

“Desarrollos en mecatrónica aplicados a la formación en control numérico cnc”

Roberto S. Apóstoli

Filemón Posse 2736. Ciudad de Córdoba .Argentina

rsapostoli@arnet.com.ar

Resumen

En esta presentación se exponen los desarrollos efectuados en la integración de las disciplinas vinculadas con la mecánica, la electrónica, el control y la informática. Esta integración se denomina *Mecatrónica* la cual se está incorporando ampliamente en el ámbito industrial. Para ello es fundamental preparar a los nuevos protagonistas líderes formativos de las escuelas y universidades. Se sugiere que la mejor forma es comenzar *desde el llano* diseñando, construyendo y ensayando por sí mismos el adecuado equipamiento didáctico. En el taller-laboratorio se ha iniciado esta tarea desde hace ya varios años, comenzando con los Robots de 5 ejes RSA-I (1991) y RSA-II. Luego se encararon los proyectos de las tres máquinas herramientas a CNC: la Elinon I (3 ejes), la Elinon II (5 ejes,) y la Elinon 0 (4 ejes), reacondicionada en el 2011. En todos estos proyectos se ha incorporado el máximo valor agregado de ingeniería y tecnología local. Las Universidades Nacionales de Córdoba, de Cuyo, de San Luis y Tecnológica de Córdoba (UTN) han desarrollado en el laboratorio proyectos para la formación de los docentes y los trabajos de grado y postgrado de los estudiantes. La contribución de micro y medianas empresas de Córdoba y Buenos Aires ha sido esencial para concretar estos proyectos de mecatrónica, especialmente en mecánica de alta precisión, electrónica e informática avanzadas. Este equipamiento experimental-didáctico constituye la base fundamental para redactar el Curso Multimedia CNC. El objetivo es difundir ampliamente esta disciplina y que sea accesible a todos los interesados.

Palabras clave: Control numérico CNC, robótica didáctica, enseñanza en ingeniería industrial y mecatrónica.

1.Introducción

Las experiencias logradas a través de varios proyectos industriales, exitosos con probada eficacia, constituyen el primario sólido basamento para lograr la transferencia hacia otras nuevas generaciones que se inician en esta temática. En este caso de la integración Mecatrónica, y en especial en los temas de control

numérico computarizado CNC y su asociada la robótica industrial, se ha considerado oportuno desarrollar un curso multimedia sobre CNC que esté basado en las propias experiencias directamente vinculadas con los proyectos de diseño y realizaciones propias. De esta manera, aún relatando los problemas y fracasos obtenidos, el curso constituye una base didáctica que podría ser difundida para que la mayoría de los iniciados tengan acceso al menor costo posible.

2. Desarrollos mecatrónicos

En el taller-laboratorio se han iniciado estas tareas comenzando en 1991 con el robot RSA I, siguiendo con la máquina a CNC Elinon I, luego con el robot RSAII y la máquina a CNC Elinon II de 5 ejes y finalmente con la fresadora Elinon 0 CNC de 4 ejes, la que se presenta en la figura 1 [ref. 5,7]. Esta mencionada máquina, se estima, ha sido una de las primeras diseñada y construida totalmente en la Argentina en la década del 70: se comenzó construyendo totalmente los tornillos a bolitas recirculantes en acero 52100 rectificado y se completó la parte mecánica con guías rectificadas y placas de la mesa X-Y de fundición gris.

Hace unos 4 años se decidió transformarla y actualizarla [ref. 3,6], y el año pasado se puso a punto y se realizaron las mediciones mecánicas. Para medir la repetibilidad del origen cero (“home position”) se instalaron, en un montaje rígido, los palpadores micrométricos Mitutoyo Modelos 2109S y 2046S.

La tabla 1 expone las resoluciones de la máquina vinculadas al conjunto mecánico-electrónico-informático y los pulsos entregados por la CPU.

Luego de repetir 100 veces por cada eje un ciclo de búsqueda del cero-“home” con el comando G28 del CNC y con un control de motores de 8 micro-pasos, se obtuvieron estadísticamente estos valores promedios:

Eje X = repetible: 0,014 mm.

Eje Y = repetible: 0,0038 mm.

Eje Z = repetible: 0,0022 mm.

El eje A rotativo no posee el sensor de cero.



Figura1. Fresadora a CNC de 4 ejes ELINON 0 .

3. Curso de Nivel Básico

El Ciclo Básico del curso está dirigido principalmente a los iniciados en CNC que son especialistas en mecánica de precisión , instructores de las escuelas técnicas industriales y a los responsables de los laboratorios de las universidades con ingeniería industrial, electromecánica ó mecatrónica. Se les presenta un panorama de los componentes mecánicos, controles de señales y de potencia y las estructuras de las PC de control. Las PC del ciclo básico poseen c/u un ejemplar gemelo, con la placa madre abierta para que los asistentes puedan observar sus componentes: CPU, memorias RAM, “Chipssets”, “Buses”, zócalos para interfases periféricos ISA, PCI, LPT. El sistema operativo es el DOS MS- 6.22., el DR-DOS Caldera V7.03 (2008-2012) y el DOS contenido dentro del Windows 98. Los programas de CNC son el Indexer LPT, el TurboCNC V4.01 (2005-11), el ZEUS V1.89 (2012) y el DeskNCRT. (2000).

El TurboCNC es del tipo “shareware”, que con bajo costo se obtienen los programas fuentes y es uno de los más utilizados en DOS. En el laboratorio se lo está aplicando extensamente por su simpleza didáctica, alta confiabilidad y mínimo requerimiento de la PC.

Se presenta un ejemplo didáctico de mecanizado con la máquina Elinon 0 de 4 ejes a CNC, que es el elegido para los eventuales asistentes al curso. Ellos deberán realizar otro similar para aprobarlo. Se trata de un diseño libre de la letra lambda (λ) del alfabeto griego.

El bosquejo de λ se ha diseñado con el programa FreeCAD 0.12 (2011) que es libre y gratis, y corre en Windows y Linux. Ver la figura 2. Luego de ser impreso, se deben tomar las medidas y efectuar manualmente los cálculos de transformación del eje Y al eje A, que es su rotación equivalente. Al principio, el eje Y posiciona la mesa para que la herramienta se encuentre alineada tangente al centro del vaso y esta es su posición final definitiva. Luego, el CNC realiza la interpolación lineal con el comando G01 entre los 3 ejes: X-A-Z. Como se observa en la figura 1 , el vaso de plástico a mecanizar es cónico y se deben calcular los diámetros correspondientes a cada cota del eje X. El vaso está soportado en sus extremos por dos piezas cilíndricas con especial ajuste de precisión para el mandril y la contrapunta. En los cálculos se debe tener en cuenta la diferencia de los distintos diámetros del cono para que se pueda tener una superficie de continuidad sin escalones en el fondo del mecanizado. A simple vista se podría apreciar, si lo hubiese, un probable desnivel del “empalme” de 0,1 mm. Fig.3.

Eje #	Motor: Pasos /giro	Micropasos del "driver" electrónico	Paso del tornillo en mm.	Relación entre engranajes	Resolución teórica mecánica mm./pulso	CPU: Velocidad inicial en pulsos/seg.	CPU: Frecuencia máxima en pulsos/seg.
1: X	180	2	5	Directo 1:1	0,013888 mm./pulso	300	8.000
2: Y	180	2	4,75	Directo 1:1	0,013194 mm./pulso	300	8.000
3: Z	200	8	4,71	Reducción: 5:1	0,00058875 mm./pulso	300	8.000
4: A	200	8	----	Reducción: 30:1	0,00002083 %: 1 vuelta por pulso	300	8.000

Tabla1. Resoluciones mecatrónicas de la fresadora a CNC

El mecanizado del vaso de plástico se realiza mediante una fresa de alta dureza de "widia" (carburo de tungsteno) de 4mm. de diámetro con cortes especiales para el fresado. La herramienta gira a unas 12.000 RPM impulsada por un motor universal Rockwell (EE.UU.) de 1 HP y velocidad variable electrónicamente. Debido a que el material plástico del vaso es reciclado, éste deja adheridas unas indeseables virutas en los bordes de la huella del canal mecanizado. Se han ensayado diversas soluciones, sin embargo, la de mejor terminación superficial se ha conseguido mediante el fresado de 11 pasadas de la herramienta (de ida y de vuelta) por cada uno de los 11 tramos del dibujo, y ayudado manualmente por un pincel con aguarrás. La terminación, sin ningún retoque posterior, se observa en la fotografía de la figura 3. El tiempo total del fresado es de unos 26 minutos.

Esta metodología de 11 pasadas permite apreciar que:

- 1) El sistema mecatrónico integrado del CNC es confiable ya que repite perfectamente la trocha anterior del fresado. Como ya se ha manifestado, cualquier desvío se aprecia visualmente (por lo menos 0,1mm.).
- 2) Comporta una experiencia didáctica importante al comprobar cómo el CNC interpola linealmente (con G01) los 3 ejes en el espacio. Es fácil observar los movimientos simultáneos de X y A (rotación del vaso), conjuntamente con el del eje Z, casi imperceptible por ser décimas de mm., pero que se aprecia por el corrimiento simétrico en ambos sentidos de una marca en la correa dentada del eje de su motor Z. Ver Figura 1.

La figura 4 expone la instantánea del monitor Samsung 795 MB de una PC de bajo costo que oficiaría de plataforma didáctica para un eventual asistente en aula remota. La PC es similar a las utilizadas para desarrollar el CNC en el Nivel Intermedio [ref. 8]. Se trata de una Pentium II 400 MHz. con 2 discos que contienen: el 1ero. el SO Linux Ubuntu 8.04. LTS para CNC y el 2do. el Linux Mint 5 Elyssa. La PII se ha elegido junto al Mint 5, de entre varias soluciones posibles, porque satisface a ambos requerimientos: el de efectuar la práctica inicial en el control CNC y el de comenzar el aprendizaje multimedia mediante el Curso dedicado. Como se aprecia en la figura 4, la PC permite reproducir texto (con Open Office), fotografías, películas y sonido. La película Robot RSA-I ha sido filmada (en Dic-1993) con una cámara analógica de 8 mm. Minolta 8-428, y con el sistema codificador Dazzle Avid Pinnacle V15 se pasó a digital en el tamaño máximo de 320x240 "pixels" (en .mpg y .wmv), que permite reproducir esta PC. El Mint 5 contiene a los siguientes reproductores de video:
 -Mplayer "blue skin" V2:1.0 rc2 Linux Medibuntu
 -Totem movie player 2.22.1 Gstreamer 0.10.18 Gnome
 -SM Player V0.6.0 rc2 + Qt 4.3.3
 -VLC Media Player 0.8 del VideoLan Team
 -Xine Multimedia V0.99.6 cvs

La foto 1 muestra a la fresadora CNC Elinon I de 3-4 ejes y al monitor de 20" con el programa TurboCNC.

La foto 2 exhibe el "stand" de Expotrónica, Mayo 2012, cedido mediante gentil invitación de la Cámara CIIECA. Se expusieron operativos los controles CNC con Ubuntu 10.04. LTS + Linuxcnc 2.4 en PC Intel Core 2 Duo y en Intel Atom D525MW [ref. 8].

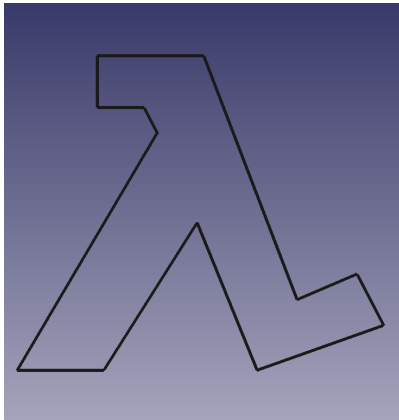


Figura 2. Diseño 2D con FreeCAD



Figura 3. Mecanizado 3D con CNC



Figura 4. Instantánea de la PC didáctica multimedia

4. Futuros desarrollos

Prosiguiendo con la actualización tecnológica del curso de CNC se tiene previsto desarrollar el Nivel Intermedio y el Nivel Superior.

En el Nivel Intermedio está considerado utilizar la fresadora Elinon I de 3 ejes a CNC operada con PC Pentium II y doble sistema operativo (SO): el DOS Caldera V 7.03 (2012) con CNC Zeus (2012) y el Ubuntu 8.04. (2008)+Linuxcnc 2.4.7(2011) [ref. 8]. Este nivel incorporará el robot RSA-I de 5 grados de libertad (GDL), explicitando los principios básicos de programación directa (Denavit-Hartenberg) e inversa (modelización geométrica) [ref. 1,2,4].

El Nivel Superior contempla el mecanizado en 3D de piezas con la fresadora Elinon II de 5 ejes CNC integrada a un sistema de diseño y fabricación (CAD-CAM) basado en Linux Mint-12 sobre una plataforma AMD Phenom II 1050T de 6 Núcleos y 8GB RAM. El sistema inicial Linux CAD-CAM está integrado por los programas:

a) Diseño CAD:

- FreeCAD 0.12 (2011)
- Libre CAD 1.00 (2011)
- Inkscape 0.48.2 (2010)
- OpenScad 12-30 (2011)

b) Mecanizado CAM:

- PyCAM 05.1.1 (2010)
- CNC de 12 ejes: Ubuntu 10.04.4 con Linuxcnc 2.5.1 con placas digitales Mesa FPGA 5i20 y DAC Ti33TA integradas a una PC Intel ATOM D525MW 2 GB de RAM para controlar la celda flexible “Celflex” [ref. 7, 8].

Para el soporte multimedia se cuenta con una PC Celeron de 2,8 GHZ. y la citada PC AMD Phenom II con el SO Windows 7 y el SO Linux-Mint 12. Los programas de edición de video son el WMM y el Avid 15. La cámara de video analógica Sony CCD-TR818 dispone del interfase USB-PC Dazzle-Pinnacle (2011). La cámara de video digital Sony DCR-HC28 se conecta a la PC con una placa de alta velocidad para el bus IEEE-1394. La cámara de fotos es una Sony Full HD 1080 de 8.1 Megapixels. Para video de alta definición (HD) se disponen de una cámara JVC GZ-HM440BU con conectores micros MSDI y USB, y de un monitor de TV Sony Bravia de 42” modelo KDL-40BX425. Se compagina el programa educativo CNC con textos, fotos, y películas con el Libre Office 2011.

Agradecimientos

Se reconoce el invaluable apoyo institucional del Consejo Nacional de Investigaciones Científicas y Técnicas (CONICET) a los proyectos originados y dirigidos por el autor.

Se agradece asimismo a los siguientes Grupos e Instituto de docencia e investigación por sus importantes aportes a los proyectos, tanto a nivel de los profesores como a nivel formativo de los estudiantes:

- Grupo Sistemas Integrados de Fabricación y Robótica. Facultad de Ciencias Exactas, Físicas y Naturales. Universidad Nacional de Córdoba.
- Laboratorio de Mecatrónica. Facultad de Ingeniería y Ciencias Sociales. FICES. Universidad Nacional de San Luis.
- Instituto de Automática y de Electrónica Industrial-IAEI. Facultad de Ingeniería. Universidad Nacional de Cuyo.
- Grupo de Diseño y Fabricación (Cad/Cam). Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad de Córdoba. Universidad Tecnológica Nacional.

Es importante destacar los aportes institucionales e industriales brindados en los rubros que se indican a continuación, los cuales, en su gran mayoría, los han realizado con contribuciones generosas de sus partes. Se ponen de manifiesto las siguientes contribuciones :

1) Difusión en exposiciones y literatura:

- Cámara CIECCA de Electrónica e Informática. Córdoba. “Expotrónica”.
- Cámara CADIEEL de Electrónica, Electricidad y Control. Congreso y Exposición BIEL+Light. Buenos Aires.
- Asociación Argentina de Control Automático AADECA. Congresos y Exposiciones. Buenos Aires.
- Universidad Nacional de Cuyo. Mendoza. Facultad de Ingeniería. Instituto IAEI. Seminarios y Conferencias.
- Universidad Tecnológica Nacional. Facultad de Córdoba. Seminarios y Conferencias.
- Editores SRL. Revista Ingeniería de Control y Automatización. Buenos Aires. Publicaciones.
- Centro CIOP-Láser. Consejo Nacional de Investigaciones CONICET. La Plata. Provincia de Buenos Aires. Seminarios.
- Congreso de Ingeniería Mecánica. Cobem. Brasilia. Brasil.
- Ingeniería 2010. Congreso Mundial Bicentenario. Bs. As. Congreso y Exposición.

2) Construcciones especializadas metal-mecánicas de alta precisión :

- Fábrica de Aviones- FADEA.
- Taller de prototipos-Pedro Montoya
- Metalúrgica Pedro Giacomelli
- Metalúrgica Richio
- Metalúrgica Oliengo
- Engranajes Aife-Alberto Boretto
- Fundición Montecristo
- Matricería Tecnicor
- Prima Implantes
- Aceros Böehler
- SH Aceros
- Scal-Nar
- Micro Automación Neumática. (Bs. As.)
- Remssi. Servomotores (Bs. As.)

3) Terminaciones superficiales

- HP Grabados
- Grabacor
- Aluminio Oberti
- Metal
- ABC Metales
- Metalúrgica D.P.S.
- Poxicor
- Sudosilo

4) Electrónica y computación

- Citem .Circuitos impresos
- Fitz Electrónica. Monitores de PC
- G+ Tecnología. Computadoras
- Roberto Mediavilla .Electrónica Industrial
- HB Soluciones. PC-componentes electrónicos
- TRV. Estabilizadores de tensión

5. Síntesis y conclusiones

La redacción del Curso CNC se basa en las experiencias reales surgidas de proyectos de desarrollos realizados en conjunto con las empresas locales. No se trata de una subyacente copia ampliada del manual de un programa comercial de CNC. El procedimiento ha sido que *primero* se contactaron a las industrias MiPymes, indagando las realizaciones locales, y *luego* se iniciaron los proyectos. Esta fuerte interacción universidad-industria ha garantizado la terminación exitosa de los proyectos culminando en innovaciones **que funcionan**. Además este paradigma garantiza la continuidad y la actualización tecnológica de los sistemas.

En la Argentina hemos presenciado apreciables inversiones en ciertos equipamientos importados los cuales se han convertido, luego con el tiempo transcurrido, en inservibles y abandonadas máquinas (CNC y robots) por no haber continuado el mantenimiento ó por ser declarado obsoletos en su momento por las empresas proveedoras originales.

Referencias:

1. Apóstoli, Roberto S. "*Celflex: celda de manufactura flexible robotizada*". 1er. Premio Foco Automatismo. Concurso Técnico-Científico Internacional BIEL LIGHT+BUILDING Cámara CADIIEL. 2005. Buenos Aires.
2. "*Celflex 1er Premio Cadiiel-Biel*" Revista de Control y Automatización. Editores SRL. Nov.-Dic. del 2005. páginas 50-57. Bs.As.
3. Boock, Walter S.; López, David : *Diseño 3D en Solidworks y FEM en Nastran*. Trabajo de grado de Prácticas Profesionales Supervisadas (PPS). Departamento de Ingeniería Mecánica. Facultad de Córdoba. Universidad Tecnológica Nacional. UTN. 2007
4. Apóstoli, Roberto S. : "*Experimental robotics for training and manufacturing*" *4º Congresso Brasileiro de Engenharia de Fabricação* Código 161043352. Abril del 2007. San Pablo. Brasil.
5. Apóstoli, Roberto S.; Conforto Antonio E.; Laffaille A.: "*Modeling and simulation of a manufacturing environment*" Cobem 2007. Paper #1632. 19th International Congress of Mechanical Engineering. November 2007. Brasilia. Brasil.
6. Apóstoli, Roberto S.; Tissera, Héctor ; Sauchelli, Victor: "*Celflex: a proper platform for training undergraduate students*" Paper #125. ICECE 2009. International Congress on Engineering and Computer Education. ITBA-COPEC-IEEE. March 2009. Buenos Aires.
7. Apóstoli, Roberto S: "*Celflex: Proyecto integrador multidisciplinario multiinstitucional para la producción automatizada*" Trabajo TICS_036.Octubre del 2010.Ingeniería 2010. Congreso Mundial Bicentenario. Buenos Aires.
8. Apóstoli, Roberto S.: "*Experimentación con sistemas en tiempo real para control numérico*". Congreso ACCA 2012. Chile.