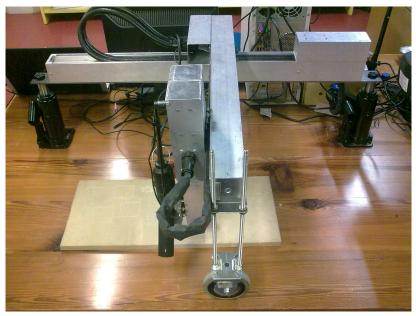


# PONTIFICIA UNIVERSIDAD CATOLICA ARGENTINA

Facultad de Ciencias Fisicomatemáticas e Ingeniería Carrera de Ingeniería Electrónica y Comunicaciones



# TRABAJO FINAL

Robot Cartesiano de tres ejes controlado por computadora

Fecha de presentación: 21 de diciembre de 2009

**Alumno: Cristian Guillermo Val** 

**Profesor: Ing. Norberto Heyaca** 

Tutor: MSc. Ing. Ricardo Vecchio

# Índice

Prefacio	finido.
Reseña historica	6
Definición de Robot	9
CLASIFICACIÓN	9
I CLASIFICACIÓN POR ESTRUCTURA MECÁNICA	10
II CLASIFICACIÓN POR EL TIPO DE CONTROL	11
III CLASIFICACIÓN POR EL TIPO DE TRAYECTORIA	11
IV CLASIFICACIÓN POR APLICACIÓN	12
Estado actual de la Robótica para aplicaciones Industriales	
Estadísticas de la industria de robots	
Capacidades productivas de instalaciones robóticas en la "industria en general"	13
Baja en las ventas de robots durante 2009 – Recuperación durante el período 2010 - 20	
Desarrollo	
Primera etapa.	
Introducción	
Objetivos	
DESARROLLO DEL TRABAJO	
Estructura mecánica	
Movimiento lineal a lo largo del eje X.	
Movimiento lineal a lo largo del eje Y	
Movimiento lineal a lo largo del eje Z	
Motores paso a paso	
Parte Electrónica	
Drivers de los motores paso a paso	
Interfaz PC por puerto paralelo	
Interfaz MODBUS por puerto USB	
Software	
El programa de procesamiento	
El código de programación de control numérico.	
Conclusiones de la primera etapa	
ANÁLISIS DE CASOS Y EJEMPLOS	
Segunda etapa del proyecto	
Estructura mecánica	
Movimiento lineal a lo largo del eje X.	
Movimiento lineal a lo largo del eje Y	
Movimiento lineal a lo largo del eje Z	
Motores paso a paso	
Parte Electrónica	33
Drivers de los motores paso a paso	
Sensores ópticos de fines de carrera e indicador de posición cero	
Interfaz adaptadora Puerto paralelo a USB	
Programa para controlar la interfase USB y programar rutinas en G-Code:	
Interface de puerto paralelo por Ethernet	
Análisis de Casos	
Temas Abiertos:	
Análisis de costos	
Comparación con otros productos disponibles en el Mercado:	
Conclusiones y Aportes	
Agradecimientos	
Bibliografía	45

# **Prólogo**

El objetivo principal de esta obra es explicar el proyecto, diseño y la construcción de un brazo robótico en tres ejes cartesianos controlado por computadora.

Este aparato comúnmente llamado "Robot Cartesiano" puede ser empleado en la manipulación de herramientas para la fabricación de piezas diversas, de manera automática por programa o de forma manual a través de una interfaz Joystick.

Se programa por medio de rutinas bajo el lenguaje Gerber, el cual es un Standard mundial para máquinas de control numérico computarizado.

El proyecto tiene importantes aplicaciones como herramienta de aprendizaje para la rama de control y es una herramienta fundamental para la fabricación de prototipos en los que se necesiten realizar piezas de manera automática y precisa.

Es posible su aplicación fundamentalmente en las escuelas técnicas como en carreras de grado, ya que se busca generar una solución económica y eficiente para un aprendizaje profundo y práctico sobre los robots industriales y el control numérico computarizado. Este proyecto posee mucho valor agregado ya que a partir de insumos de bajo costo se ha creado un producto versátil.

Consiste en un sistema robótico de tres carros móviles que desplazan en forma tridimensional un elemento abrasivo o cortante. La idea de construir esta máquina surgió al principio con el objeto de hacer las perforaciones de los circuitos impresos que se utilizan para hacer plaquetas electrónicas, para el montaje de sus componentes. Se buscaba posicionar la perforadora automáticamente en cualquier punto del plano XY horizontal y bajarla en la dirección vertical del eje Z para realizar la perforación.

Los diseños preliminares se realizaron a partir de dibujos en Autocad y a partir de imágenes en otros programas gráficos.

El proyecto fue realizado en dos etapas:

En la primera etapa que comenzó en el año 2008, se efectuó una estructura con hierro soldado, motores paso a paso y varillas roscadas. Se utilizó el puerto paralelo para intercambio de datos con una PC. Se lograba realizar grabados sobre madera y vidrio. El proyecto representó a la UCA en el congreso de ingeniería realizado en Salta, CAEDI donde se hizo una publicación y un póster que fue expuesto junto con otros proyectos de diversos profesionales del país.

La perforadora, taladro o fresa era un torno tipo Dremel, o también podía colocarse otra herramienta, por ejemplo un Laser.

Ese torno era movido en el espacio de trabajo, por medio de los motores paso a paso. En estos motores se puede controlar el ángulo de giro con precisión digital a través de software y una interfaz con una computadora.

Entre los problemas que hubo que resolver, uno de los más difíciles consistió en transformar el movimiento giratorio de los motores Paso a Paso, en movimiento lineal proporcional, que es necesario para cumplir con la función de posicionamiento en los ejes cartesianos.

En esa primera etapa, para transformar el movimiento giratorio en lineal se pensó en un tornillo de largo suficiente para cubrir toda la carrera del elemento móvil, con una tuerca que empujara al mismo, optando por la variante de que esas tuercas y tornillos, también soportaran el peso del elemento móvil.

De esta forma para que el móvil tuviera un solo grado de movimiento debía desplazarse apoyado en dos tornillos y dos tuercas.

Estos dos tornillos debían girar exactamente a la misma velocidad, esto se logró haciendo girar a ambos tornillos solidariamente mediante sendos piñones enlazados con una cadena.

Con este sistema se realizó una máquina que si bien funcionaba correctamente no tenía la precisión deseada. Porque al girar los tornillos le transmitían su vibración al móvil debido a excentricidades en el torneado de los mismos.

Otra causa de esta imprecisión era que no pudieron conseguirse tornillos de esa medida con rosca cuadrada, entonces, los de rosca triangular tenían pequeños desplazamientos aleatorios debido a la holgura entre sus filetes de roscas.

Además el paralelismo entre los dos tornillos era crucial para evitar atascamientos.

En la segunda etapa, durante el corriente año, se renovó totalmente la parte mecánica y se mejoró la parte electrónica llegando mejorar sustancialmente el proyecto en su conjunto.

Se buscó mejorar la precisión y robustez mecánica, para lograr disminuir el juego y rozamiento de los ejes y mejorar la calidad de las piezas fabricadas.

Esto finalmente se logró utilizando guías lineales japonesas NSK con rulemanes para disminuir las pérdidas por rozamiento y asegurarse un correcto desplazamiento sobre cada eje. Se emplearon perfiles de aluminio que sirvieron de carcasa para los motores paso a paso y las guías, lo cual le dio una mayor estética y robustez.

El eje X se mantuvo fijo, apoyado en sus extremos, con patas en una mesa, con la posibilidad de poder ser nivelado. En cuanto al eje Y, se montó un extremo sobre el carro del eje X, en dirección perpendicular al mismo. Sobre el carro del eje Y se montó un extremo del eje Z, que fue su único punto de apoyo. Entonces, sobre el carro del eje Z se dispuso la herramienta.

El otro extremo del eje Y se colocó una rueda, que le permite el movimiento rodando apoyada a la mesa y oficia como la tercera pata de la estructura.

Entonces se conformó tres brazos corredizos cuyo movimiento lineal sigue a cada una de las tres direcciones XYZ, dándole la posibilidad a la fresa de ubicarse en cualquier punto dentro del volumen de operación. Este volumen es 670 x 520 x 150 milímetros.

El movimiento se genera a través de motores paso a paso, controlados por pulsos digitales que provienen de la interfaz con la PC.

Esta interfaz tiene su propia fuente de alimentación independiente, debido al gran consumo de corriente de los drivers de los motores.

El intercambio de datos se realiza por medio del puerto paralelo de la PC, o a través del puerto USB de una Laptop.

En la computadora corre un programa especialmente diseñado para este tipo de control numérico como por ejemplo el Mach3 de Artsoft USA o el WinCNC.

Se colocaron fines de carrera ópticos para proteger a la estructura ante posibles fallas de software que lleven a exceder los límites máximos en cada eje. Se instaló un detector de la posición inicial óptico, se colocó un display local y se realizó una interfaz por USB para tener más opciones de conectividad que faciliten la portabilidad, y el control remoto, empleando una notebook. Además se agregó la posibilidad de controlar el encendido o apagado de manera autómata de la fresa.

El movimiento de empuje de los carros se realiza utilizando tornillos largos y tuercas de bronce, conectados en uno de sus extremos al motor Paso a Paso a través

de una transmisión flexible realizada con manguera de alta presión y anillos de anclaje con prisioneros.

Estos tornillos giran sobre rulemanes montados en soportes de fibrofácil que se fijaron a los perfiles de aluminio.

Cada uno de los ejes dispone de tres optoacopladores dispuestos uno al principio, mitad y fin de su carrera que se conectaron a la interfaz a través de cinco conductores, además el motor Paso a Paso necesita cuatro conductores, haciendo un total de nueve conductores, que deben llegar hasta la interfaz, sorteando los movimientos de cada uno de los ejes.

Para lograr la continuidad de los conductores de un eje con los del eje siguiente, se utilizó cable flexible y fichas de nueve contactos.

La ficha tipo chasis se atornilló al perfil origen. El destino de los conductores, que es el carro del eje siguiente, tiene un amplio rango de movimiento, por lo tanto hubo que colocar un cable suficientemente flexible. Con este propósito se optó por el cable de control de ascensores de diez conductores.

En el caso del eje Y que soporta el peso del eje Z y la fresadora, fue necesario colocar refuerzos de chapa de hierro de espesor de 6 milímetros para evitar la posible torsión y/o deformación de los perfiles de aluminio. Lo mismo sucedió con el eje X que soporta el peso del eje Y, del eje Z y la fresadora.

La estructura debe mantenerse nivelada con respecto a la mesa de trabajo donde se va a colocar la pieza a trabajar, en el eje X esto se resolvió con dos crickets hidráulicos tipo botellas colocados como patas, que permiten el ajuste sin discontinuidades y con gran fuerza.

Para que el movimiento del eje Y esté correctamente nivelado se colocó un tornillo de altura ajustable con la rueda, a fin de darle una sustentación en el otro extremo. Se colocó un display local, se adaptó la máquina para su uso remoto, o con Laptop. Se esta desarrollando una nueva interfaz FPGA, con el objeto de conexión a través de Ethernet.

De esta forma llegamos al modelo actual, veamos un poco de historia del tema CNC.

#### Reseña historica

La Revolución Industrial fue la primera de las grandes transformaciones de la Edad Contemporánea, y una de las más importantes de la Historia. Su impacto generó cambios fundamentales en la economía y los modos de vida de la humanidad. Tuvo sus orígenes en Inglaterra a fines del Siglo XVIII y dio origen al sistema capitalista industrial.

Así desde ese momento se fueron produciendo mejoras en las herramientas, inicialmente fueron en las herramientas agrícolas. Gracias a los adelantos técnicos, la producción agraria aumentó la cantidad y calidad de sus productos.

El adelanto de la técnica implicó el surgimiento de las maquinarias como elementos fundamentales en el trabajo.

En la industria metalúrgica, el uso en gran escala de los altos hornos permitió aumentar y mejorar la producción de hiero. De las variadas utilizaciones de este metal fue importante la producción herramientas y maquinarias.

Durante la segunda mitad el siglo XIX tuvo lugar un sensible adelanto tecnológico que impactó especialmente en la industria metalúrgica, la producción de energía y los medios de transporte y comunicación. El progreso adquirió tal magnitud que fue calificado como "revolución tecnológica". Los estudios científicos tomaron gran impulso; las universidades fueron centros del desarrollo de las investigaciones. Hubo una aplicación sistemática de la ciencia y la técnica a la producción. Por su parte, los industriales financiaron investigaciones en el campo técnico. Se incrementó el vínculo entre ciencia y técnica. A esto colaboró el estímulo dado por las exposiciones universales y las publicaciones científicas.

El comienzo de la revolución industrial proporcionó un medio potencialmente poderoso de mover las maquinas: "el vapor". Sin embargo también eran potencialmente peligrosas las explosiones de las calderas y maquinas y existía una gran necesidad de alguna forma de regular automáticamente el suministro de vapor según la carga. Por ello el regulador centrífugo de bolas de Sir James Watt, introducido en 1787, proporciono la solución. Como se muestra si la carga sobre el árbol disminuye bruscamente y el árbol se acelera haciendo que la fuerza centrífuga mueva las bolas giratorias hacia fuera, esto hace que se eleve la pieza deslizante conectada a la válvula de vapor disminuyendo con ello el suministro de vapor y finalmente reduciendo la velocidad de árbol de salida. Este principio fue de hecho utilizado primitivamente en los molinos de viento. El desarrollo clave en la década de los 30 fue el análisis de estabilidad de los nuevos amplificadores electrónicos (Nyquist,



Figura 1. Cortadora Láser controlada por Computadora.

1932), más tarde mediante la teoría del control han sido reunidos por MacFarlane (1979) que se aplico rápidamente a los dispositivos mecánicos.

El robot industrial incluye el principio de secuenciación y retroalimentación para proporcionar movimientos rápidos y precisos. La razón de por qué la aparición de robots es relativamente reciente reside en la evolución de ordenadores rápidos y seguros que forman el corazón del robot y proporcionan tanto el control como la reprogramabilidad. La disponibilidad de ordenadores ha significado también un desarrollo paralelo de sensores y procesamiento sensorial, esto junto con la flexibilidad inherente, proporcionada por tener los movimientos del robot, mandados a partir de un ordenador de control hacen que los movimientos de un robot pueden modificarse de acuerdo con la información sensorial. La posición se transmite al robot, el cual entonces toma la pieza correctamente.

El concepto de máquinas automatizadas se remonta a la antigüedad, con mitos de seres mecánicos vivientes. Los autómatas, o maquinas semejantes a personas, ya aparecían en los relojes de las iglesias medievales, y los relojeros del siglo XVIII eran famosos por sus ingeniosas criaturas mecánicas.

Algunos de los primeros robots empleaban mecanismos de realimentación, para corregir errores, mecanismos que siguen empleándose actualmente. Un ejemplo de control por realimentación es un bebedero que emplea un flotador para determinar el nivel del agua. Cuando el agua cae por debajo de un nivel determinado, el flotador baja, abre una válvula y deja entrar más agua en el bebedero. Al subir el agua, el flotador también sube, y al llegar a cierta altura se cierra la válvula y se cota el paso del agua.

Aunque el primer auténtico controlador realimentado fue el regulador de Watt, inventado en 1788 por el ingeniero mecánico británico James Watt. Este dispositivo constaba de dos bolas metálicas unidas al eje motor de una maquina de vapor y con una válvula que regulaba el flujo del vapor. A medida que aumentaba la velocidad de maquina de vapor, las bolas se alejaban del eje debido a la fuerza centrífuga, con la que cerraban la válvula. Esto hacia que disminuyera el flujo de vapor a la máquina y por tanto la velocidad.

El control por realimentación, el desarrollo de herramientas especializadas y la división del trabajo en las tareas más pequeñas que pudieran realizar obreros o máquinas fueron ingredientes esenciales en la automatización de las fábricas en el siglo XVIII. A medida que mejoraba la tecnología se desarrollaron máquinas especializadas para tareas como poner tapones a las botellas o verter caucho líquido en moldes para neumáticos. Sin embargo, ninguna de estas máquinas tenia la versatilidad del brazo humano, y no podian alcanzar objetos alejados y colocarlos en la posición deseada.

El desarrollo del brazo artificial multiarticulado, o manipulador, llevó al moderno robot. El inventor estadounidense George Devol desarrolló en 1954 un brazo primitivo que se podía programar para realizar tareas específicas. En 1975, el ingeniero mecánico estadounidense Victor Scheinman, cuando estudiaba la carrera, desarrollo un manipulador polivalente realmenete flexible conocido como Brazo Manipulador Universal Programable (PUMA). El PUMA era capaz de mover un objeto y colocarlo en cualquier orientación en un lugar deseado que estuviera a su alcance. El concepto básico multiarticulado del PUMA es la base de la mayoría de los robots actuales.

De allí la importancia de la máquina herramienta haya jugado un papel fundamental en el desarrollo tecnológico del mundo.

La necesidad de recurrir a la automatización de numerosos procesos que remplazaran al operador humano, determinó la aparición de nuevas técnicas, entre ellas el control numérico.

Hacia 1942 surgió lo que se podría llamar el primer control numérico verdadero, debido a una necesidad impuesta por la industria aeronáutica para la realización de hélices de helicópteros de diferentes configuraciones.

El CNC tuvo su origen a principios de los años cincuenta en el Instituto de Tecnología de Massachusetts (MIT), en donde se automatizó por primera vez una gran fresadora.

En esta época las computadoras estaban en sus inicios y eran tan grandes que el espacio ocupado por la computadora era mayor que el de la máquina.

Hoy día las computadoras son cada vez más pequeñas y económicas, con lo que el uso del CNC se ha extendido a todo tipo de maquinaria: tornos, rectificadoras, electro-erosionadoras, máquinas textiles, etc.

CNC significa "control numérico computarizado". En una máquina CNC, a diferencia de una máquina convencional o manual, una computadora controla la posición y velocidad de los motores que accionan los ejes de la máquina. Gracias a esto, puede hacer movimientos que no se pueden lograr manualmente con esa rapidez y precisión, como círculos, líneas diagonales y figuras complejas tridimensionales.

Las máquinas CNC son capaces de mover la herramienta al mismo tiempo en los tres ejes para ejecutar trayectorias tridimensionales como las que se requieren para el maquinado de complejos moldes y troqueles.

En una máquina CNC una computadora controla el movimiento de la mesa, el carro y el husillo. Una vez programada la máquina, ésta ejecuta todas las operaciones por sí sola, sin necesidad de que el operador esté manejándola. Esto permite aprovechar mejor el tiempo del personal para que sea más productivo.

El término "control numérico" se debe a que las órdenes dadas a la máquina son indicadas mediante códigos numéricos. Por ejemplo, para indicarle a la máquina que mueva la herramienta describiendo un cuadrado de 10 mm por lado se le darían los siguientes códigos:

G90 G71 G00 X0.0 Y0.0

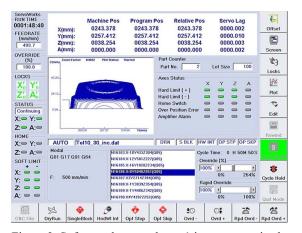


Figura 2. Software de control numérico computarizado

G01 X10.0 G01 Y10.0 G01 X0.0 G01 Y0.0

Un conjunto de órdenes que siguen una secuencia lógica constituyen un programa de maquinado. Dándole las órdenes o instrucciones adecuadas a la máquina, ésta es capaz de maquinar una simple ranura, una cavidad irregular, la cara de una persona en altorrelieve o bajorrelieve, un grabado artístico un molde de inyección de una cuchara o una botella... lo que se quiera.

Al principio hacer un programa de maquinado era muy difícil y tedioso, pues había que planear e indicarle manualmente a la máquina cada uno de los movimientos que tenía que hacer. Era un proceso que podía durar horas, días, semanas. Aún así era un ahorro de tiempo comparado con los métodos convencionales.

Actualmente muchas de las máquinas modernas trabajan con lo que se conoce como "lenguaje conversacional" en el que el programador escoge la operación que desea y la máquina le pregunta los datos que se requieren. Cada instrucción de este lenguaje conversacional puede representar decenas de códigos numéricos. Por ejemplo, el maquinado de una cavidad completa se puede hacer con una sola instrucción que especifica el largo, alto, profundidad, posición, radios de las esquinas, etc. Algunos controles incluso cuentan con graficación en pantalla y funciones de ayuda geométrica. Todo esto hace la programación mucho más rápida y sencilla.

También se emplean sistemas CAD/CAM que generan el programa de maquinado de forma automática. En el sistema CAD (diseño asistido por computadora) la pieza que se desea maquinar se diseña en la computadora con herramientas de dibujo y modelado sólido. Posteriormente el sistema CAM (manufactura asistida por computadora) toma la información del diseño y genera la ruta de corte que tiene que seguir la herramienta para fabricar la pieza deseada; a partir de esta ruta de corte se crea automáticamente el programa de maquinado, el cual puede ser introducido a la máquina mediante un disco o enviado electrónicamente.

Hoy día los equipos CNC con la ayuda de los lenguajes conversacionales y los sistemas CAD/CAM, permiten a las empresas producir con mucha mayor rapidez y calidad sin necesidad de tener personal altamente especializado.

#### Definición de Robot

(Del ingl. robot, y este del checo robota, trabajo, prestación personal).

Máquina o ingenio electrónico programable, capaz de manipular objetos y realizar operaciones antes reservadas solo a las personas.

# **CLASIFICACIÓN**

Existen muchas maneras de clasificar los robots industriales ya que se puede realizar una clasificación diferente por cada característica o destino de los mismos. Aquí se presentan, de manera global, las clasificaciones más utilizadas:

por estructura mecánica, por el tipo de control, por el tipo de trayectoria, por la aplicación a la que están destinados.

# I.- CLASIFICACIÓN POR ESTRUCTURA MECÁNICA

TIPO	DESCRIPCIÓN	PRINCIPIO	ESTRUCTURA CINEMÁTICA	ESPACIO DE TRABAJO	EJEMPLO
Robot cartesiano	Robot donde el brazo) está constituido por tres articulaciones prismáticas donde los ejes están dispuestos según un sistema de coordenadas cartesianas.				B
Robot cilíndrico	Robot donde el brazo está constituido por al menos una articulación rotativa y de una articulación prismática donde los ejes están dispuestos según un sistema de coordenadas cilíndricas.			R	
Robot Esférico (o polar)	Robot cuyos ejes forman un sistema de coordenadas polar.				2011
Robot SCARA(*)	Robot que tiene dos articulaciones rotativas con ejes paralelos, para proporcionar conformidad en un plano dado.				
Robot articulado	Robot cuyo brazo tiene al menos articulaciones rotativas				
Robot paralelo	Robot donde el brazo (ejes principales) están constituidos por tres articulaciones prismáticas concurrentes				

(\*): SCARA viene de Selectively Compliant Arm for Robotic Assembly.

#### II.- CLASIFICACIÓN POR EL TIPO DE CONTROL

Atendiendo al tipo de control, la clasificación más elemental que suele realizarse es la siguiente:

**Servo-controlados.** Los robots servo-controlados se gobiernan utilizando la información procedente de sensores que monitorizan continuamente la velocidad y posición de los ejes del robot y componentes asociados. La realimentación que supone esta información, se compara con la información con la que el robot ha sido pre-adiestrado, y que se encuentra programada en los dispositivos de memoria del robot.

**No servo-controlados.** Los robots no servo-controlados carecen de realimentación y sus ejes se controlan mediante un sistema de topes mecánicos y finales de carrera.

#### III.- CLASIFICACIÓN POR EL TIPO DE TRAYECTORIA

Los robots industriales pueden ser programados desde para recorrer simplemente una distancia, hasta para desempeñar sus operaciones preprogramadas con diferentes tipos de trayectorias generadas a través de diferentes técnicas de control.

Existen tres tipos diferentes de trayectoria posibles:

trayectoria Punto-a-Punto,

trayectoria controlada,

trayectoria continua,

lo cual da lugar a los correspondientes tipos de robots:

#### Robot de trayectoria Punto-a-Punto

Los robots controlados de esta manera son programados para moverse desde un punto discreto hasta otro, dentro del entorno de trabajo del robot. En el modo de operación automática, la trayectoria real recorrida por el robot variará ligeramente, debido a variaciones en la velocidad, geometría de las articulaciones localizaciones espaciales de los puntos.

Esta diferencia entre las trayectorias es difícil de predecir y por consiguiente pude ocasionar un peligro potencial en la seguridad de las personas y los equipos.

#### Robot de trayectoria controlada

La trayectoria o el modo de movimiento asegura que el final del brazo del robot seguirá una trayectoria y orientación predecible (controlada) ya que el robot viaja de punto a punto. Las transformaciones entre coordenadas requeridas para el manejo de este hardware, son calculadas por el ordenador que dirige el sistema de control del robot.

Este tipo de programación es menos probable que presente peligros en la seguridad de las personas o en los equipos.

#### Robot de trayectoria continua

Un robot de trayectoria continua controlada es aquel cuya trayectoria se controla mediante el almacenamiento de una gran sucesión de puntos espaciales en memoria durante una secuencia de aprendizaje. Durante este tiempo, y mientras el robot se mueve, las coordenadas de los puntos de cada eje en el espacio son monitoreadas de manera continua en una base de tiempo fija (por ejemplo 60 veces por segundo o

más) y almacenadas en la memoria del ordenador del sistema de control. Cuando el robot opera en modo de automático, se carga el programa de la memoria y se genera una trayectoria duplicada.

#### IV.- CLASIFICACIÓN POR APLICACIÓN

En lo referente a las aplicaciones, se pueden destacar los siguientes grandes grupos de robots:

Robots de soldadura.

Robots de ensamblado.

Robots de manipulado.

Robots de pintura.

# Estado actual de la Robótica para aplicaciones Industriales

#### Estadísticas de la industria de robots

Durante el período de 2008 la industria mundial de Robots fue afectada por la crisis financiera

Las ventas de Robots industriales bajaron a un nivel de 113.300 unidades. Las ventas de instalaciones automatizadas bajaron sustancialmente durante el último cuatrimestre del año 2008.

Es importante destacar que durante el período de 2007 y 2008 hubo una alta demanda, sólo un 6% menos del pico máximo que sucedió en el 2005. Esto fue debido a dos causas:

- La industria automotriz realizó altas inversiones en automatización a fin de aumentar la producción en los mercados emergentes como así también aumentar la participación en los mercados tradicionales.
- Muchos otros sectores ya sea la industria del plástico como de goma, metal, de maquinarias, de comida y de electrónica ha hecho una gran inversión en optimizar sus procesos de producción.

La crisis financiera del 2008 generó un freno en la tendencia mundial hacia la automatización.

En la actualidad, la automatización tuvo un fuerte peso en Asia, declinó en América y se estancó en Europa:

En el 2008, 60.300 robots se vendieron a los países asiáticos, incluyendo a Australia y Nueva Zelanda, aproximadamente un 4% más que en 2007. El mercado principal, ubicado en Japón actualmente, ha bajado su inversión en robótica. Pero la República de Korea y los mercados emergentes de China como así también los países del sudeste asiático e India han realizado altas inversiones en instalaciones automatizadas durante el período de 2005. Una baja se registró durante el período de 2006 a 2007, pero durante el 2008 hubo un pequeño incremento en las ventas.

Cerca de 17200 robots industriales fueron vendidos a Estados Unidos en 2008, lo cual fue un 17% menos que en 2007. La industria Automotriz de los Estados Unidos es el mayor demandante de este mercado. Canadá sin embargo fue muy afectada por la recesión que empezó finalizando el 2007 y el colapso financiero que se inició en el otoño de 2008.

Prácticamente todas las industrias fueron perjudicadas por la crisis financiera y especialmente la industria automotriz fue la más afectada. En la actualidad, hubo una baja en la demanda de autos en Norteamérica. Pero en 2008 la crisis agravó este problema aún más.

Este problema ocasionó un recorte en las empresas automotrices, donde buscaron recortar sus capacidades productivas o reubicarlas en actividades más productivas. Las inversiones provenientes de países extranjeros se pararon o bien bajaron en cantidad.

Las ventas de robots industriales se estancaron a un número de 35.100 en Europa, que fue una de las mayores durante el transcurso del año. Esto fue a causa de la industria metalúrgica, de maquinarias, farmacéutica, la industria cosmética, la comida y la electrónica aunque su valor se estancó debido a una baja en la demanda automotriz, la industria del plástico y gomas.

El mercado de venta de robots industriales rondó los \$6.2 billones de dólares en 2008.

Si se considerara el software, los periféricos y los sistemas asociados a la industria robótica, durante 2008, el mercado mundial es 2 o tres veces más grande, estimado en 19 billones de dólares.

# Capacidades productivas de instalaciones robóticas en la "industria en general"

Cuando se compara la distribución de robot industriales multipropósito en varios países, el stock del total de unidades no nos brinda un bien indicador. Ya que se debe considerar las diferencias en cuanto al tamaño de la industrialización de ese país. Por lo que es preferible medir la densidad de robots en un país. Una medida es el número de robot multipropósito por cada 100.000 personas empleadas en la industria de manufactura, en la industria automotriz o en los otros rubros.

Siguiendo los cálculos de IFR, en Japón hay una alta densidad de robot en la industria. Pero es importante destacar que primordialmente se destacan los robots para la industria electrónica. En Alemania, Korea, Suecia y Finlandia la densidad en la industria es considerable y tiene vistas a incrementarse. Teniendo en cuenta el tamaño del país y su industria, los países con más robótica aplicada a su industria son, USA, Canada, Korea, Brasil, la mayoría de los países asiáticos y principalmente China. En la electrónica y la producción alimenticia, la tendencia de la automatización ha aumentado. Russia e India son países con un gran potencial de automatización de su industria. La demanda de alta calidad y productividad está aumentando que facilita generar más valor agregado para los países del este de Europa y del sudeste Asiático.

La densidad de robots en la industria de manufactura en el mundo se encuentra entre el 50 al 100 en algunos países. Si se deseara incrementar esta densidad a 200, se deberán vender entre 1,2 a 1,5 millones de robots.

# Baja en las ventas de robots durante 2009 – Recuperación durante el período 2010 - 2012

La consecuencia de la crisis financiera mundial afectó a la industria de robots. En 2009 las ventas subirán un 40% si la economía se recupera en este mismo año.

Pero si las inversiones en el área de automatización se mantienen estáticas hasta 2010, la situación se va a complicar aúm más.

La recuperación de la economía mundial, está estipulada que sea lenta y a largo plazo. Aunque tomará años poder llegar a los altos niveles de producción logrados en 2005, 2007 y 2008.

La tendencia actual de la manufactura, se puede resumir en una idea, "Automatización libre de contaminación". Los factores fundamentales en todas las industrias serán la eficiencia energética, la reducción de las emisiones de dióxido de carbono y el manejo de la calidad de los productos fabricados. Luego de la evidente caída en las ventas en el 2009, se presume un aumento en la producción durante 2010 al 2012 de un 15% cada año en todas las regiones. En Norteamérica, las ventas se incrementarán un 47% en 2009. En Asia y Australia serán de un 40% y en Europa un 36%.

La disminución de la demanda en Europa no es tan acentuada como en Norteamérica o en Asia, ya que en Europa existen otras industrias aparte de la automotriz que juegan un rol más importante en el mercado. La industria de la comida, las medicinas, las celdas solares y la metalúrgica no son tan afectadas por la crisis económica como lo fue la industria automotriz.

Se espera que el stock de robot industriales se incrementará desde 1.036.000 unidades finalizando el 2008 a una cantidad de 1.057.000 a fines de 2011. Esto representa un crecimiento anual de menos de 1%. La baja en la demanda durante el periodo de 2009 sumado a una recuperación lenta del mercado, genera este pronóstico. En los mercados tradicionales, el stock se mantendrá o disminuirá, mientra que en los mercados emergentes, aumentará considerablemente.

#### Desarrollo

## Primera etapa.

La máquina, logra controlar el movimiento en forma tridimensional, de una fresadora o aqujereadora por medio de una PC. Permite al alumno familiarizarse con el control numérico y posicionarse en el espacio 3D, los motores paso a paso, los protocolos industriales de comunicación, además de brindarle experiencia en el armado del dispositivo mecánico. Esta mesa posee tres grados de libertad que permiten el movimiento controlado de un torno tipo Dremel o cualquier otra herramienta similar. En cada grado de libertad actúa un motor paso a paso que, por medio de tornillos sinfines, transmite un movimiento lineal a cada eje. La información de avance y dirección de los motores, es proporcionada por una interfaz que adapta los datos provenientes de la PC a través del puerto paralelo. Esta interfaz es capaz de manejar hasta cuatro motores, fines de carrera, botón de parada de emergencia, control de encendido de la herramienta, aspiradora y un inyector de líquido refrigerante. El software de control numérico utilizado es el MACH3, el cual interpreta G-CODE y envía los comandos a la interfaz. Posee diversas utilidades para grabar letras o fresar en 3 dimensiones. El MACH3 posee un entorno gráfico completo, facilidades de ajuste y calibración. Se puede, entre otras aplicaciones, mover la fresa en forma manual con el teclado o por medio de un joystick genérico. Mostrar la posición de la fresa en video por medio de una Webcam. Sus capacidades son prácticamente ilimitadas ya que el usuario puede programar nuevas funciones. Se presenta el grabado del logotipo de la UCA sobre un plato de madera realizado con este desarrollo.

#### Introducción

A partir de los años setenta, y gracias al desarrollo de la electrónica de potencia, se consigue la introducción de los sistemas de control a las máquinas herramientas tradicionales logrando actualmente altas precisiones y repetitividad. Se trata de un antes y un después en los sistemas de control de las máquinas, hecho que permitió liberar al operario de las tareas rutinarias por la automatización.

El avance de la tecnología, junto con la informática, dotan a estos sistemas servo-mecánicos de un sinnúmero de posibilidades.

Este proyecto hace realidad el posicionamiento de un portaherramientas al que, en esta aplicación particular, se le adiciona un minitorno dotado de una fresa para hacer un mecanizado de profundidad, en cualquier punto del espacio tridimensional limitado por las dimensiones de la mesa sobre el bastidor de la máquina.

Se parte de la asignación de un movimiento lineal controlado por la rotación de un motor, es decir, se toma el paso de un tornillo sinfín directamente conectado a un motor de características particulares para lograr el posicionamiento en cada uno de los ejes coordenados de dicha mesa. Este motor, conocido como "paso a paso" tiene la capacidad de variar su posición angular de rotación en forma proporcional a un tren de pulsos, cuyo control se logra por medio de una electrónica diseñada para tal fin. Esta electrónica dedicada se denomina unidad driver impulsora. A su vez, una computadora mediante un software interprete (MACH3) y un protocolo de comunicación (MODBUS) permite enviar, desde la computadora, la secuencia lógica hacia las unidades drivers impulsoras de cada motor.

De este modo, cualquier diseño realizado en un programa de dibujo asistido por computadora, por complejo que éste sea, puede ser mecanizado sobre la superficie de la mesa.

Son múltiples las aplicaciones de este sistema. En este caso se logró reproducir el logotipo de la universidad sobre madera con toda la riqueza de detalles y relieve deseado.

Se trata de un sistema abierto con variadas aplicaciones, didáctico, muy sencillo de implementar y expandir, de bajo costo, versátil, flexible, robusto, de fácil mantenimiento debido a su reducido número de piezas.

## **Objetivos**

Los objetivos generales de este proyecto son:

-que el alumno integre conocimientos de mecánica, electrónica y software de programación para lograr un dispositivo automático de mecanizado asistido por computadora,

-que sea capaz de identificar los principales problemas que suelen aparecer en las implementación de dispositivos de esta naturaleza,

-que se familiarice con el control de motores paso a paso y con las interfaces necesarias de hardware y software para resolver el funcionamiento del dispositivo,

-que adquiera experiencia en la redacción de informes técnicos.

#### DESARROLLO DEL TRABAJO

A continuación se detallan las fases del presente desarrollo a saber:



Figura 3. Bastidor de la mesa XYZ.

#### Estructura mecánica

Para obtener un prototipo robusto se utilizaron perfiles de hierro de medidas comerciales. Los mismos fueron soldados para conseguir la rigidez necesaria del bastidor.

Como muestra la figura 3, el cuadro que forma el bastidor está hecho con perfiles huecos rectangulares de 1/2" x 3/4" x 1/8" de espesor. El mismo se ensambló de forma conveniente tomando como precaución el mantener en escuadra las intersecciones para lograr el perfecto paralelismo del movimiento. De esta forma se garantiza un deslizamiento suave sin discontinuidades.

Sobre el bastidor se montan todos los mecanismos que permiten el deslizamiento lineal del portaherramientas. Cada movimiento lineal es realizado por un tornillo sinfín montado sobre bujes para minimizar el rozamiento.

La razón por la cual los tornillos deben estar perfectamente paralelos es asegurar, tal como lo hacen los tableros de dibujo técnico, además de un desplazamiento continuo, la perpendicularidad respecto al siguiente eje.

La estructura mecánica se puede dividir, en cuanto a su funcionalidad, en tres movimientos:

#### Movimiento lineal a lo largo del eje X.

Para realizar el movimiento lineal sobre el eje denominado X se buscó un mecanismo capaz de lograr una buena precisión con la fuerza necesaria para poder soportar a los componentes que utilizan el eje Y y el Z. Para ello se usaron tornillos sinfines y de paso milimétrico, de longitud igual al desplazamiento máximo deseado, separados lo suficiente entre si, como para ubicar entre ellos la pieza a mecanizar. Estos tornillos mueven un arco sobre el bastidor que rodea a la pieza actuando, simultáneamente, de guía y transmisores de la fuerza requerida para el proceso de mecanizado deseado.

A continuación se realiza una breve descripción de la cadena cinemática:

A partir de un motor paso a paso, se transmite el movimiento por medio de una cadena de transmisión a un conjunto de engranajes. Esta relación de transmisión provee el torque necesario, para darle movimiento sincrónico a los dos tornillos. La estructura en forma de arco está hecha con perfiles de hierro rectangulares de ½" x ¾" y ½" de espesor, a la que se le practicó dos agujeros roscados, pasantes, en sus extremos inferiores para la sujeción de las tuercas por donde se desplazarán los tornillos sinfines.

Este movimiento está protegido por sensores limitadores de carrera para evitar desgastes prematuros y roturas en caso de exceder el rango máximo. Posee, además, un indicador de posición "0" que permite el ajuste automático de su posición inicial.

#### Movimiento lineal a lo largo del eje Y

Este movimiento se realiza a lo largo del arco mencionado en el punto anterior, utilizando el mismo principio. Con otro motor paso a paso, con otros piñones y cadenas que se encargan de girar otros dos tornillos sinfines separados entre sí una distancia predeterminada.

Estos tornillos mueven a una estructura en forma de arco más pequeña, que aloja al portaherramientas (eje Z). Al igual que el eje anterior cuenta igualmente con todos los sistemas de protección mencionados y el indicador de posición inicial.

#### Movimiento lineal a lo largo del eje Z

Este movimiento se realiza en el arco movido por el eje Y. Un carro adaptador permite insertar la herramienta que se desea utilizar .Este portaherramientas está enteramente hecho con varillas de hierro y permite ajustar firmemente diversas herramientas, disponiendo de distintas formas de sujeción por ejemplo un orificio con diámetro igual al de la rosca que posee el minitorno.

El motor paso a paso, los piñones y la cadena metálica son los encargados de girar los dos tornillos milimétricos separados entre sí 10 cm, para mover al portaherramientas dependiendo de la ejecución de la rutina.

El portaherramientas permite el ajuste manual de la altura inicial para poder trabajar con distintas fresas, brocas u otros accesorios como estiletes y/o punteras de dibujo los cuales, al ser de distinto tamaño, necesitan estar ubicados a alturas diferentes para su operación.

Este eje también está protegido de no superar accidentalmente el rango máximo de movimiento a través de sensores. Y puede ser posicionado automá3.1.4 ticamente a su posición inicial.

#### Motores paso a paso

El motor paso a paso, como ya fue mencionado, se mueve digitalmente, o sea, un ángulo proporcional a los pulsos recibidos. Tienen muchas aplicaciones en equipos automáticos electrónicos. Existen de diferentes tamaños y prestaciones. La figura 4 muestra la imagen del motor y su circuito equivalente utilizado en este trabajo.

El motor utilizado para este tipo de proyecto debe ser de suficiente torque (Nm). En efecto, está obligado a mover la estructura de manera eficiente y precisa, ya que, el mínimo frenado implicaría un error en el posicionamiento de la herramienta.

Para este proyecto se utilizaron motores de la marca MOTIONKING modelo 23HS6403. Los cuales son bipolares de 200 pasos (360°/200 = 1.8°). Cabe destacar que para el funcionamiento de los mismos se necesita utilizar un circuito especial para alimentar sus polos de manera sincronizada, con la debida potencia, para que el mismo funcione bajo su torque nominal.

La figura 5 muestra cómo varía el torque del motor en función de la frecuencia (Hz) a medida que se aumenta la velocidad del mismo.

El usuario puede moverlo a velocidad variable o colocarlo en una posición fija.

El motor se encarga del posicionamiento de la herramienta. Cuando se produce el mecanizado sobre la pieza, el avance prefijado corresponde a 750 rpm, con un

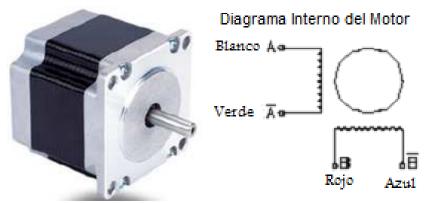


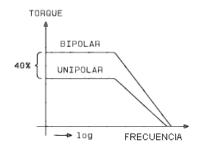
Figura 4. Imagen externa del motor paso a paso utilizado y su circuito equivalente.

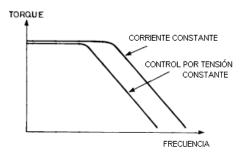
torque de 0.60 Nm. Al mover el tornillo sinfín, en este caso de  $\emptyset$  8 mm, produce una velocidad lineal máxima de  $3x10^{-3}$  m/s.

#### Parte Electrónica

#### Drivers de los motores paso a paso

En este desarrollo se priorizó utilizar circuitos integrados simples de extensa aplicación y de fácil obtención en el mercado ante cualquier necesidad de reposición. Las plaquetas de control utilizadas son cuatro. Tres unidades drivers similares, encargadas de energizar cada una los motores paso a paso y una utilizada como interfaz a la PC, por puerto paralelo.





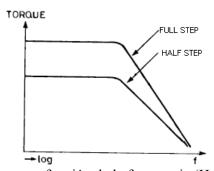


Figura 5. Curva del torque en función de la frecuencia (Hz). Hoja técnica de SGS-THOMPSON.

# Plaquetas drivers

Estas plaquetas son las encargadas de energizar a los motores paso a paso. Se utilizan dos integrados de SGS-THOMPSON: el L297 y el L298, que fueron concebidos para el uso de motores paso a paso. La configuración utilizada, la cual está recomendada en la hoja de datos del circuito integrado, se conoce como bipolar

(push-pull) y tiene más rendimiento y más torque que la unipolar. Esto se explica porque en la unipolar la corriente circula por las bobinas en un solo sentido y éstas atraen alternativamente al rotor. En cambio, en la bipolar se hace circular la corriente en un sentido en una bobina y en sentido contrario en la otra. En consecuencia, una bobina atrae el rotor y la otra lo repele al mismo tiempo, con lo cual se duplica el torque. Para poder invertir la polaridad de las bobinas se debe usar un "puente H" el cual es una etapa de potencia que permite, a partir de una secuencia lógica en sus entradas, circular la corriente en un sentido y luego en sentido opuesto.



Figura 6. Imagen del driver para el motor paso a paso en configuración bipolar.

Este tipo de motores requieren alimentar sus bobinas siguiendo una secuencia predeterminada. La secuencia que genera el integrado L297 para hacer girar los motores es la que se presenta en la tabla 1.

Tabla 1.Secuencia aplicada a los terminales de las bobinas del motor paso a paso con configuración bipolar en modo de paso FULL.

aso	Terminales			
	V	V	V	٧
	V	V	V	٧
	V	V	V	٧
	V	V	V	٧

Además, se ofrece un control preciso de corriente aplicada a los motores, por medio de PWM (modulación por ancho de pulsos, técnica empleada en las fuentes switching). También cuenta con una serie de controles auxiliares que permiten activar o desactivar los motores, bloquearlos, moverlos a diferentes pasos, cambiar su sentido de giro y sincronizarlos con otro circuito similar.

Esta plaqueta posee entradas digitales, el "1" lógico equivale a un flanco positivo de 5V y el "0" lógico a 0V de fuente:

CW/CWW: Si está en "1", el integrado genera una secuencia de pulsos que mueven el eje en sentido de las agujas del reloj, si está en "0", mueve el eje en sentido contrario.

CLOCK: A medida que se le aplique a esta entrada una serie de pulsos controlados, el motor se desplazará con mayor o menor velocidad dependiendo del período del tren de pulsos. Si no se le aplica ningún pulso a esta entrada, el motor se mantendrá fijo en una posición determinada.

HALF/FULL: Si está en "1", el integrado opera en modo de paso HALF, el cual provee mayor precisión con menor torque. Si está en "0" el integrado trabaja en modo de paso FULL, la cual provee el mayor torque a bajas velocidades ya que los dos bobinados están siempre energizados.

RESET: se activa con un "0" lógico para reiniciar el controlador del driver eliminando cualquier estado previo.

ENABLE: esta entrada permite desactivar al motor esta entrada se le coloca con un "0" lógico.

VREF: Es utilizado por el modulador por ancho de pulso para calibrar la corriente máxima que se desea aplicar al motor paso a paso. Este control es necesario para adaptar la plaqueta a los diferentes modelos de actuadores a fin de no superar su corriente de operación. Para este proyecto la corriente fue calibrada para 2 A de consumo máximo.

Las entradas y salidas CONTROL, SYNC y HOME, no fueron utilizadas en este proyecto.

En la figura 7 se muestra el circuito del driver proporcionado por SGS-THOMPSON en su hoja de aplicaciones:

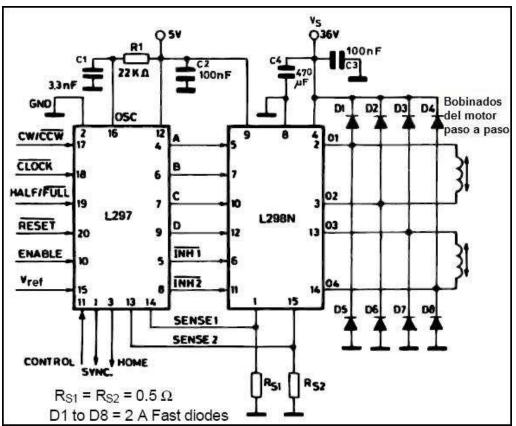


Figura 7. Circuito interno del driver para el motor paso a paso en configuración bipolar. Ver hoja de datos de SGS-Thompson.

#### Interfaz PC por puerto paralelo

La interfaz se encarga de recibir la información proveniente de la PC y adaptarla para ser interpretada por los drivers, los fines de carrera, los interruptores de encendido de la herramienta, y accesorios como una posible aspiradora y un inyector de líquido refrigerante de corte.

Esta interfaz es de fácil implementación y rápida reparación. Está provista de un microcontrolador para el apagado automático de los motores cuando éstos se encuentran inactivos durante largo tiempo a fin de economizar energía.

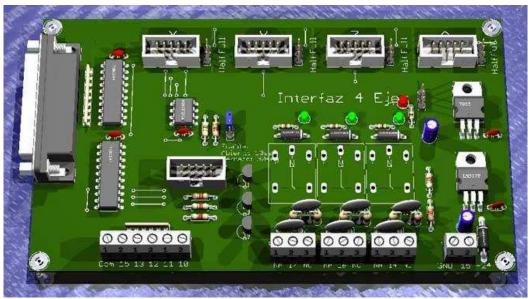


Figura 8. Imagen en 3 dimensiones de la interfaz por puerto paralelo.

Esta interfaz utiliza varios circuitos integrados de la familia 74HC244N fabricados por Philips para la adaptación de los niveles de la señal a TTL (5 V). Nivel de tensión necesario para ser transmitida y recibida por el puerto paralelo.

Luego de la etapa de adaptación de nivel, se envía la información de dirección y el clock a cada uno de los drivers. Se extrae la información necesaria para activar los relés de comando de la herramienta, la aspiradora y el inyector de líquido refrigerante. Por último se sensa los estados de los fines de carrera, los indicadores de posición "0" y "stop de emergencia".

La interfaz está provista de un pequeño microprocesador a fin de apagar los motores cuando no reciben ningún comando durante un segundo:

# MAIN bcf STATUS,RP0 bsf INTCON,GIE; habilito las interrupciones btfsc GPIO,5 goto ENABLE\_1\_seg end

En este extracto de la rutina se puede apreciar que la tarea del microprocesador es estar constantemente sensando los datos de entrada para encender los motores. Esto es de gran utilidad ya que si se energizan los motores cuando estar quietos, al no tener una fuerza electromotriz que disminuya el flujo en sus bobinas, se empiezan a calentar ocasionando una pérdida de energía eléctrica innecesaria.

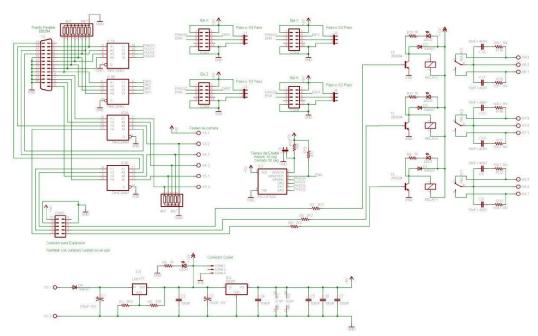


Figura 9. Esquemático del circuito interno de la interfaz.

#### Interfaz MODBUS por puerto USB

Esta interfaz se encuentra en proceso de desarrollo, la misma utiliza un microcontrolador PIC18F4550 para implementar una transmisión serie (RS-232) emulada a través del puerto USB.

Esta plaqueta es encargada de comunicarse con la PC por medio de una conexión USB bajo el protocolo MODBUS ASCII que envía tramas con control de errores, manejo de entradas analógicas, y salidas digitales de diferente tipo.

El software del microprocesador se encargará de emular el puerto serie y trabajar con las tramas MODBUS ASCII para implementar una interfaz directa entre la PC y la interfaz de puerto paralelo a través de una conexión USB.

Cabe destacar que este protocolo, conjuntamente con el RS485, son los más difundidos en el mercado. Permite, por ejemplo, que esta máquina pueda ser conectada a diferentes aplicaciones sin mucho esfuerzo o incluso conectarse a un Controlador Lógico Programable (PLC), para ser utilizado en industrias como una herramienta más de una línea de producción.

#### Software

#### El programa de procesamiento

El programa MACH3 es el "cerebro" de la máquina, encargado del procesamiento de toda la información necesaria para el movimiento controlado de los ejes y el accionamiento preciso de la herramienta.

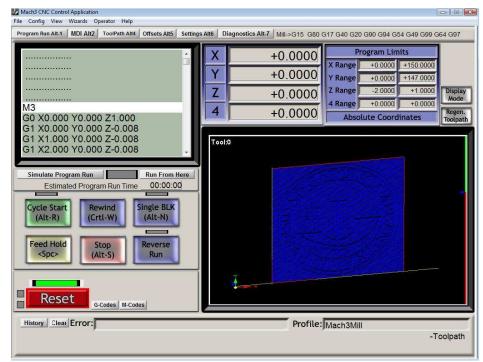


Figura 10. Pantalla del Programa MACH3 con la rutina del grabado del logotipo de la UCA sobre un plato de madera, lista para ejecutarla.

Una pantalla del programa listo para ejecutar el trabajo de fresado del logotipo de la UCA se muestra en la figura 10:

Este es un programa de origen estadounidense, muy versátil, ampliamente difundido mundialmente. Posee gran cantidad de tutoriales lo cual facilita un aprendizaje muy detallado de sus partes funcionales. Se puede utilizar una versión de prueba, o comprar la versión completa que no posee limitaciones en cuando al tamaño del trabajo.

Este entorno de trabajo permite programar pequeñas rutinas, agregarle botones y mejorar la interfaz gráfica. Abre un mundo de posibilidades para aprender sobre control numérico computarizado (CNC). Por otra parte, su utilización es muy sencilla. Permite la operación automática de la máquina, seguir una rutina -la cual puede ser programada en G-CODE-,utilizar un archivo en AutoCAD o una imagen de mapa de bit para generar el código G-CODE que luego ejecutará el programa. Posee grandes facilidades de ajuste y calibración, que lo hacen ideal para contrarrestar problemas de compatibilidad respecto a diferentes diseños de estructuras mecánicas. A su vez, es muy adaptable a diferentes interfaces, ya sea paralela, serie, USB o Ethernet.

Es decir, cualquier persona interesada en control numérico encontrará en este programa una valiosa herramienta de aprendizaje. Al utilizar un programa muy popular en el mercado es posible implementar plugins u interfaces de manera estable y con la capacidad de producir un producto con mucho valor agregado con amplia cadena de distribución de manera mundial.

El procedimiento para ejecutar el programa se puede detallar con la siguiente imagen:

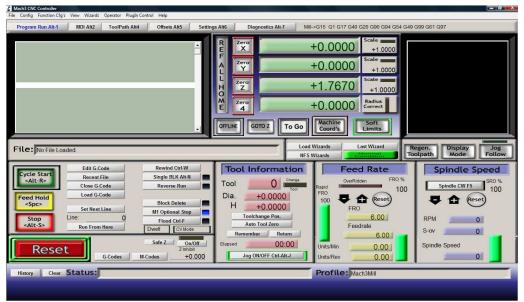


Figura 11. Pantalla de inicio del Programa.

Al iniciar el programa se debe configurar convenientemente la interfaz de salida, que en este caso será paralelo. Luego es posible cargar una rutina de fresado, como así también utilizar alguno de los Wizards para realizar grabados de manera intuitiva. Una vez cargado el programa, es posible iniciar el ciclo donde automáticamente, la trayectoria a seguir será representada en tres dimensiones en la pantalla. Luego habilitando la máquina al ciclear en el reset, se puede iniciar el ciclo de trabajo, donde automáticamente el programa envía la información a través del puerto paralelo a la interfaz que maneja a los drivers de los motores.

### El código de programación de control numérico

Los G-CODES son códigos para posicionar la herramienta y hacer el trabajo necesario.

El código le indica a la máquina qué acción debe realizar: A saber:

Movimientos rápidos.

Movimiento controlado en forma lineal o curva.

Serie de movimientos controlados para formar un corte de una pieza.

Setear valores de offset de la máquina.

A fin de clarificar los conceptos, se detalla el código generado partir de un diseño en AutoCAD, para dibujar un cuadrado con la máquina de control numérico utilizando como herramienta una puntera de dibujo técnico:

(File cuadradocnc)

(Thursday, May 15, 2008)

G90G80G49; seteo de configuraciones

G0 Z5.0000; Posicionamiento rápido

G90.1; seteo de configuraciones

S1000; seteo de configuraciones

G0 Z1.0000; Posicionamiento rápido

G0 X0.0000 Y0.0000; Posicionamiento rápido

M3; giro de herramienta en sentido de agujas del reloj

F50; Ajuste de la velocidad de la rutina

G1 Z0.0000; Interpolación lineal (escritura)

F50; Ajuste de la velocidad de la rutina

G1 X40.0000 Y0.0000; Interpolación lineal

G1 X40.0000 Y40.0000; Interpolación lineal

G1 X0.0000 Y40.0000; Interpolación lineal

G1 X0.0000 Y0.0000; Interpolación lineal

M5; Parar la herramienta

G0 Z5.0000 : Posicionamiento rápido

G0 X0 Y0; Posicionamiento rápido

M5; Parar la herramienta

M30; Fin de programa

# Conclusiones de la primera etapa

En la figura 12 se puede observar el prototipo terminado cuando estaba finalizando el trabajo de grabado del logotipo de la Pontificia Universidad Católica Argentina. Para más información actualizada y videos demostrativos dirigirse a la dirección: http://www.gval.com.ar/modules.php?name=Content&pa=showpage&pid=14

El resultado pone en evidencia que el alumno logró integrar y hacer funcionar perfectamente los motores paso a paso con el hardware de control y el software de operación del mismo, además de superar todos los problemas inherentes a holguras y ruidos eléctricos. En consecuencia se considera que el alumno cumplió, acabadamente, los objetivos propuestos en este desarrollo.

Cabe destacar que, si se reemplaza en el portaherramientas el accesorio (minitorno), utilizado en este trabajo por un láser de baja potencia, este dispositivo se transforma en un plotter de corte (pantógrafo láser).

En cuanto a las aplicaciones existen un sin fin de accesorios capaces de ser utilizados en este proyecto e incluso el usuario puede crear su propia consola de comando y luego conectarla al sistema mediante MODBUS

Entre sus posibles expansiones es posible utilizar una webcam para observar de manera directa el trabajo que va realizando la máquina, minimizando el riesgo de accidentes que ocasionaría acercarse a una máquina en plena operación. En caso que sea necesario, es posible manejar manualmente la herramienta mediante un joystick genérico para desplazarla. Si se desea, se podría implementar el uso de tecnologías como las de "touchscreen" que son las pantallas táctiles para el comando de las funciones del programa, e incluso, utilizar la máquina de texto a voz del sistema operativo Windows para que responda a través de los parlantes de la PC a los diferentes estados del proceso o fallas durante la ejecución de las rutinas.

Gracias a los avances en la tecnología del software ahora es posible realizar rápidamente diseños de maquetas de piezas y planos. Utilizando este sistema, es posible materializar esos diseños de manera precisa y económica. Ya que convierte

directamente un archivo de diseño CAD en sentencias G-CODE las cuales interpreta y ejecuta sin problemas.

Por el rápido avance en la miniaturización de la electrónica. Cualquier interesado en adentrarse al mundo de la electrónica encuentra una gran desventaja al tratar de realizar prototipos prolijos a bajo costo de manera rápida y sencilla. Utilizando un programa de diseño de plaquetas como el Eagle, se puede realizar un diseño rápido de la plaqueta utilizando el dispositivo desarrollado. Luego, mediante el agregado de complementos en este programa, se genera un programa en G-CODE, el cual es interpretado y ejecutado por la máquina XYZ, para realizar desde las perforaciones de la plaqueta hasta las pistas de cobre.

Este proyecto permite la fabricación en serie de celdas de combustible desde el mecanizado de los electrodos hasta la deposición del catalizador en las costosas membranas de intercambio iónico, lo cual abarata su costo y mejora notablemente el rendimiento energético de las mismas.

La máquina fué probada bajo diferentes métodos para lograr depositar el catalizador necesario para sus membranas, con resultados muy prometedores.

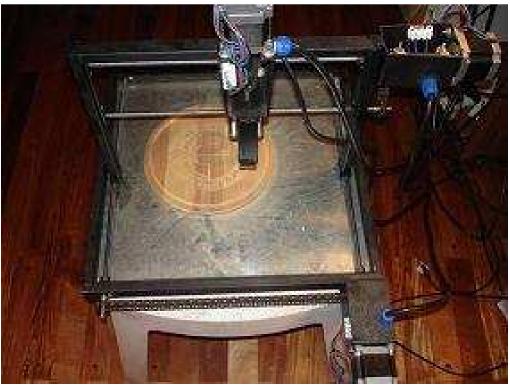


Figura 12. Imagen de la máquina ejecutando la rutina que graba el logotipo de la UCA en un plato de madera.

# **ANÁLISIS DE CASOS Y EJEMPLOS**

Esta máquina tuvo grandes aplicaciones en grabados en materiales desde maderas hasta vidrios. Entre los rasgos más distintivos, se puede enunciar la capacidad de que a partir de un esquemático realizado con un programa de diseño de plaquetas, es posible extraer las coordenadas de los agujeros para que el robot

cartesiano, al fijarle una agujereadota pueda perforar automáticamente una plaqueta como se muestra en la figura a continuación:



Figura 13. Simulación de realización de los agujeros en una plaqueta de pertinax utilizando la máquina de control numérico.

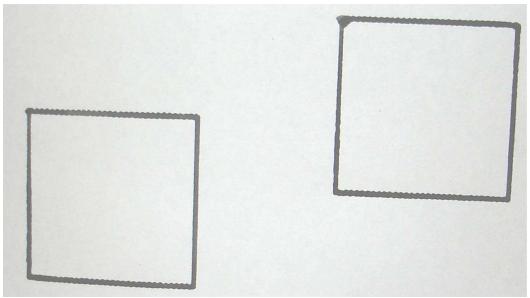


Figura 14. Demostración de deposición por control numérico computarizado de pintura especial para pintado del catalizador sobre las membranas de intercambio iónico.

#### Proyecto Máquina de Fresado XYZ por Control Numérico Computarizado Val, Cristian G.1, Vecchio, Ricardo<sup>1</sup> Miralles, Mónica T. 1 <sup>1</sup> Fac. de Ciencias Fiscomatemáticas e Ingeniería, Universidad Católica Argentina " Santa María de los Buenos Aires" (UCA) ESTRUCTURA MECANICA PROPOSITO ELECTRONICA DE CONTROL Desarrollar was heraunients que permits el control de un terme tipo Danuel con el objetivo de permitri realiera mecanizado de pieses de munam automatica mediante diseño acirtido por computadora. encode ante contiguer messalad de reprocesso. Los prinques er sentral intimadas son unamo. Tres intulados dese FUNDAMENTO El dispositivo permite moverse en tes direcciones El software de control interprets G-Code y entra los comandos a la interfas. Esta interfas es capas de manejar hasta cuato motons, fines de canera, boton de parada de emergencia, control de encendido de la lemmananta, an poder ercent Superimital de las bolentas se debe usar u aspiradora y un inyector de liquido refrigerante. Se puede, entre otas aplicaciones, mover la fiesa en forma manuel quite H<sup>a</sup> el appi es la ma expende perfenda que permite, la ma de una secular da instala en sus antesdas, consider la con el techdo o por medio de un joyetich generico Mostrar la posicion de la fiesa en video por medio de vua FIG 1 Bastilor de la mesa XYZ Para obtener un prototipo robusto se utilizaron. perfiles de lúsico de medidas estandar (1/2" \pi 3/4" \pi 1/5"), soldados electricamente para formar el bastidor (figua 1). El control de la escuadra durante el annado del bartilor es claus para guantisar un deslisamento suaus y sin discontinuidades FIG. 4 Simulación de realisación de los agrijeros e folge of bastilor se montan todos les mecanismos mo 34ACHH con la que penniten el deshianniente lineal del pertahentamientes El movimiente encada una de las tes una plaqueta de pertinan utilizando la maquina d control nomerico direcciones es realisado por un tornallo sináin montado sobre lugas para minamistar el rosamiento. Los tornallos Interfaz PC por puerto paralelo Eu intentar se encompade ecolosi lum formación enos entente de la PC y adquitatamen per entenentialapar la SOFTWARE de ben mantenerse perfectumente parale les entre si para le grar la perpendiculurabad ne pec te al siguiente eje . El dispositivo esta controlado mediante el program. Mach I, al que se le realizaren pequetés adaptaciones para el proposito de mustro desanollo. Este software y consumination production and consumer. Assignment of con-cion implementation is project representation foliationer solutions in annumentation prior el propositi information the in-motion made de los secretaristics in antimos diministri traps foreign in fin-cesaministic impressa faita estrator distinguishments open foreign and experimentation in the constitution of the constitution of the con-traction of the constitution of the constitution of the con-traction of the constitution of the constitution of the con-traction of the constitution of the constitution of the con-traction of the con-traction of the constitution of the con-traction of the conse encarga de procesar la información necesaria para el movimento controlado de los ejes y el accionamento preciso de la hemanienta MACH) es un programa con alaptacum de locatores de locate a TTI, (5 V). Lugo de la sego de alaptación describi se arrio la información de locación y el ciole a culturan de disolercio Se estica la información mossima para cartes las estes de conservir de la passes se as increments met. In es un propone con una aphicación blue hintada, may tensatil de facil manejo y ampliamente difundido. Posse gancantidad de curemas de tutura que facilitan en aposalizaje y acceder a les peridididades del control numeriro computarizado manuarum messara pan azzera un escesso omnano de al ternamento, o separadore y la nyunta de liquido achigocami Por ullimo sessara las ottabos de las Sans-de camen, Au nabadores depassador "F") "Son de emergencia" Pennite la operación automatica de la maqui seguir una rutina -la cual puede ser programada en G-CODE-, utilisar un archivo en AutoCAD o una imagen de mapa de lai para generar el celtigo G-COHE que ha pe especialista el programa. Pesse ganales facilidades de ajust y calibración, que le hacan alcal para contrarios ha problemas de compatibilidad nespecto a APLICACIONES Esta maquina prode ser emplanda para malinación de plaquetas de cincuito impreso, galendos, o faluización de piesas. Permite realizar dibujos con diferentes diseiles de estrumpas mecanicas. A su vez, es muy adapable a diferentes interfaces, ya sea paralela, CONCLUSIONES un accesorio del estilo de les pundes de estilografos serie. U.Bo Ethernet. o bien depositar catalizador en una membrana Para más información actralisada y videos PEM de manera pro granada demostrativos diniguse a la dinección: http://www.goal.com.arino.dub/ php/hame=Combad Creamin manage Created. Este describe fre may formative para que el abunno integra y la ga fruciona perfectamente les motors pare a pare con el laid sare de control y el software de operación del mismo, además de superar todos los problemas mismentes a helguas y milos

Figura 15. Póster elaborado para el congreso de ingeniería CAEDI que se encuentra en exposición en el laboratorio de Electrónica y Comunicaciones de la UCA..

## Segunda etapa del proyecto

En la segunda parte de este trabajo se buscó realizar una estructura más robusta. Con la capacidad de utilizar porta cables para evitar el atascamiento y deterioro prematuro de los mismos. Se agregaron fines de carrera ópticos e indicadores de posición inicial, a fin de facilitar su uso y estar prevenido ante posibles fallas de programación que puedan llegar a forzar el funcionamiento de los motores. Se buscó una interfaz capaz de manejar la máquina a través de otro medio alternativo al puerto paralelo. Se agregó la capacidad de disponer de un display inteligente para indicar sobre posibles fallas en el funcionamiento del equipo. Además se aumentó considerablemente el área de trabajo a fin de aumentar la capacidad operativa del proyecto.

En esta nueva etapa se hizo una estructura comparable en prestaciones al robot cartesiano de la marca EPSON, que se muestra en la figura 16, pero a un costo abismalmente menor.



Figura 16. Robot cartesiano Japonés capaz de desplazarse en los tres ejes con portacables y estructura reforzada.

# Estructura mecánica

Para obtener un prototipo más robusto se empleó perfiles de aluminio con guías lineales Japonesas de la marca NSK, lo cual fue un gran salto en cuanto a la capacidad y calidad de los trabajos que la máquina puede realizar.

Esta guía que se muestra en la Figura 17, fueron importadas directamente desde Estados Unidos, a fin de lograr una buena relación entre el precio y su calidad. Las características más importantes, son que están construídas enteramente en acero inoxidable, se desplaza a través de bolillas de acero bajo la misma metodología que emplean los rulemanes tradicionales, lo cual permite una alta eficiencia de los motores ya que disminuye el rozamiento de los ejes.



Figura 17. Guías lineales NSK.

Como muestra la figura 18, el perfil de aluminio que recubre al mecanismo de traslación se encuentra torneado a fin de proteger a las guías del deterioro prematuro por polvo o viruta. Dentro de los perfiles se encuentran las guías cortadas convenientemente a la distancia necesaria para permitir el movimiento en toda su extensión. El mismo se ensambló de forma conveniente tomando como precaución el mantener en escuadra las intersecciones para lograr el perfecto paralelismo del movimiento. De esta forma se garantiza un deslizamiento suave sin discontinuidades.

Para la transmisión del movimiento se colocó un motor paso a paso con una cupla hecha con una manguera fijada a un tornillo sin fin para desmultiplicar el movimiento y así tener una mayor precisión en el posicionamiento.

En el mismo eje se colocaron los fines de carrera ocultos dentro de la misma estructura y ópticos a fin de asegurarse una mayor vida útil de la estructura. La estructura al ser de aluminio, posibilita la disipación del calor generado por los motores cuando los mismos se encuentran en plena actividad.

El patín se coloca sobre el riel de acero inoxidable y se fija sobre él una placa de hierro que sirve para sostener la estructura que desea mover. Sobre esta misma placa, se coloca un buje de bronce, que se enrosca o se desenrosca dependiendo del movimiento del tornillo sin fin. Se optó por bronce, como elemento más blando que el tornillo sin fin de acero inoxidable para que no desgaste prematuramente los filetes del mismo.

En la figura 18 se puede apreciar la estructura interna del Eje Z que es similar a la que se encuentra en los ejes X e Y.

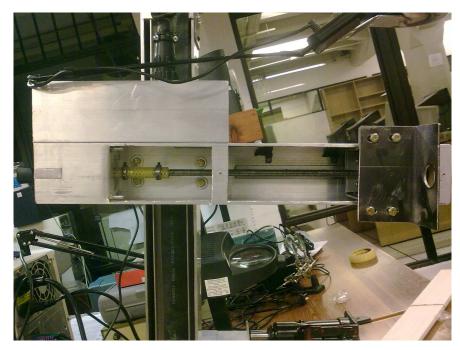


Figura 18. Estructura interna de cada uno de los ejes.

La estructura mecánica se puede dividir, en cuanto a su funcionalidad, en tres movimientos:

## Movimiento lineal a lo largo del eje X.

Para realizar el movimiento lineal sobre el eje denominado X se buscó un mecanismo capaz de lograr una buena precisión con la fuerza necesaria para poder soportar a los componentes que utilizan el eje Y y el Z. Para ello se usaron tornillos sinfines y de paso milimétrico, de longitud igual al desplazamiento máximo deseado. Al ser el eje X el que debía sustentar la mayor carga mecánica, se colocaron doble patines y una plancha de hierro para prevenir la torsión de la estructura de aluminio y como medio de acople a los cricket botella que sirven para nivelar al eje X.

A continuación se realiza una breve descripción de la cadena cinemática:

A partir de un motor paso a paso, se transmite el movimiento a un tornillo sin fin a través de una cupla motora a un carrito que está sujeto al eje que se desea mover. Este movimiento está protegido por sensores limitadores de carrera para evitar desgastes prematuros y roturas en caso de exceder el rango máximo. Posee, además, un indicador óptico de posición "0" que permite el ajuste automático de su posición inicial y una interfaz para alimentar al emisor y acondicionar la señal de salida del detector infrarrojo.

# Movimiento lineal a lo largo del eje Y

Este movimiento se realiza verticalmente, para facilitar la sujeción del eje Z., utilizando el mismo principio que el eje X. Con otro motor paso a paso, otra guía lineal y tornillo sin fin se encargan de girar dentro de un buje de bronce que a su vez se encuentra sujeto al eje Z con muy poco rozamiento debido a las guías lineales. Al igual que el eje anterior cuenta igualmente con todos los sistemas de protección mencionados y el indicador de posición inicial.



Figura 19. Estructura mecánica con los tres ejes ensamblados.

#### Movimiento lineal a lo largo del eje Z

Este movimiento se realiza sobre el eje Y. Un carro adaptador permite insertar la herramienta que se desea utilizar .Este portaherramientas está enteramente hecho en hierro y permite ajustar firmemente diversas herramientas, disponiendo de distintas formas de sujeción por ejemplo un orificio con diámetro igual al de la rosca que posee el minitorno.

El motor paso a paso, la guía lineal y el tornillo sin fin son los encargados de desplazar al patín a través del buje de bronce, para mover al portaherramientas dependiendo de la ejecución de la rutina.

El portaherramientas permite trabajar con distintas fresas, brocas u otros accesorios como estiletes y/o punteras.

Este eje también está protegido de no superar accidentalmente el rango máximo de movimiento a través de sensores. Y puede ser posicionado automáticamente a su posición inicial.

## Motores paso a paso

Para los motores paso a paso, se buscó optimizar su eficiencia, y se los colocó dentro de una estructura de aluminio a fin de disipar el calor producido al trabajar la máquina.

#### Parte Electrónica

#### Drivers de los motores paso a paso

Para los drivers de los motores, se buscó mejorar la potencia suministrada por los mismos, por lo que se colocaron diodos con una respuesta más rápida para filtrar los sobrepicos producidos por la autoinducción de las bobinas y se aumentó la

referencia máxima de corriente para ajustarlo de manera de aumentar la velocidad de desplazamiento de los ejes.

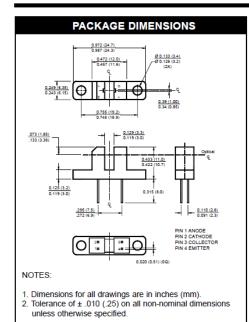
# Sensores ópticos de fines de carrera e indicador de posición cero

Para el sensado de los fines de carrera se eligió sensores ópticos modelo H21A1. Este sensor requirió realizar una plaqueta para alimentar el emisor infrarrojo y a su vez amplificar la señal recibida por el detector. Para ello se realizó una fuente sencilla de corriente a través de una resistencia en serie y a su vez se colocó una resitencia en el colector del detector. Este a su vez se conectó a un circuito inversor compuesto de un amplificador realizado con un transistor BC548. La información de los límites de cada eje y de posición cero se envía a través de los cables que se mueven solidario a cada uno de los ejes hacia la plaqueta de control. Dentro de la plaqueta de control, se invierte la señal recibida para inyectarla a la interfaz.

Es importante destacar que estos sensores fueron importados de manera directa desde Estados Unidos, lo que posibilitó, además de obtener el sensor acorde a nuestras necesidades de manera económica, aprender todos los requisitos necesarios para realizar una importación a través de un Distribuidor Internacional, como es el caso de DigiKey utilizando una dirección postal a través de la empresa LogicPack SRL.



# H21A1 / H21A2 / H21A3 PHOTOTRANSISTOR OPTICAL INTERRUPTER SWITCH



#### DESCRIPTION

The H21A1, H21A2 and H21A3 consist of a gallium arsenide infrared emitting diode coupled with a silicon phototransistor in a plastic housing. The packaging system is designed to optimize the mechanical resolution, coupling efficiency, ambient light rejection, cost and reliability. The gap in the housing provides a means of interrupting the signal with an opaque material, switching the output from an "ON" to an "OFF" state

#### **FEATURES**

- Opaque housing
- · Low cost
- .035" apertures
- High I<sub>C(ON)</sub>



- Derate power dissipation linearly 1.33 mW/°C above 25°C.
- RMA flux is recommended.
- Methanol or isopropyl alcohols are recommended as cleaning agents.
- 4. Soldering iron tip 1/16" (1.6mm) minimum from housing.

Figura 20. Extracto de la hoja de datos del detector infrarrojo.

# Interfaz adaptadora Puerto paralelo a USB

Para esta interfaz se buscó una solución sencilla y de fácil aplicación. Se utilizó un microprocesador PIC18F4550 para interconectar la PC sin necesidad de drivers a la máquina de control numérico. Un **dispositivo de interfaz humana** o **HID** por sus

siglas en inglés (Human Interface Device), es un tipo de dispositivo para computadores que interactúa directamente con, y que toman entradas de humanos, y que también pueden entregar una salida a los humanos.

En el protocolo HID, existe 2 entidades: el "host" y el "dispositivo". El dispositivo es la entidad que directamente interactúa con la máquina. El host se comunica con el dispositivo y recibe datos de entradas del dispositivo. Los datos de salidas van del host al dispositivo y luego a la máquina. El host en este caso es un computador.

El protocolo HID realiza la implementación de los dispositivos muy sencillo. Los dispositivos definen sus paquetes de datos y luego presentan un "Descriptor HID" al host. El descriptor HID es codificacado como un arreglo de bytes que describen los paquetes de datos del dispositivo. Esto incluye: cuantos paquetes soporta el dispositivo, que tan grandes son los paquetes, y el propósito de cada byte y bit en el paquete. Por ejemplo, un teclado con un botón que ejecuta el programa de calculadora puede decirle al host que el estado de presionar/soltar ese botón, es almacenado en el 2 bit del 6 byte en el paquete de datos número 4 (nota: estas localizaciones solo son ilustrativas y son especificas al dispositivo). El dispositivo normalmente almacena el descriptor HID en la ROM y no se necesita intrínsecamente parsear (división del input o entrada en pequeñas partes para procesarlo a través del programa) el descriptor HID. Algunos hardwares de ratones y teclados en el mercado de hoy, son implementados usando solo un 8-bit CPU. Se espera del host que sea más una entidad más compleja que el dispositivo. El host necesita agarrar el descriptor HID del dispositivo y lo parsea antes que se puede entablar la comunicación con el dispositivo.

El Puerto Usb permite enviar comandos de manera directa para controlar los motores. Con la siguiente estructura de comando:

Los comandos se envían de a 11 bytes.

El primer Byte realiza las siguientes tareas:

bit0= Indica la dirección del eje X

bit1= Indica la dirección del eje Y

bit2= Indica la dirección del eje Z

**bit3=** Modo de trabajo. Tiene dos modos: Modo de posicionamiento (responde a la sentencia en gerber G00), donde la velocidad y la trayectoria no es crítica, lo que interesa es llegar a la posición final. Modo de trabajo (responde a la sentencia en gerber G01) donde sigue una trayectoria estimada a través de una interpolación lineal respecto de la posición actual con la final.

bit4= Ignora los fines de carrera si está en 1 y los respeta si el bit está en 0.

bit5= siempre en 0

bit6= siempre en 0

**bit7**= siempre en 0

#### Los siguientes 3 bytes controlan cuántos pulsos se desean enviar al eje X:

En la máquina 332 pulsos equivalent a 1mm de desplazamiento. Por lo que para indicarle este valor primero hay que redondearlo y pasarlo a binario.

332 en binario= 00000000 00000001 01001100

Por lo que se obtienen los 3 bytes:

1st byte 00000000 = 00

2nd byte 00000001 = 01

3rd byte 00010101 = 76

Por lo que permite enviar como máximo 16777215 pulsos que generan un desplazamiento máximo de 50533 MM

#### Los siguientes 3 bytes controlan cuántos pulsos se desean enviar al eje Y:

Es el mismo procedimiento que con el eje X.

#### Los siguientes 2 bytes controlan cuántos pulsos se desean enviar al eje Z:

Es el mismo procedimiento que con el Eje X pero sólo se emplean 2 bytes (16bits)

#### Los últimos 2 bytes indican el ancho del pulso generado:

El delay se mide en microsegundos. Esta variable sirve para poder controlar diferentes drivers de motores que necesitan un ancho de pulso específico. En esta máquina, el ancho del pulso es recibido por el driver para que luego él en base a la corriente necesaria para aplicar un torque constante varíe este valor dinámicamente en función de la carga que posee el motor en ese instante.

Cada vez que se envía un comando de 11 bytes se obtiene 2 bytes de respuesta desde el controlador con los caracteres en ASCII "OK".

También se recibe un mensaje codificado en ASCII debido a las siguientes causas:

XL Límite del eje X alcanzado.

YL Límite del eje Y alcanzado.

ZL Límite del eje Z alcanzado.

XY Límite del eje X y del eje Y alcanzado.

XZ Límite del eje X y del eje Z alcanzado.

YZ Límite del eje Y y del eje Z alcanzado.

XA Limites de los tres ejes alcanzados

ES Parada de emergencia.

#### Determinación de la cantidad de Pulsos para los motores.

Los motores necesitan 200 pulsos para moverse una vuelta y a su vez se necesitan 4 vueltas para mover 1 mm. a la heramienta.

#### Determinación de la velocidad.

La velocidad se fija al colocar una demora después de cada pulso generado por el procesador.

Por ejemplo una demora de 457200 microsegundos genera una velocidad de 1mm por minuto al aplicarle 66.666 pulses al driver del motor bipolar trabajando en Full strep

#### Configuración del Programa

Los valores que se deben configurar en el programa son los siguientes:

Para una velocidad 200 mm por minuto hay que realizar el siguiente cálculo:

Dividir la cantidad de pulsos por la mínima resolución:

332/0,5208330078125 = 637,44

La pausa necesaria para desplazarse un milímetro por minuto es: 58521600/637,44 = 91807

Al dividir este valor por la velocidad requerida se obtiene la demora necesaria para poder desplazarse a una velocidad de 200mm por minuto

91807/200 = 459

Dándonos como resultado una demora de 459 milisegundos.

La plaqueta está compuesta de un PIC18F4550 en el cual se utilizó el software de desarrollo que provee microchip para realizar de manera sencilla interfacez HID por USB. El microcontrolador se alimenta de la tensión provista por el conector. Posee un cristal de 20 MHz para generar una frecuencia de oscilación interna, necesaria para la interfaz USB de 48 MHz. Posee un display inteligente de 16x2 caracteres con backlight. Se conecta a la interfaz por puerto paralelo a través de un conector DB25 Hembra. También posee un interruptor de reset y un led de indicación de encendido.

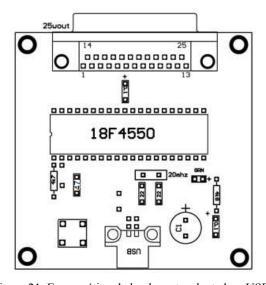


Figura 21. Esquemático de la plaqueta adaptadora USB.

# Programa para controlar la interfase USB y programar rutinas en G-Code:

Mediante esta aplicación es posible interactuar con el robot cartesiano a través de una conexión usb. Es posible desplazar cada eje de manera manual con los botones. Tiene la capacidad de cargar una rutina hecha en G-Code para realizar el movimiento controlado de los ejes de manera automática y permite la visualización del trabajo a realizar en una pantalla en 2 dimensiones. Además este programa indica al usuario, cuando el driver detecta alguna falla, como excederse el límite máximo de un eje o el accionamiento del botón de emergencia. En la figura 22 se muestra el programa:

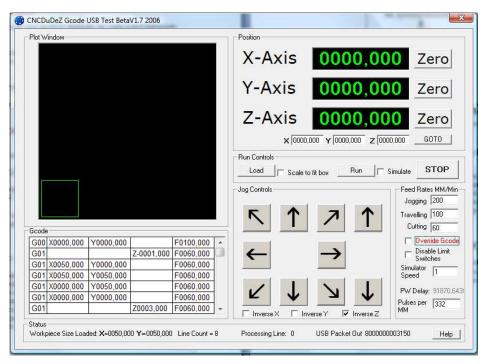


Figura 22. Programa ejecutado bajo entorno Windows para controlar el robot.

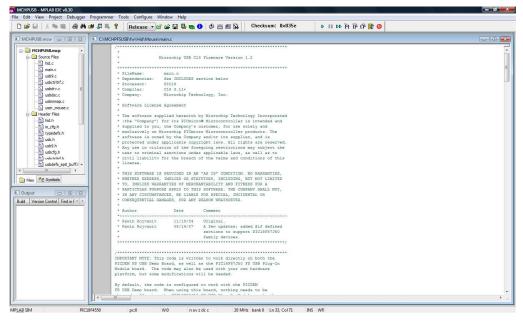


Figura 23. Stack provisto por Microchip para ser usado en sus microprocesadores para realizar una interfaz HID.

Para realizar un trabajo bajo este entorno se debe seguir los siguientes pasos:

- 1.- Posicionar la herramienta al inicio de la pieza a trabajar.
- 2.- Conectar y esperar que inicie la rutina del PIC18f4550.
- 3.- Esperar que la PC detecte correctamente la interfaz HID.
- 4.- Posicionar con el programa (GOTO) a la posición 0.

#### 5.- Ejecutar el programa en G-CODE.

Es posible también con interpretador, generar una imagen a través de un programa de diseño gráfico como el Autocad y luego transformarla a sentencias en G-Code que interpreta el software de manera automática.

## Interface de puerto paralelo por Ethernet

Esta interfaz, compuesta de un webserver de la marca Rabbit y FPGA de xilinx busca dar una solución para poder controlar de manera remota máquinas de control numérico, sin dificultades a través de una red Ethernet enviando periódicamente paquetes UDP de tráfico desde la interfaz hacia el programa MACH3.

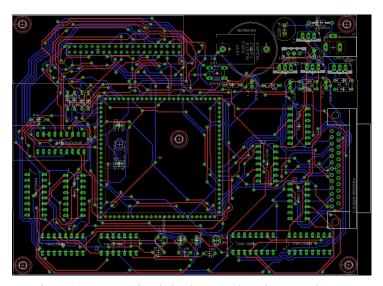


Figura 24. Esquemático de la plaqueta adaptadora por ethernet.

Esta plaqueta se encuentra en desarrollo, es capaz de enviar paquetes UDP a través de la red para comunicarse con una computadora ya sea en una misma red local o a través de Internet, lo que permitiría el control a distancia de grandes máquinas. A continuación se muestran capturas de los paquetes a través del programa wireshark:

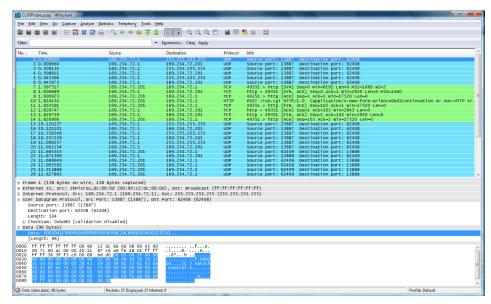


Figura 25. Paquetes enviados y recibidos por la interfaz Ethernet.

Se logró programar satisfactoriamente un integrado FPGA a través de un microprocesador Rabbit utilizando la librería sugerida por Xilinx.

El circuito implementado dentro del Xilinx está compuesto por un contador que recibe el valor final al que se desea llegar y genera los pulsos necesarios para desplazar la herramienta hasta esa posición.

### Análisis de Casos

Se logró grandes avances en cuando a la calidad del fresado, al colocarle una Webcams, posibilitó poder visualizar el estado de la máquina en ese instante.



Figura 26. Rutina programada en Gcode de escritura, donde se puede apreciar una mayor calidad y velocidad de trabajo.

## **Temas Abiertos:**

Este proyecto puede ser un marco de desarrollo de diferentes algoritmos de control ya sea para el posicionamiento a lazo cerrado a través de un encoder óptico.

Se puede implementar un cortador Láser para aumentar sus prestaciones.

Es posible generar un driver para integrarlo a programas de uso masivo de control numérico para aumentar la versatilidad y asegurarse una flexibilidad de uso para diferentes funcionalidades.

Es posible realizar un control analógico de la velocidad de la fresadora por software para adaptar las necesidades a la pieza que se está trabajando.

Y se podría incrementar los ejes de libertad para poder realizar trabajos con una mejor presición y mejor calidad.

#### Análisis de costos

El robot cartesiano requirió de los siguientes componentes que fueron comprados durante el período 2008/2009:

	, ,
Estructura	mecanica.
Loudidia	modaliida.

Estructura mecanica.	
Guías Lineales NSK	U\$D 100 + Impuestos Aduaneros
Perfiles de Aluminio	\$ 100
6 x Rulemanes	\$ 30
3 x Varillas roscadas de Acero Inoxidable	\$ 120
Tornillos	\$ 50
Fibrofácil	\$ 25
Conectores AMP	\$ 320
Cable de Control de Ascensores	\$ 120
Motores paso a paso	\$ 450
Perfil en U	\$ 62
Chapa para soporte del eje X	\$ 50
Rueda para soporte del eje Y	\$ 20
Cricket botella	\$ 60
Caja de Madera	\$ 40
Ventiladores y Rejillas	\$ 30
Buje de bronce	\$ 15
Insumos y Herramientas	\$ 200
Parte Electrónica:	
3 x Plaquetas de drivers	\$ 150
Interfaz por puerto paralelo	\$ 40
Interfaz por puerto USB	\$ 70
Optoacopladores	\$ 80
3 x Placas de control optoacopladores	\$ 30
Plaqueta adapadora optoacopladores	\$ 10
Fuente de alimentación	\$ 300
r defite de affinentación	\$ 500
Software empleado:	
Mplab IDE	\$ 0
Stack USB HID de microchip	\$ 0
Pickit 2 software	\$ 0

#### Herramientas utilizadas:

Programa de control numérico por USB

\$0

Trabajo Final – Robot Cartesiano de tres ejes controlado por computadora

Osciloscopio.

Programador PICkit 2.

Computadora.

Fuentes de alimentación.

Testers.

Dremel, taladro, limas, mechas.

Kit de desarrollo de plaquetas para fabricación casera por método fotosensible.

Pintura.

Costo Total aproximado: U\$D 800

Además de estos materiales, se compró insumos para realizar la la plaqueta por Ethernet a un costo aproximado de U\$D 250 que se encuentra en proceso de desarrollo.

# Comparación con otros productos disponibles en el Mercado:

Una máquina con características similares a la realizada en este proyecto, está disponible en el país y es comercializada por la empresa Gulmi CNC, con una intefaz paralela en vez de USB, sin display inteligente, y con menos área de trabajo a un precio superior al costo de desarrollo de este trabajo final.



Figura 27. Imagen de la Máquina de Control Numérico Gulmi CNC 600

El precio publicado de la máquina Gulmi es 10650 dólares, lo cual es muy superior al costo de fabricación de la máquina que ronda los 800 dólares. Las características del Gulmi CNC 600 son las siguientes:

Especificaciones generales GULMI 650	Valor
Carreras XYZ	600 x 450 x 140 mm
Mesa de trabajo	730 x 450 mm, espesor 25mm aluminio macizo
Resolución matemática	0.001 mm
Resolución real	0.01 mm

Velocidad posicionamiento	1000 mm/min (hasta 5000mm/min con tornillos opcionales)
Velocidad mecanizado (full 3D)	Hasta/up to 1000 mm/min
Husillo standard	8000/27000 RPM regulable desde el motor
Husillo opcionales	2000-5000 RPM regulable desde el motor
Boquillas disponibles	3, 6 y 8mm / 1/4"
Cuarto eje (plato 100mm dia.)	opcional, 6000 divisiones por revolución
Peso total incluyendo electrónica	135 Kgs
Electrónica	Valor
Motores de paso	150 oz/in , 3 AMP fase
Drivers (micropaso)	2000 pasos vuelta
Interfase	LPT printer port 1
Software	
Programa de control bajo Windows XP	Mach3
largo de programas en código. G ilimitado	interpolacion en 3 (4) ejes simultánea

# Las características de la máquina realizada en este trabajo final son:



Figura 28. Imagen del robot cartesiano

Especificaciones generales VAL CNC	Valor
Carreras XYZ	670 x 520 x 150 mm.
Resolución matemática	0.001 mm
Resolución real	0.00125 mm
Velocidad posicionamiento	800 mm/min (Es posible incrementarla con mayores motores)
Velocidad mecanizado (full 3D)	Hasta/up to 800 mm/min
Husillo standard	8000/27000 RPM regulable desde el motor

Husillo opcionales	2000-5000 RPM regulable desde el motor
Electrónica	Valor
Motores de paso	150 oz/in , 3 AMP fase
Drivers (full-stepp)	200 pasos vuelta
Interfase	LPT printer port 1, Interfaz USB y Ethernet
Software	
Programa de control bajo Windows XP, Windows Vista y Windows Seven.	Mach3, CNCdudez
largo de programas en código. G ilimitado	interpolación en 3 ejes simultánea

# **Conclusiones y Aportes**

Como conclusión final, considero que el tema de control numérico es una rama muy extensa donde la electrónica el software y la mecánica confluyen e interactúan entre sí. Es decir, para lograr buenos resultados, es necesario disponer de los conocimientos y herramientas adecuadas para que el producto final sea exitoso. Es una tarea multidisciplinaria, que refleja la necesidad de un conocimiento de base profundo para poder nutrirse de las otras ciencias a fin de resolver problemas donde sus causas no son puramente electrónicas.

Fue fundamental la capacitación y aprendizaje a partir de diferentes máquinas disponibles en el mercado. Una máquina de control numérico computarizado para baja escala de producción ronda en el mercado los 7000 dólares con una interfaz paralelo y un área de trabajo más chica que la desarrollada en este trabajo final.

Este proyecto se centró en generar una solución económica, para el diseño de prototipos o producción de baja escala, con partes hechas a partir de materia prima con mucho valor agregado a partir de un costo en insumos de 800 dólares para este proyecto. A largo plazo esta máquina puede ser comercializada a un valor de 3000 dólares, lo cual la posiciona muy bien en el mercado por tener mejores prestaciones que sus competidores y posee una interfaz por USB lo que permite su uso con laptops y herramientas populares como tornos o cortadores láser.

# **Agradecimientos**

Deseo agradecer a mi tutor de este proyecto el Ing. Ricardo Vecchio, quien efectuó la coordinación del mismo.

Asimismo agradecer al director de carrera Ing. Daniel Lista por su gran predisposición.

Al profesor Norberto Heyaca que me ha guiado para la concreción del mismo.

A la Dra. Mónica Mirayes por la coordinación de la presentación del proyecto en el CAEDI.

Al Ing. Hirchoren, por su ayuda en la configuración del Webserver.

A mis familiares, a mis padres que contribuyeron económicamente con la compra de los materiales.

A mis compañeros y profesores que me aconsejaron y me motivaron durante el transcurso de mi carrera.

Deseo reconocer que no hubiera sido posible este proyecto sin el apoyo de la UCA, que concibo la misión de la UCA como una obra del hombre en aras de lograr el bien común, de alcanzar los conocimientos más profundos de la ciencia transitando por los caminos de la fe, de la esperanza, de adquirir los conocimientos para perfeccionar el mundo en que vivimos, para darle bienestar a la humanidad y poner la ciencia al servicio del hombre y no al hombre al servicio de la ciencia.

Los conocimientos aprehendidos en esta Excelsa Casa de Estudios deben propender a que alcancemos la plenitud como persona humana, debemos profundizar los logros que obtuvimos, las esforzadas enseñanzas de nuestros abnegados profesores, crear sistemas, máquinas y tecnología que nos permitan incrementar no sólo nuestra cultura, sino generar bienestar al hombre de nuestra sociedad.

Debemos afianzar el valor de la sabiduría y por la búsqueda de la verdad, pero sosteniendo en forma inmanente la absoluta seguridad de que Dios es el alfa y el omega de toda la creación y de toda la cultura.

No podemos olvidar que el hombre es una creación de Dios a su imagen y semejanza. Por ello los conocimientos que adquirimos en nuestra carrera universitaria no deben vanagloriarnos ni subirnos mezquinamente al podio de los personalismos, ni hacernos sentir que por haber alcanzado un estatus universitario somos una clase superior a cualquier otro individuo de nuestra sociedad. Muchos sumergidos por problemas familiares, sociales o económicos, o por poseer diferentes capacidades tal vez no logren acceder al nivel universitario, pero la santidad de sus convicciones cristianas, sus cualidades humanas, no los hacen diferentes a nosotros, ya que en el fondo todos somos hermanos entre si y creados por un mismo Dios.

Pero los bienes que nos otorgó esta universidad en el tesoro de los conocimientos que nos trasmitió, sí nos obligan a devolver a la sociedad la misma calidad recibida por los sabios docentes, ayudando a mejorar las condiciones en que vive el hombre en esta sociedad.

Nuestro conocimiento universitario nos llevará a actuar en el plano científico y laboral. Debemos sostener los principios del evangelio y evitar que se utilicen los dones universitarios en aras de la destrucción de la libertad y del bien común. Dios debe estar siempre presente en los objetivos que nos fijemos o que nos propongan.

Estoy seguro que con la ayuda de Dios y de los conocimientos universitarios adquiridos nuestro límite se expandirá al infinito. Estamos obligados a crear nuevos discípulos y trasmitirle los conocimientos adquiridos, enseñándoles con amor y con respeto y explicándoles que el límite de nuestras acciones se encuentra el verbo divino.

# Bibliografía

Los diferentes aspectos técnicos mencionados en el presente documento se detallan a continuación y corresponden a los siguientes libros y sitios Web:

Libro: VHDL Lenguaje para síntesis y modelado de circuitos. Editorial Alfa Omega Autor Fernando Pardo.

Hojas de datos: XILINX Dispositivo FPGA modelo 3sc50

Hoja de datos: Webserver Rabbit RCM3750 RCM 3720 www.rabbit.com

Software: Herramienta de desarrollo dynamic C.

Trabajo Final – Robot Cartesiano de tres ejes controlado por computadora

Video tutoriales: El entorno de desarrollo ISE para programar FPGA

Sitios WEB:

Interfaces Electrónicas de Control Numérico:

http://www.esteca55.com.ar

http://www.cncdudez.com

Software utilizados:

http://www.machsupport.com/

http://www.linuxcnc.org/handbook/gcode/g-code.html

Unidades drivers de potencia: Hoja de datos de los circuitos integrados L297, el L298 y nota de aplicación del driver del motor paso a paso de SGS-THOMPSON.

http://www.st.com

Protocolo de comunicación:

http://www.modbus.org/

Stack del protocolo HID de Microchip

http://www.microchip.com/usb/

Stack del protocolo HID de Microchip

http://www.microchip.com/usb/

Historia:

Boon, G.K.; <u>Mercado</u>, A.; Automatización Flexible en la <u>Industria</u> ; Ed. LIMUSA-Noriega, <u>México</u>, 1991.

http://www.ifr.org International Federation of Robotics (IFR)

http://www.worldrobotics.org/