Es capaz de bloquear el rotor en una posición determinada con un momento de fuerza (*torque*) muy alto.
- Su velocidad de rotación no depende de la carga acoplada a su rotor. Como único inconveniente encontramos un control más complejo del mismo, aunque existen en el mercado una gran variedad de controladores de este tipo de motores que simplifican enormemente esta tarea.

Su funcionamiento se basa en el principio de electromagnetismo. Existe un rotor de hierro dulce o magnetizado rodeado por los estatores electromagnéticos. El rotor y el estator poseen polos que pueden encontrarse dentados dependiendo del tipo motor. Cuando el estator se encuentra energizado el rotor se mueve para alinearse con él (en el caso

de motores de imán permanente) o se mueve para tener la menor distancia con el estator (en el caso de los motores de reluctancia variable). Es por ello que debemos energizar a los estatores en una secuencia determinada para que se produzca el movimiento del rotor.

En lo que respecta al control de estos motores destacar dos funcionalidades básicas implementadas en cualquier controlador de motores paso a paso. Con la técnica conocida como *microstepping* es posible aumentar el número de pasos en este tipo de motores, aumentando por tanto la resolución del motor. La otra funcionalidad básica consiste en la regulación de la intensidad que circula por las bobinas del motor por medio de un procedimiento conocido como *Chopping*. Este procedimiento permite el uso de voltajes muy altos, ya que la intensidad que circula por las bobinas siempre será la misma (es decir, es independiente del voltaje). Un alto voltaje hace que se alcance la intensidad nominal de las bobinas en un menor tiempo y por tanto, permite que los motores giren más rápido.

Los tipos de motores paso a paso se pueden clasificar por su principio de funcionamiento:

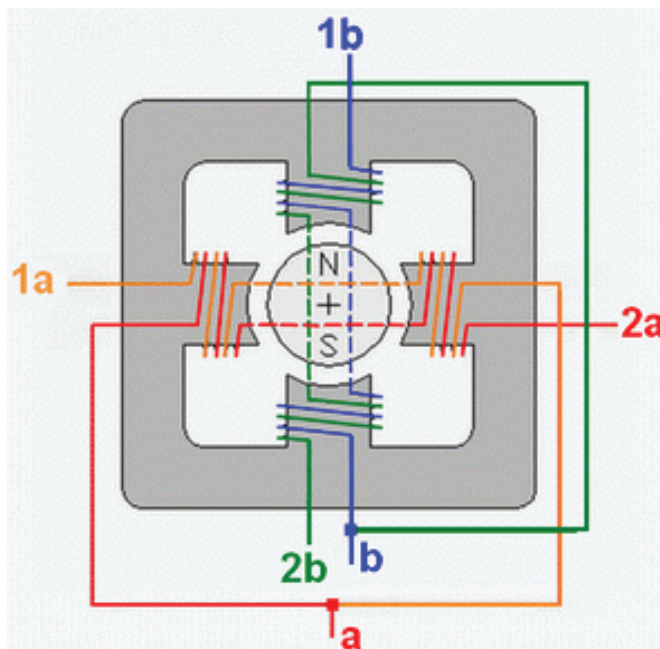
- Motor paso a paso de imán permanente
- Motor paso a paso de reluctancia variable
- Motor paso a paso híbrido
- Motor paso a paso unipolar
- Motor paso a paso bipolar

Destacando el tipo a utilizar en los fundamentos prácticos de la presente proyección y construcción del control numéricos, se estudiara solo el motor paso a paso unipolar por el cual se tiene a continuación:

Unipolar

Los motores unipolares son relativamente fáciles de controlar, gracias a que poseen devanados duplicados. Estos motores poseen dos bobinas en cada eje del estator (Figura 2), que están unidas por extremos opuestos, de tal modo que al ser alimentada una u otra, generan cada una un campo magnético inverso al de la otra. Esta duplicación se hace para facilitar el diseño del circuito de control, ya que permite el uso, en la parte de potencia, de un transistor único por cada uno de los bobinados.

Figura 2: Esquema de motor paso a paso unipolar.



Fuente: Courier (1998)

En el esquema más común de conexión se unen los “puntos medios” de ambos ejes (a y b en el dibujo) y se les conecta al positivo de la alimentación del motor. El circuito de control de potencia, entonces, se limita a poner a masa los bobinados de manera secuencial (Tabla 1).

Tabla 1. Secuencia para rotación horaria en motor PaP unipolar

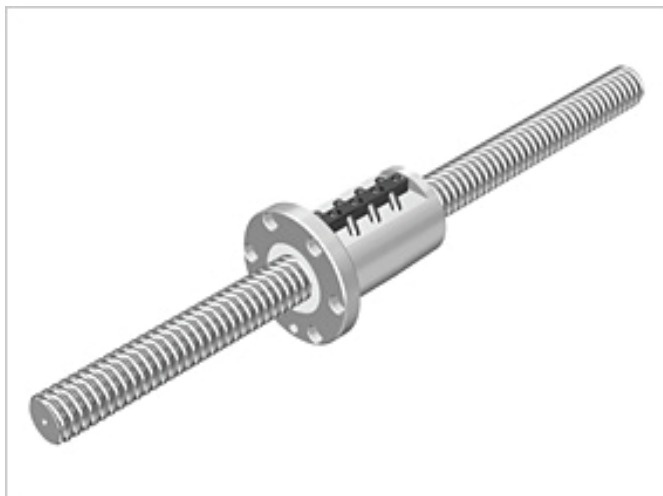
Rotación horaria →								
	1	2	3	4	5	6	7	8
1a	1	0	0	0	1	0	0	0
1b	0	1	0	0	0	1	0	0
2a	0	0	1	0	0	0	1	0
2b	0	0	0	1	0	0	0	1

Fuente: García (2010)

Sistema de movimiento (cinematica)

Tuerca husillo

La tuerca husillo (Figura 3) es un tipo de mecanismo que está constituido por un tornillo (husillo) que al girar produce el desplazamiento longitudinal de la tuerca en la que va enroscado (movimiento rectilíneo).

Figura 3. Tuerca Husillo.

Fuente: Shigley (2010)

El husillo posee un número de entradas (z) o filetes de rosca característica, que es el número de hélices que se enroscan en paralelo sobre el núcleo del tornillo. Generalmente es 1, 2 o 3.

El paso de rosca (p) es la distancia entre dos filetes consecutivos de una misma hélice. Habitualmente se mide en milímetros (mm). El paso de rosca es igual a la longitud que avanza el husillo en cada vuelta. La longitud (L) que avanza la tuerca al girar el husillo se obtiene mediante la fórmula:

La velocidad de avance se expresa, especialmente en máquinas-herramientas en milímetros por minuto (mm/min) y se calcula multiplicando el paso de rosca velocidad de giro n (en rev/min o Rpm).

La longitud L es independiente del número de entradas (z), porque el paso de rosca ya indica los mm que avanza la tuerca por cada revolución del husillo.

Piñón-cremallera

Este sistema transforma el movimiento rotativo del piñón en un desplazamiento lineal sobre la cremallera (Figura 4). Los dientes del piñón impiden que el mismo rote sin desplazarse, aspecto indispensable para su uso en máquinas de control numérico.

Figura 4. Piñón Cremallera.

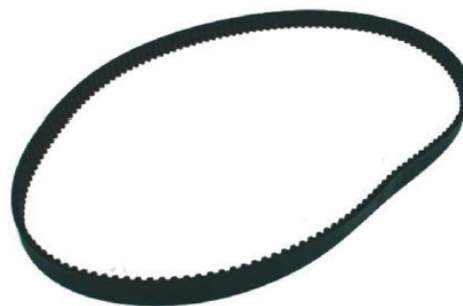
Fuente: Shigley (2010)

Como ventajas presenta su bajo precio, la posibilidad de cubrir grandes distancias (para máquinas de grandes dimensiones) y un bajo coste de mantenimiento. Su principal desventaja es su menor precisión, causada por las holguras presentes entre el piñón y la cremallera.

También presenta el inconveniente de no ser autobloquante, lo que supone un problema cuando la cremallera se encuentra colocada verticalmente. Es una alternativa económica muy usada en máquinas CNC.

Correa dentada

Sistema muy similar al piñón-cremallera en el que se sustituye la cremallera por una correa dentada (Figura 5). Los dientes de la correa impiden el libre deslizamiento de la misma.

Figura 5. Correa dentada.

Fuente: Shigley (2010)

Entre sus principales ventajas encontramos su bajo precio, su baja sonoridad en funcionamiento y un coste de mantenimiento muy bajo. Al igual que el piñón-cremallera, presenta el inconveniente de las holguras, lo que reduce su precisión. Además debemos de tener en cuenta la deformación elástica propia de la correa, lo que incrementa más aún su imprecisión. Al igual que el piñón-cremallera, no es un sistema autobloqueante.

Podemos encontrar este sistema de transmisión en prácticamente todas las impresoras domésticas, dispositivo que no requiere una gran precisión pero sí una baja sonoridad y coste.

Sensor de Final de Carrera

Dentro de los componentes electrónicos, se encuentra el final de carrera o bien conocido como el sensor de contacto (“interruptor de límite”), son dispositivos situados al final del recorrido o de un elemento móvil y que estos permiten emitir señales binarias que alcancen un sistema de control de parada o arranque, directa o reversa dependiendo del acto de control.

Funcionamiento

Estos sensores tienen dos tipos de funcionamiento: modo positivo y modo negativo. En el modo positivo el sensor se activa cuando el elemento a controlar tiene una tara que hace que el eje se eleve y conecte el objeto móvil con el contacto NC. Cuando el muelle (resorte de presión) se rompe el sensor se queda desconectado.

El modo negativo es la inversa del modo anterior, cuando el objeto controlado tiene un saliente que empuje el eje hacia abajo, forzando el resorte de copa y haciendo que se cierre el circuito. En este modo cuando el muelle falla y se rompe permanece activado.

Ventajas e Inconvenientes

Entre las ventajas encontramos la facilidad en la instalación, la robustez del sistema, es insensible a estados transitorios, trabaja a tensiones altas, debido a la inexistencia de imanes es inmune a la electricidad estática. Los inconvenientes de este dispositivo son la velocidad de detección y la posibilidad de rebotes en el contacto, además depende de la fuerza de actuación.

Figura 6. Sensor de Final de Carrera.



Fuente: Michala (2009)

METODOLOGÍA

Metodología proyectiva no experimental, de campo, transaccional. Según autores, como Arias (2010) y Hernández, Fernández, y Baptista (2012), establecen que las investigaciones proyectivas se consideran un modelo de solución a una problemática latente en una comunidad.

Así mismo, la investigación no experimental acorde a los postulados de estos autores pretende no manipular ninguna variable en cuestión, por lo que el fenómeno solamente se apreciará desde la óptica del investigador. También se considera transaccional debido a que se realizará en una misma línea de tiempo.

La Población y Muestra en esta Investigación estuvo conformada por una Unidad de Análisis, la cual fue la Máquina de Control de Número Desarrollada. Esto es soportado por los postulados de Arias (2010), Hernández, Fernández, y Baptista (2012), los cuales establecen que la Unidad de Análisis es un Objeto de Estudio centrado único en una población de origen.

RESULTADOS

A Continuación, presentamos el desarrollo del prototipo atendiendo a los objetivos planteados al comienzo de esta investigación.

Componentes

En lo que respecta a componentes:

- Los motores más usados son los motores paso a paso, ya que pueden funcionar en un sistema de control de bucle abierto y controlados por cualquier tipo de bus de campo y código respectivamente.
- Para la transmisión del movimiento de los motores se usan sistemas de correas, piñón-cremallera, husillo-tuerca y husillos de bolas.
- Se suelen recurrir a controladores de motores comerciales, aunque existen también propuestas con circuitería de control propia.
- Algunos componentes electrónicos fueron adquiridos a través de la compra de los mismos en tiendas de electrónica de la ciudad.

Máquina de control numérico

Los requisitos establecidos por los investigadores (pertenecientes al grupo de construcción del equipo de control numérico) son:

- Fácil fabricación: Las únicas acciones de mecanizado permitidas sobre el material que formará la estructura serán cortes y taladrados.
- Gran área de trabajo: El área de trabajo se encontrará entre el tamaño del estándar DIN A2 y DIN A3. El eje Z contará con un desplazamiento total de más de 150 mm, permitiendo el futuro acoplamiento de un cuarto eje.
- Precisión para cualquier tarea: La resolución de posicionamiento será de un mínimo de 5 μm , siendo el error de repetitividad no superior a los 10 μm .
- Gran velocidad de desplazamiento: La velocidad de desplazamiento para cada uno de los ejes será superior a los 0.00003 cm/s.
- Máquina de sobremesa: La máquina debe encontrarse dimensionada para poder colocarse en una mesa de escritorio y ser lo suficientemente ligera para no deteriorar la misma por su peso.
- Bajo coste: El coste total de los componentes que forman la máquina será inferior a los 3000 Bolívares (se excluye la computadora que realiza la función de control de la máquina y/o componentes reciclados y encontrados de equipos obsoletos que pueden ser de ayuda).

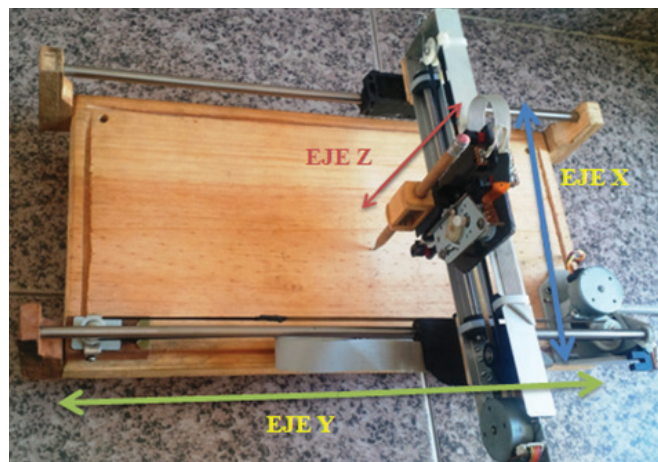
Los requisitos exigidos por el grupo de diseño y construcción para el control manual de la máquina son:

- Integración con controlador máquina-herramienta: La aplicación de control manual desarrollada se integrará con un controlador de máquina-herramienta de código abierto (ensamblador-MPLAB). Eligiendo este código por la facilidad en función del ambiente de su desarrollo.
- Control y monitorización en tiempo real: El control manual de la máquina y la monitorización de la posición de la herramienta acoplada será en tiempo real. En todo momento la aplicación mostrará la posición de la máquina y el diseño del usuario.

Máquina de control numérico

En lo que respecta a la máquina de control numérico, en primer lugar, se detallará el diseño creado, describiendo también todos los materiales y herramientas necesarias. Tras esto, se procederá a describir paso a paso el proceso de fabricación seguido.

Figura 7. Máquina CNC.



Fuente: Argel y Kammerer (2019)

Materiales e instrumentos utilizados

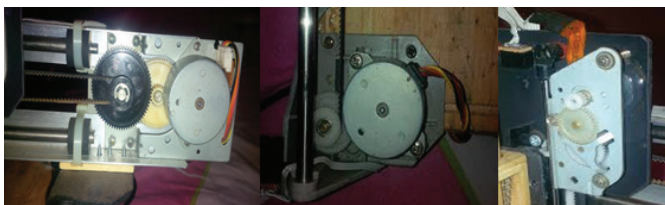
Estructura

Podemos apreciar como para toda la estructura de la máquina se ha usado un único perfil de aluminio cortado extraído de equipos obsoletos (Impresoras, Escáner, Entre otros) como soporte de los distintos sistemas de transmisión de potencia que este lleva. Así mismo, López (2010) propone también posee detalles realizados de manera artesanal con madera como materia prima fácil de encontrar.

Motores paso a paso (unipolares)

Para la experiencia de diseño y fabricación se utilizaron un total de tres motores a paso unipolares (Full Step 7.5 grados) los cuales permitirán el movimiento de los carros en los 3 ejes coordenados. Los motores elegidos fueron extraídos de equipos obsoletos como impresoras y/o escáneres dañados para evitar el bote de los mismos y contribuir al reciclaje. A continuación, se muestran imágenes de los motores de paso.

Figura 8. Motores de Paso (a: Eje X), (b: Eje Y), (c: Eje Z).



Fuente: Argel y Kammerer (2019)

Estos motores, especialmente el motor (c) el cual fue producto del desarme de un disco "Floppy" o disco de Diskette anteriormente utilizado en los ordenadores como fuentes de almacenamiento de información y datos. Por simplicidad y economía fue utilizado además que cuenta con la soporteria necesaria para la instalación del eje Z completamente.

Sistema de Transmisión de Potencia

Para la fabricación e implantación del sistema de transmisión o movimiento se utilizaron engranes de plástico los cuales fueron extraídos de equipos obsoletos, así mismo se utilizó como medio de transmisión las correas que estos equipos anteriormente mencionados también poseen de fábrica con la finalidad de facilitar el sistema de movimiento. Se utilizaron un total de dos (2) correas lineales de dientes trapezoidales con las siguientes características:

- Longitud total correa Eje Y: 75 cm.
- Longitud total correa Eje X: 50 cm.
- ANG, Angulo del motor por paso: 7.5 grados.
- DM, Diámetro del eje del motor: aprox 6mm.
- DR1A, Diámetro mayor rueda intermedia: aprox 20mm.
- DR1B, Diámetro menor rueda intermedia: aprox 6mm.
- DR2A, Diámetro mayor rueda externa: aprox 20mm.

h) DR2B, Diámetro menor rueda externa (donde se coloca la correa cremallera) aprox: 10mm.

i) Dxy, Desplazamiento cartesiano total

Sustituyendo en:

$Dxy = \text{Angulo Total} * \text{Desplazamiento por grado.}$

$$Dxy = [\text{ANG} * (\text{DM} / \text{DR1A}) * (\text{DR1B} / \text{DR2A})] * [\text{PI} * (\text{DR2B} / 2) / 360] \quad (3).$$

Reemplazando los valores anteriormente descritos:

$$Dxy = [7.5 * (6 / 20) * (6 / 20)] * [\text{PI} * (10 / 2) / 360] = 0.03\text{mm.}$$

Sensor óptico de inicio de carrera

Para la selección del sensor óptico de carrera, se tomó así mismo con el motor de pasos del "Floppy" de un ordenador, se extrajo así mismo el sensor óptico de inicio de carrera que es el que permitirá iniciar el descenso del carro en el eje Z una vez la orden este dada para la instrucción de dibujo. Ahora bien, este sensor fue escogido por la simplicidad y económica al tener el sistema de floppy completo como parte de una donación del CPU o equipo de computación totalmente obsoleto. Robot Institute of América (1979).

Cabe resaltar que existen un total adicional del mencionado dos (2) sensores ópticos de inicio de carrera para los ejes X y Y respectivamente los cuales son los encargados de dar el paso inicial al movimiento de los carros en X y Y dar un posicionamiento ordenado por PC en función de la posición XYZ del código. A continuación, se presenta una imagen de estos sensores extraídos uno del Floppy y otros adquiridos nuevos para su uso en la máquina CNC.

Figura 9. Sensores Ópticos de Inicio de Carrera (a: Eje X), (b: Eje Y), (c: Eje Z).



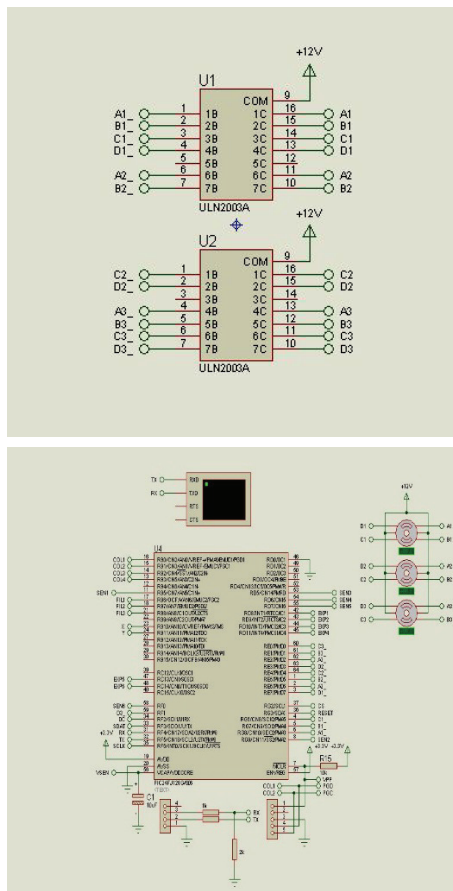
Fuente: Argel y Kammerer (2019)

Microcontrolador PIC

El microcontrolador seleccionado es el PIC24F-J128GA006, por ende se debe usar el compilador C30, que forma parte de esta familia de micro controladores, su función nativa es a través de lenguaje

C. Para el desarrollo del microcontrolador, se utilizó el ambiente de desarrollo integrado (IDE) MPLAB, creado por Microchip Technology, ya que permite llevar a cabo distintas etapas de un proyecto, como lo son: ensamblaje, edición, simulación y programación. A continuación se presenta una imagen de la simulación realizada en el software “Proteus” donde se evidenciara el CPU del Microprocesador o del controlador del sistema. Así mismo se muestra los drivers ULN2003A utilizados para establecer una comunicación síncrona entre los motores paso a paso y la placa base o el micro controlador en la figura 4

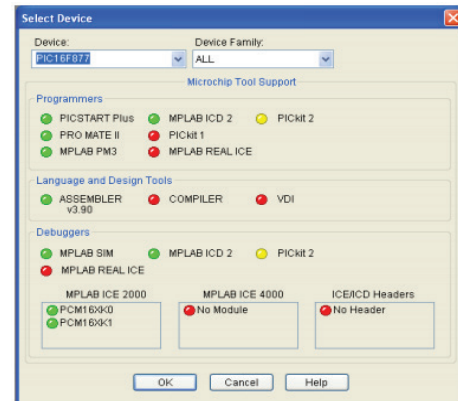
Figura 10. CPU del PIC24FJ128GA006



Fuente: Argel y Kammerer (2019)

Para trabajar en el entorno de MPLAB (Interfaz Maquina-Humano-Proceso), es necesario: seleccionar dispositivo, crear proyecto, seleccionar herramientas de lenguaje, crear código fuente, agregar los archivos al proyecto, construir proyecto. Desde el software, se debe seleccionar *configure---select device* y aparecerá en pantalla una imagen como la que se muestra a continuación:

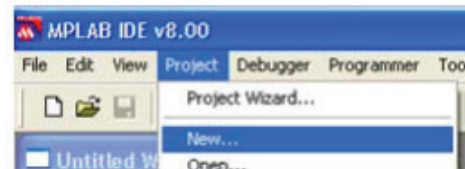
Figura 11. Ventana de MPLAB



Fuente: Argel y Kammerer (2019)

Donde se debe escoger el tipo de controlador a utilizar, en este caso es de la serie PIC24F, posee una alta eficiencia en microcontroladores avanzados de 16 bits. Ahora bien para crear el proyecto, El archivo .asm que se va a crear debe ser relacionado a un proyecto para su ensamblaje, detección de errores de sintaxis, obtención del .hex y simulación. Michala (2009).

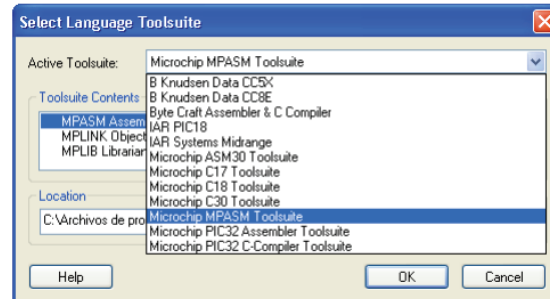
Figura 12. Ventana de MPLAB para nuevo proyecto



Fuente: Argel y Kammerer (2019)

Para crear el proyecto desde el menú principal seleccione *Project---New project*. Luego se habilita una opción en donde se asigna un nombre al proyecto (sin extensión) y en Project Directory escriba la dirección donde desea crear el proyecto. Luego desde el menú *active toolsuite*, seleccionar el microcontrolador.

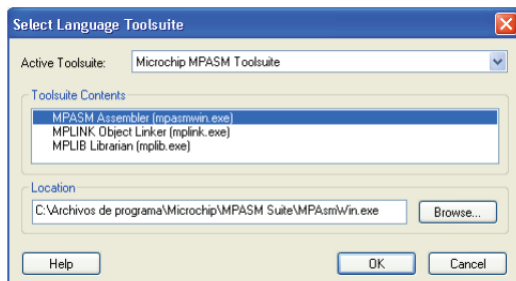
Figura 13. Ventana de MPLAB para nuevo lenguaje



Fuente: Argel y Kammerer (2019)

Posteriormente, se seleccionan las herramientas de lenguaje asociadas, por ejemplo:

Figura 14. Ventana de MPLAB para nuevo lenguaje y configuración del ensamblador



Fuente: Argel y Kammerer (2019)

Luego se inicia la carga de comandos a través de etiquetas, mnemónicos, comentarios y operandos.

- **Las etiquetas:** Deben comenzar por una letra o por “_”, y pueden tener caracteres alfanuméricos, “_”, y “?”. Se escriben en la columna 1 (borde izquierdo de la página).
- **Mnemónicos:** Los mnemónicos de las instrucciones de ensamblador, las directivas y las llamadas a macros deben comenzar, al menos, en la columna 2 (1 espacio después del borde izquierdo), aunque normalmente se usa la tecla “TAB”. Si en la misma línea hay una etiqueta, deben estar separados por uno o más espacios (o “TAB”).
- **Operandos:** Los operandos van después de los mnemónicos y deben separarse de éstos uno o más espacios (o “TAB”). Los operandos que vienen en listas deben separarse por “,”.
- **Comentarios:** Los comentarios comienzan con “;” y se escriben en cualquier columna. Todo lo que vaya después del “;” se considera comentario.

Figura 15. Ventana de comandos.

```

//.....
*****
//Variables...
unsigned char TIME_BASE, SECX, SECV, SECI, DATORX;

//.....
//Definición de bits...
*****
#define HOMEX PORTbits.RB5
#define HOMEY PORTbits.RD5
#define HOMEZ PORTbits.RG9

#define AX LATbits.LATG8
#define BX LATbits.LATG7
#define CX LATbits.LATG6
#define DX LATbits.LATE7

#define AY LATEbits.LATE6
#define BY LATEbits.LATE5
#define CY LATEbits.LATE4
#define DY LATEbits.LATE3

#define AZ LATEbits.LATE2
#define BE LATEbits.LATE1
#define CE LATEbits.LATE0
#define DE LATEbits.LATE1

//.....

```

Fuente: Argel y Kammerer (2019)

Se agregan los archivos al proyecto, para luego iniciar el ensamblado (construcción), del proyecto, a través de *Project---build all*. A este solo se aplicaron los comandos sencillos de desplazamiento a través de cada uno de los ejes.

CONCLUSIONES

A través de los resultados de la investigación pudo constatar que si es posible el desarrollo a bajo coste de un prototipo de CNC para actuar sobre productos a partir de materias primas maderas y afines.

Lo que hacen factible el abordaje de proyectos o emprendimientos en sectores productivos para la elaboración en serie de cocinas, muebles, inmobiliario y equipamientos varios para hogares y oficinas en centro de desarrollos locales con capitales discretos para su inicio.

Es por ello que es de menester considerar los parámetros, requerimientos mínimos necesarios y exequibles en el mercado para poder obtener un dispositivo de calidad y con el nivel de producción ajustado a los trabajos que este desarrolle.

REFERENCIA BIBLIOGRÁFICAS

- Arias, Fideas (2010) “Metodología de la Investigación” Editorial Epísteme, 2da Edición, Caracas, Venezuela.
- Courier (1998) “Robótica Industrial” Editorial Mac-combo en su Segunda edición.
- Craig (1989) “control de movimiento de robots Manipuladores”. Libro editorial Pearson en su segunda edición.
- García (2010) “Robótica aplicada” Fundamentos teóricos-prácticos de la cátedra: Robótica industrial de la universidad politécnica de Madrid, España.
- Groover (1998) “Robótica Industrial: Tecnología Programación y aplicaciones”. Editorial Mw Graw Hill en su Primera Edición.
- Michala (2009) “Fundamentos de Robótica Industrial” Quito, EPN-FEPON.
- Hernández, Fernández y Batista (2012). “Metodología de la Investigación” Editorial McGraw Hill. 6ta. Edición. México DF, México.

López (2010) "Robótica y aplicaciones" Fundamentos teóricos-prácticos de la cátedra: Laboratorio de Robótica industrial de la universidad politécnica de Madrid, España.

Robot Institute of América (1979) "Instituto Americano de Robots" con sede en Estados Unidos de América.

Shigley (2010) "Diseño de Maquinas" Editorial Mw Graw Hill, 6ta Edición en Español. México DF.