

INTEGRACIÓN DE UNA CÉLULA FLEXIBLE DE MECANIZADO, DE TIPO DOCENTE

INTEGRATION OF A EDUCATIONAL FLEXIBLE MANUFACTURING CELL

Abraham Farias F.¹ Luis Moraga G.¹ Ambrosio Martinich L.¹

Recibido 29 de junio de 2006, aceptado 5 de enero de 2007

Received: June 29, 2006 Accepted: January 5, 2007

RESUMEN

Este trabajo trata sobre la integración de una célula flexible de mecanizado de tipo docente, compuesta por una fresadora didáctica CNC, marca Denford, un brazo robótico articulado de seis ejes, modelo Scorbot –ER Vplus y un riel deslizante; todos pertenecientes al Laboratorio de Manufactura Integrada por Computador, de la Escuela de Ingeniería Mecánica de la Universidad de Talca. Las tareas que realiza esta célula flexible son controladas por un PC director a través de un programa, utilizando el software y el propio control del robot y su objetivo es realizar el ciclo de carga y descarga de un trozo de material de 65×65×40 mm (madera) y su posterior mecanización. El problema de comunicación entre los equipos involucrados y la fresadora CNC fue resuelto en cuanto su diseño “stand alone” no contemplaba la integración con otros equipos. Por otro lado, se agregaron algunos sistemas electroneumáticos para que la operación fuera automática, como los de sujeción de piezas y la apertura y cierre de puertas. Con esta célula flexible de mecanizado de tipo docente, la facultad de Ingeniería cuenta con una plataforma básica, a la que se puede adicionar otras funciones como, por ejemplo, dotarla de un sistema automático de alimentación de piezas, de un sistema de visión digital para dar más autonomía al robot, incorporar un torno CNC y generar un programa para administrar las órdenes de trabajo.

Palabras clave: Célula flexible, manufactura, CNC.

ABSTRACT

This paper describes the integration of an educational flexible manufacturing cell, consisting of a Denford CNC mill with six axes, and a Scorbot - ER Vplus robotic arm that slides along a rail. This equipment is located at the Computer Integrated Manufacture Laboratory, at the School of Mechanical Engineering at Universidad de Talca. The flexible cell is controlled by software in a PC that interacts with the software in the robotic arm. The specific tasks described in this paper are loading and unloading a wooden piece (640×65×40) and to mechanizing the piece. One difficulty solved in this work was the potential communication problem between the control equipment CNC mill, since the original, stand-alone design did not admit integration with other controllers. In addition, electro-pneumatic devices were added to permit automatic operation of the system in situations such as gripping the piece and opening the mill door. This basic platform gives the possibility of adding new functions and equipment, such as automatic loading of work pieces, digital reading systems, a CNC lathe and a work order information system.

Keywords: Manufacturing cell, CNC.

INTRODUCCIÓN

Los sistemas de manufactura flexible (FMS) son una integración de máquinas automáticas las que, en conjunto, se unen para fabricar productos y dar solución a la producción de medio volumen y mediana variedad. Para

automatizar al máximo estos sistemas, las máquinas que intervienen deben estar en constante comunicación y así trabajar en conjunto en la fabricación de piezas [1]. A nivel de enseñanza, existen sistemas FMS de diferente configuración, desde las más simples a las más complejas, y es así que algunas universidades han adquirido sistemas

¹ Universidad de Talca, Facultad de Ingeniería, Departamento de Tecnologías Industriales. Camino Los Niches km. 1 – Curicó, Chile. afarias@utalca.cl, moragaluis@gmail.com, ambrosio@utalca.cl.

FMS de tipo didáctico para la formación de sus alumnos en esta área de la ingeniería

La Escuela de Ingeniería de Ejecución en Mecánica de la Universidad de Talca posee un laboratorio de manufactura asistida por computador. Los equipos con que cuenta son una fresadora didáctica CNC, marca Denford, modelo Starmill, un torno CNC didáctico, marca Denford, modelo Startun 5, adquiridos el año 1994, un robot marca Eshed, modelo Scorbot ERV-plus, un riel de transporte del robot y un centro de mecanizado vertical, marca Romi, modelo Discovery 760, adquiridos el año 2003.

El objetivo que se propuso para este trabajo fue utilizar el equipamiento disponible para implementar una célula flexible de mecanizado, de manera que con la materialización de este proyecto se contribuyera a adquirir conocimiento en la problemática que se presenta al momento de integrar máquinas que estén permanentemente comunicadas para lograr un objetivo específico.

CONFIGURACIÓN DE LA CÉLULA Y ACTIVIDADES A DESARROLLAR

En una primera etapa se decidió que la configuración de la célula estuviese formada por la fresadora CNC didáctica, el robot y el riel de transporte. En un proyecto posterior se verá la factibilidad de integrar también el torno CNC. Las tareas que debe realizar la célula son la carga y transporte del material hacia la máquina, la apertura y cierre de la puerta, el posicionamiento del material en el sistema de sujeción sobre la mesa de la fresadora, la ejecución de un programa de mecanizado CNC, el retiro de la pieza terminada y el transporte de la misma, a un lugar específico. El material es un trozo de madera de 65×65×40 mm y la herramienta de corte es una fresa de acero rápido de 6 mm. El ciclo de trabajo debe realizarlo en forma autónoma. [2],[3],[4]. Los equipos involucrados se aprecian en las figuras 1, 2 y 3.

PROBLEMÁTICA A SOLUCIONAR

El principal problema a solucionar radicaba en que los modelos de las máquinas CNC existentes no estaban diseñados para la comunicación e integración con otros dispositivos externos. La fresadora sólo poseía dos entradas y salidas auxiliares digitales que permitían una comunicación rudimentaria con el exterior.

Adicionalmente, el otro problema era que la máquina poseía un sistema de sujeción manual y un sistema de

apertura y cierre de puertas, también manual. También había que resolver el problema del control sobre el panel de comando de la máquina CNC, que permitiese la ejecución del programa de mecanizado, a través del dispositivo de control de la célula. Finalmente, decidir a través de qué dispositivo se controlaría la célula y realizar el programa que coordinara todas sus actividades.

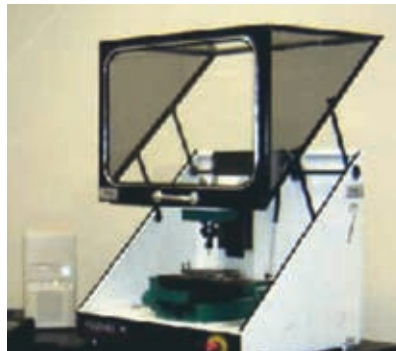


Figura 1. Fresadora CNC.



Figura 2. Robot Scorbot ERV- Plus.



Figura 3. Riel deslizante.

CONFIGURACIÓN DE LA CÉLULA

Tal como se mencionó anteriormente, ésta estará conformada por la fresadora CNC, el robot y el riel. Se decidió que el elemento que controlaría todas las actividades sería el controlador del robot, pues éste tiene suficientes entradas y salidas que permiten recibir información del estado de dispositivos externos y emitir señales para activar estos mismos.

Por lo tanto, los elementos que estarán en comunicación con el control del robot son:

1. El robot mismo
2. El sistema de sujeción automático
3. El sistema automático de apertura y cierre de puerta
4. El panel de comando de la fresadora
5. La fresadora CNC

La figura 4 muestra el esquema con la configuración de los equipos involucrados y el flujo de comunicación.

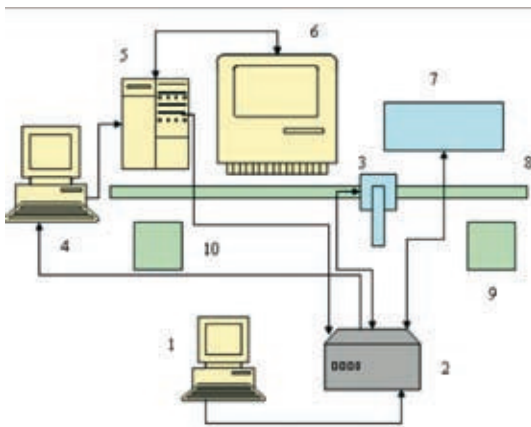


Figura 4. Configuración de la célula de mecanizado.

La identificación de cada componente se muestra a continuación.

1. PC Director
2. Controlador del robot y de la célula
3. Robot
4. Panel de ejecución programas CNC
5. Control numérico fresadora CNC
6. Fresadora CNC
7. Actuadores electroneumáticos
8. Riel de desplazamiento robot
9. Bandeja de alimentación material
10. Bandeja de recepción piezas

La secuencia de actividades a realizar por la célula es la siguiente:

1. Tomar el material
2. Traslado del robot a posición de carga del material a la máquina
3. Apertura de puerta
4. Posicionamiento del material dentro del sistema de sujeción
5. Actuación de los cilindros de la prensa, para sujetar el material
6. Retiro del robot de la máquina
7. Cierre de puerta
8. Activar teclas del panel de ejecución de la fresadora, en forma remota
9. Mecanizar el programa CNC
10. Abrir puerta, después de finalizar el mecanizado
11. Abrir sistema de sujeción de la pieza
12. Retirar la pieza y dejarla en la posición de recepción de piezas
13. Traslado del robot a posición de carga de un nuevo material

Las actividades previas para que trabaje la célula, ejecutadas manualmente, son las siguientes

1. Referenciar el robot
2. Referenciar la máquina CNC
3. Cargar el programa a mecanizar
4. Cargar los offset del programa

CARACTERÍSTICAS DE LOS EQUIPOS

1. El robot SCORBOT-ER V plus [5]

Es del tipo vertical articulado con pares de revoluta y posee cinco grados de libertad además de la pinza. El riel donde se desplaza se configura como un séptimo eje. Este último tiene una longitud de 2,0 m.

La tabla 1 muestra las especificaciones más importantes.

Tabla 1. Especificaciones de SCORBOT-ER V plus.

| | |
|------------------------------------|--|
| Estructura Mecánica | Vertical articulada |
| Número de ejes | 5 ejes más la servo pinza |
| Radio máximo de operación | 610 mm |
| Apertura máxima de la pinza | 75 mm sin topes de goma 65 mm con topes de goma |
| Retroalimentación | Decodificadores ópticos en cada eje |
| Actuadores | Servo motores de 12VDC |
| Capacidad de los motores | 70 W de potencia para el torque máximo |
| Transmisión | Engranajes, correas, tornillos de potencia |
| Carga máxima | 1 kg, incluyendo la pinza |
| Peso | 11,5 kg |
| Velocidad máxima de desplazamiento | 600 mm/s |

2. El controlador del robot [5]

El Controller-A está equipado con un panel de entradas y salidas digitales que permite al usuario configurarlas individualmente.

Tipo de entradas: Las entradas del controlador (transistorizadas del tipo colector abierto) permiten recibir señales provenientes de dispositivos externos instalados en la célula. El controlador tiene 16 terminales de entrada y 4 puntos de conexión a tierra.

Las entradas pueden ser operadas en cualquiera de estos dos modos:

Modo lógico negativo (NPN): ON ($V \leq 1,5 \text{ VCC}$ o GND); OFF ($+5 \text{ VCC} \leq V \leq +24 \text{ VCC}$)

Modo lógico positivo (PNP): ON ($+5 \text{ VCC} \leq V \leq +24 \text{ VCC}$); OFF ($V \leq 1,5 \text{ VCC}$ o GND).

Salidas: Las salidas del controlador le permiten emitir señales hacia dispositivos externos ubicados en el entorno del mismo robot. El controlador tiene 4 salidas del tipo relé y 12 salidas transistorizadas de colector abierto.

Salidas del tipo relé: Las salidas numeradas del 1 al 4 tienen tres contactos, el común (COM), un Normal Cerrado (NC) y otro Normal Abierto (NO).

El voltaje máximo a utilizar es de 24 VCC, y la corriente está limitada a 4 A.

Salidas transistorizadas: Numeradas desde la 5 hasta la 16, incluyen un transistor con colector abierto. Estas salidas deben ser conectadas a la carga. La figura 5, muestra el circuito correspondiente.

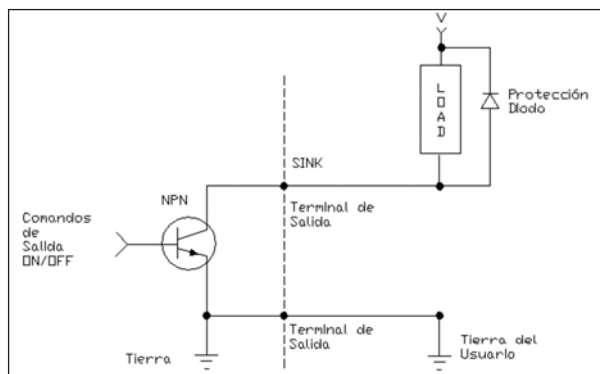


Figura 5. Circuito de las salidas de colector abierto.

Este puede ser operado en cualquiera de estos dos modos:

Modo lógico negativo (NPN) (por defecto): ON ($V \leq 0,3 \text{ VCC}$); OFF ($+5 \text{ VCC} \leq V \leq +24 \text{ VCC}$)

Modo lógico positivo (PNP): ON ($+5 \text{ VCC} \leq V \leq +24 \text{ VCC}$); OFF ($V \leq 0,3 \text{ VCC}$)

El voltaje máximo permitido para estas salidas es de 24 VCC y la corriente máxima es de 0,5 A.

La tabla 2 muestra las principales especificaciones del controlador [5].

Tabla 2. Especificaciones del Controller-A.

| Ítem | Especificación |
|-------------------------------|---|
| Tipo de control | Multi-tasking PID (proporcional, integral, diferencial) PWM (pulse width modulation) |
| Número de servo ejes | Estándar: 8 ; Máximo 11 |
| Controladores de los ejes | PWM (pulse width modulation) ; 20 kHz |
| Requerimientos de energía | 100/110/220 VCA, 50/60 Hz, 500 W máx. |
| Energía interna de suplemento | Motores: +24 VDC, 18 A ; Usuario: +12 VDC, 2 A |
| CPU | Motorola 68010 |
| Memoria RAM | Sistema: 64 KB ; Usuario: 128 KB |
| Comunicación | Puerto serial RS232 |
| Entradas | 16 entradas (con LEDs indicadoras); modos lógicos NPN (de fábrica) y PNP |
| Salidas | Colector abierto de 12 salidas (con LEDs indicadoras); modos lógicos NPN y PNP Máximo 24 VCC |
| Lenguajes de programación | ACL: Advanced Control Language (Lenguaje de control avanzado) Software SCORBASE Nivel 5 |

3. Fresadora CNC

Es una fresadora CNC de tipo didáctica de tres ejes, de procedencia inglesa, marca Denford, modelo Starmill. Las dimensiones externas son de 1000×870×978 mm y el desplazamiento máximo de la mesa es de 170 mm en el eje X, 90 mm en el eje Y, y 115 mm en el eje Z. Posee un sistema de sujeción manual del material y de apertura y cierre de puerta, un PC y un software de programación para generar los programas, un panel de comandos de operación y ejecución de los programas y el control numérico, modelo Heidenhain. La generación de los programas se efectúa de forma manual o a través de un software CAD-CAM [6]

4. Actuadores electroneumáticos

Están compuestos por una prensa electroneumática y los cilindros encargados de la apertura y cierre de puerta. De acuerdo a lo mencionado anteriormente, debió construirse una prensa del tipo indicado, considerando

las restricciones de espacio y desplazamiento de la mesa y tomando en cuenta la dimensión máxima del material que podía tomar la pinza del robot. Esta posee dos cilindros, uno se encarga en primer lugar de posicionar el material, luego se retira y después el otro lo fija en la dirección del eje X finalmente el primero lo fija en el sentido del eje Y de la fresadora.

Los cilindros de la prensa son activados por dos válvulas del tipo 5/3, centro abierto, con bobinas de 24 VCC y 4 W. Para simular el sistema de apertura y cierre de la puerta se usaron válvulas electroneumáticas del tipo 5/2. La figura 6 muestra la prensa construida.

PROBLEMAS PARA LA INTEGRACIÓN DE LA CÉLULA

Los principales problemas a abordar fueron la comunicación con el controlador y con el panel de comandos de programas CNC de la fresadora. Respecto al primero, la información que se necesitaba extraer del controlador era el estado en que se encontraba el husillo de trabajo (detenido o girando), es decir, si estaba ejecutando o no un programa. Además se necesitaba detectar la posición de la mesa.

Respecto del panel de comandos, el problema radicaba en que, para ejecutar un programa CNC, se debía presionar dos teclas del panel en forma secuencial, acción que ahora debería ejecutarse bajo las órdenes del controlador del robot. Las órdenes respectivas para emitir estas señales debían generarse desde el programa que coordinaría todas las actividades de la célula.

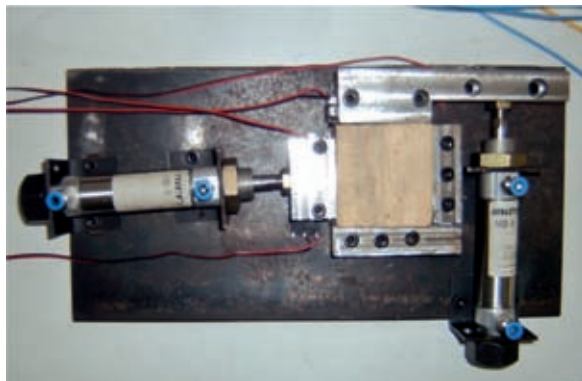


Figura 6. Sistema de sujeción del material.

Finalmente debía controlarse la actuación de los sistemas electroneumáticos del sistema de sujeción del material y la apertura y cierre de puertas.

SOLUCIONES ADOPTADAS

1. Comunicación con el control de la fresadora

Debido a que el protocolo de comunicación del control numérico es inaccesible (software cerrado) y a la no disponibilidad de salidas auxiliares habilitadas, se optó por la siguiente solución.

Se identificó el relé que comandaba el motor del husillo, cuando desde el programa CNC, a través de los códigos respectivos, se daba la orden de hacerlo girar o detenerlo. Se instaló un relé en paralelo con el anterior para indicarle al controlador del robot el estado del motor del husillo. La figura 7 muestra el esquema de conexión.

2. Posición de la mesa

En este caso era necesario detectar la posición en que se encontraba la mesa en el instante de carga y descarga del material por parte del robot. Ante la imposibilidad de extraer la información de las coordenadas X e Y, que establecían la posición de la mesa, se optó por colocar un microswitch en el extremo de su desplazamiento y se definió la posición de carga y descarga como las coordenadas X e Y del punto cero de la máquina. Cuando la mesa está en su posición extrema izquierda, activa el microswitch, enviando la información a una de las entradas del controlador del robot. Esta solución se muestra en las figura 8 y 9.

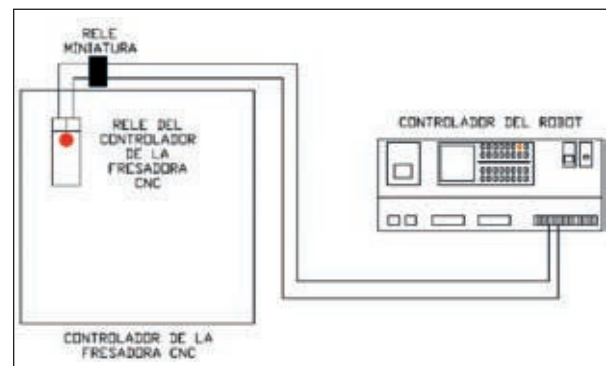


Figura 7. Solución para detectar el estado de operación de la fresadora CNC.

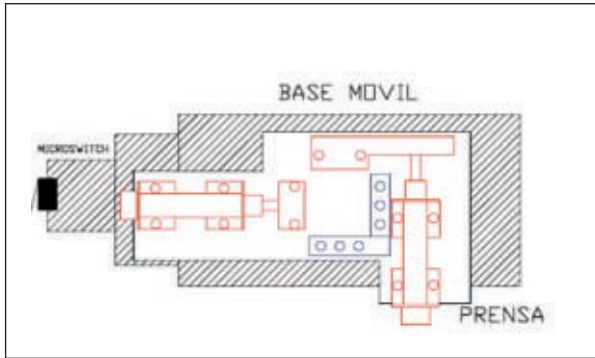


Figura 8. Posición del microswitch.

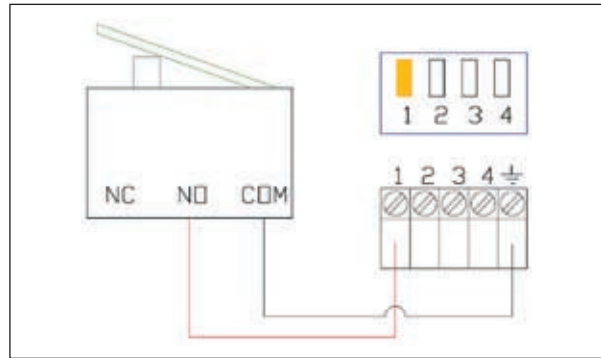


Figura 9. Conexión del microswitch al controlador.

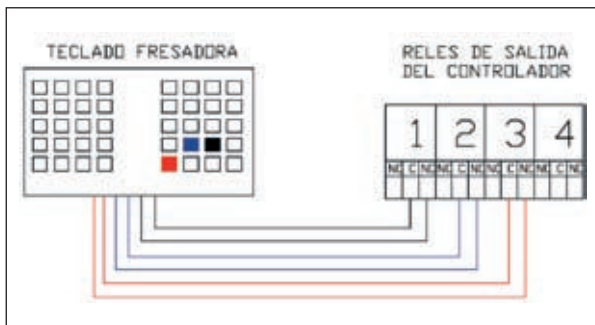


Figura 10. Conexión de las líneas con el controlador.

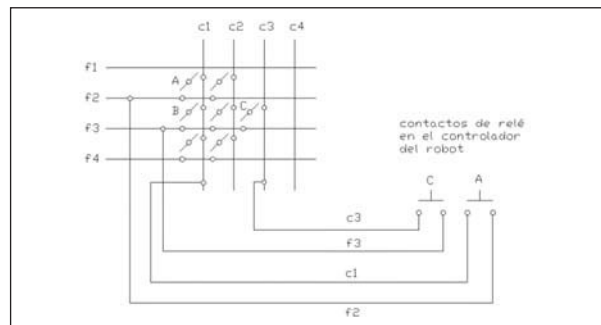


Figura 11. Esquema de conexión interna.

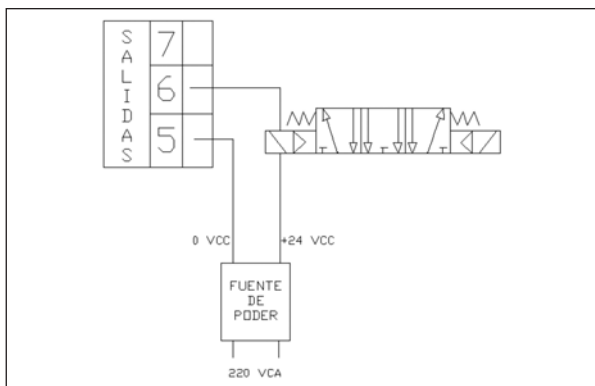


Figura 12. Conexión con las salidas del controlador.

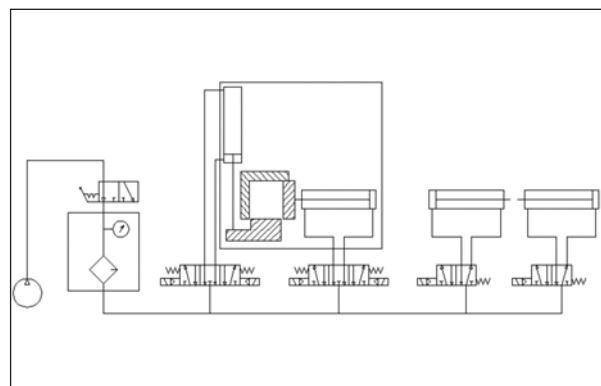


Figura 13. Esquema del circuito electroneumático.

3. Intervención sobre el panel de comando de la fresadora CNC

Como se indicó antes, para ejecutar un programa CNC se debía presionar dos teclas del panel, en forma secuencial y esta acción ahora debería ejecutarse desde el controlador del robot, de acuerdo con el programa que coordinaría todas las actividades de la célula.

Para ello se identificaron e intervinieron las conexiones de filas y columnas para las teclas en cuestión, en la matriz del teclado del panel, de manera que el controlador del

robot las duplicara a través de sus salidas de relé. La solución adoptada se muestra en las figuras 10 y 11.

4. Integración de los actuadores electroneumáticos

En este caso la solución es más conocida y se trata de enviar señales a las electroválvulas para activar a los cilindros y de conocer las posiciones extremas de estos cilindros. Para ello se montó un panel donde se ubicaron los elementos del sistema neumático. Las bobinas de las válvulas electroneumáticas para los cilindros de la prensa y para los cilindros de la puerta se comandaron

con las salidas de colector abierto. La forma de conexión y el esquema del circuito neumático se muestran en las figuras 12 y 13.

Para detectar la posición de los cilindros del sistema de sujeción y detectar la posición de la puerta se colocaron microswitch, conectados a las entradas del controlador del robot.

GENERACIÓN DEL PROGRAMA

El robot posee un software que le permite generar los programas, establecida previamente la secuencia de operaciones. Dispone de tres modalidades para esto. Una de ellas y que se utilizó se denomina ATS. Permite editar instrucciones para mover el robot a una posición definida, previamente grabada, darle instrucciones para que se active una señal de salida desde el controlador hacia los dispositivos externos y darle instrucciones al robot, dependiendo del estado en que se encuentre una señal de entrada. Una vez definidas las posiciones de cada actividad y definidas y enumeradas las entradas y salidas de cada dispositivo, se edita el programa respectivo. El programa está compuesto por varias subrutinas, denominadas "LABEL", en que cada una de ellas es una tarea específica que se debe ejecutar. A continuación se muestra la que permite al robot ingresar a la máquina, para retirar la pieza de la prensa y dejarla en la posición de recepción de ésta [7].

```

148   label 19
149   if in[12] = 1
150   andif in[4] = 1
151   andif in[5] = 1
152       moved 118
153       open
154       moved 131
155       speed 20
156       moved 132
157       close
158       speed 50
159       moved 131
160       moved 118
161       else
162       goto 19
163   endif
164   label 20

```

Esto indica que si se cumplen las condiciones de que la mesa se encuentre en la posición de descarga, que la puerta esté abierta y que la prensa esté abierta, entonces el robot ingresa, abre la pinza, se acerca a la pieza, cierra la pinza para tomarla, y se retira a la posición de recepción de piezas.

Finalmente, la figura 14 muestra la célula de mecanizado implementada.

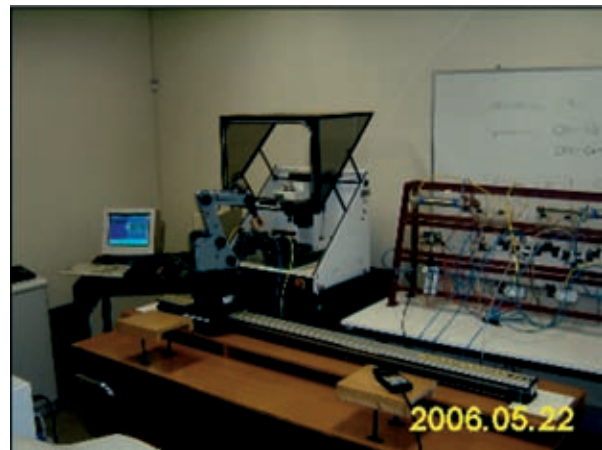


Figura 14. Célula de mecanizado implementada.

CONCLUSIONES

1. Con la materialización de este trabajo se pudo demostrar que, a pesar del diagnóstico inicial respecto a la poca factibilidad de integrar estas máquinas a una célula flexible de mecanizado, fue posible lograr con éxito esta integración. Con la estrategia e intervenciones adecuadas, se lograron solucionar los problemas de comunicación que al principio se veían insolubles.
2. Con esta célula flexible de mecanizado de tipo docente, la Facultad de Ingeniería cuenta con una plataforma básica, a la que se puede adicionar otras funciones, como, por ejemplo, dotarla de un sistema automático de alimentación de piezas, de un sistema de visión digital para dar más autonomía al robot, incorporar un torno CNC y generar un programa para administrar las órdenes de trabajo.
3. Desde el punto de vista de la formación de los estudiantes, ésta servirá para mejorar su aprendizaje en el área de automatización y para realizar proyectos multidisciplinarios que amplíen las funciones de esta célula. Además, la experiencia resulta ser más enriquecedora si se compara con la simple adquisición de una célula flexible ya integrada de fábrica.
4. Desde el punto de vista económico se logra un gran ahorro, ya que el costo de adquirir una célula flexible de mecanizado nueva, de tipo docente, es del orden de los US\$ 100.000.

REFERENCIAS

- [1] E. González, J. Izquierdo. "Automatización de un centro de mecanizado vertical CNC, para su integración a una celda de manufactura flexible". Memoria del Tercer Congreso Bolivariano de Ingeniería Mecánica. COBIM3. Pontificia Universidad Católica del Perú. Lima, Perú. 2003.
- [2] P. Ponsa. "Diseño de un sistema de fabricación flexible". Memoria del Trabajo Experimental de Tercer Ciclo. Universidad Autónoma de Barcelona, Bellaterra, abril 1998.
- [3] D. Gómez. "Supervisión de una célula de fabricación flexible". Departamento de Informática e Ingeniería de sistemas. Escuela Universitaria de Ingeniería Técnica Industrial de Zaragoza. 2003.
- [4] Pere Ponsa, Andreu Català, Marta Díaz. "Puesta en marcha de célula de fabricación flexible para uso docente". Actas XI Congreso Universitario de Innovación Educativa en las Enseñanzas Técnicas. Escola Politècnica Superior d'Enginyeria de Vilanova i la Geltrú. Universitat Politècnica de Catalunya. Barcelona, España. 2003.
- [5] Eshed Robotec, Scorbot-ER Vplus. Users Manual. Catalog N° 100016. 1996-1998.
- [6] Denford machine Tools Ltd. Manual Starmill PC, V 2.85-2.95. England. 1994.
- [7] Eshed Robotec. "ACL Advance Control Language". V 1.43. Reference guide for controller-A. Catalog N° 100083. 4th Edition. 1999.
- [8] H. Rubinfeld. "Sistemas de manufactura flexible un enfoque práctico". Editorial Ediciones de autor. ISBN 9874387149. 2005.
- [9] Mikell P. Groover. "Fundamentals of Modern Manufacturing: Materials, Processes and Systems". Editorial Hardcover. March 2006.