



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA CELDA DE MANUFACTURA FLEXIBLE

Alberto E. Llanos Escobar¹, **Guillermo Santillán**², **Silvano R. Rossi**²⁻³ y **Luis M. Arrien**²

¹ Escuela Politécnica del Ejército – Carrera de Ingeniería Mecatrónica, Sangolquí-Ecuador
Albertollan1@hotmail.com

² Facultad de Ingeniería - UNCPBA. Av. del Valle 5737, Olavarría, Pcia. Bs.As – Argentina
gsantill@fio.unicen.edu.ar

³ Grupo INTELYMEC – CIFICEN - CONICET

RESUMEN

Se presenta el desarrollo e implementación de un módulo de visión artificial para acoplar a un brazo robótico industrial que forma parte de una celda de manufactura flexible de cuatro etapas: alimentación, mecanizado, ensamble y empaquetado. El sistema brinda al robot la capacidad de distinguir diferentes piezas dependiendo de su forma y color, a fin de lograr un proceso productivo flexible.

El desarrollo involucra: a) el diseño de un módulo robusto para acoplar a la celda, b) la realización de la comunicación serie entre la computadora que contiene la aplicación para el procesamiento de imágenes y un microcontrolador responsable de enviar las señales a un PLC, c) el diseño e implementación de la placa de interfaz entre el microcontrolador y el PLC y d) la realización de las conexiones físicas necesarias a la celda y su programación.

Para la implementación del módulo se utilizó un entorno de programación gráfica comercial, una cámara web convencional y una placa basada en microcontrolador, programado en lenguaje C.

La aplicación de visión artificial está diseñada para funcionar en la etapa de ensamble del proceso de la celda, es decir para otorgarle la capacidad de decidir que piezas ensamblar, a partir de las figuras geométricas que estén graficadas en las mismas.

El sistema se ha instalado y puesto en funcionamiento en la Celda de Manufactura Flexible de características industriales instalada en los laboratorios de automatización y robótica de la Facultad de Ingeniería – UNCPBA.

Se presenta la descripción de la celda, los materiales y métodos para el desarrollo del sistema de visión artificial y resultados de su implementación práctica.

Palabras Claves: Celda de Manufactura Flexible, brazo robótico, visión artificial, PLC.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

1. INTRODUCCIÓN

La característica de flexibilidad de una Celda de Manufactura Flexible está asociada al concepto de que no hay restricción a un sólo tipo de proceso y puede realizarse una fácil adaptación a diferentes piezas y productos, que por lo general están relacionadas en lo que a propiedades físicas y tamaños se refiere [1]. Dicha celda puede contener diferentes estaciones de trabajo y generalmente algún sistema robot. En particular si al robot se lo dota de un sistema de visión artificial se puede obtener la capacidad de distinguir diferentes tipos de piezas y productos dependiendo de su forma y color, pudiéndose tomar decisiones que hacen, en definitiva, a la calidad del producto.

La experiencia a nivel mundial en aplicación de visión artificial en tareas vinculadas a la robótica es muy amplia. Pueden citarse, por ejemplo, aplicaciones que van desde la obtención de posición de objetos en tiempo real [2], la combinación de control y visión [3], [4], la adquisición de imágenes para el control de calidad en piezas de mecanizado [5], hasta desarrollos para su empleo en sofisticados sistemas de manufactura [6] y el control de robots cooperativos [7].

Un sistema de visión artificial para una Celda de Manufactura Flexible puede realizarse con costo bajo relativo, empleando cámaras convencionales de resolución adecuada a la aplicación y microcontroladores de uso corriente para la implementación de los circuitos electrónicos de interfaz. Debe desarrollarse o disponerse, no obstante, del software para implementar el procesamiento de las imágenes y producir las interfaces gráficas necesarias.

En base a experiencias previas sobre esta temática [8], [9], el presente trabajo pretende reflejar la incorporación de un sistema de visión artificial a una celda que fundamentalmente se emplea como recurso didáctico para ilustrar el concepto de sistema flexible de manufactura y para la enseñanza de programación de PLC, máquina herramienta de mecanizado por CNC y robot industrial. De esta forma, la aplicación de visión artificial permite enriquecer las prácticas experimentales que se pueden realizar con la celda.

Sobre la base de las premisas anteriores se presenta el desarrollo e implementación de un módulo de visión artificial, juntamente con el interfaz a computadora y conexión a PLC, para acoplar a un brazo robótico industrial que forma parte de una Celda de Manufactura Flexible, a fin de otorgarle al robot la capacidad de distinguir diferentes piezas dependiendo de su forma y color. La aplicación de visión artificial se diseñó para funcionar en la etapa de ensamble del proceso de la celda, para poder decidir que piezas ensamblar, a partir de las figuras geométricas graficadas en las mismas.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

Se utilizó software comercial dado su conjunto de herramientas y módulos, y su amplio uso en el sector de instrumentación industrial.

2. DESCRIPCIÓN GENERAL DE LA CELDA

En la Figura 1 se muestra la distribución de estaciones de trabajo pertenecientes a la Celda de Manufactura Flexible de cuatro etapas: alimentación, mecanizado, ensamble y empaquetado. La misma se encuentra instalada en los laboratorios de automatización y robótica de la Facultad de Ingeniería – UNCPBA.

La celda consiste de dos sistemas alimentadores y cinta transportadora de ingreso al área de operación del brazo robótico, el área de mecanizado compuesto por una fresadora universal reconvertida a control numérico, una mesa de ensamble y un empaquetador con cinta transportadora de salida. El elemento de manipulación es un robot industrial ABB IRB 1400, programable mediante lenguaje RAPID.

El sistema también comprende una estación con PC que alberga el interfaz de usuario, la estación para el control y programación del brazo robótico, máquina fresadora universal reconvertida a CNC y el PLC.

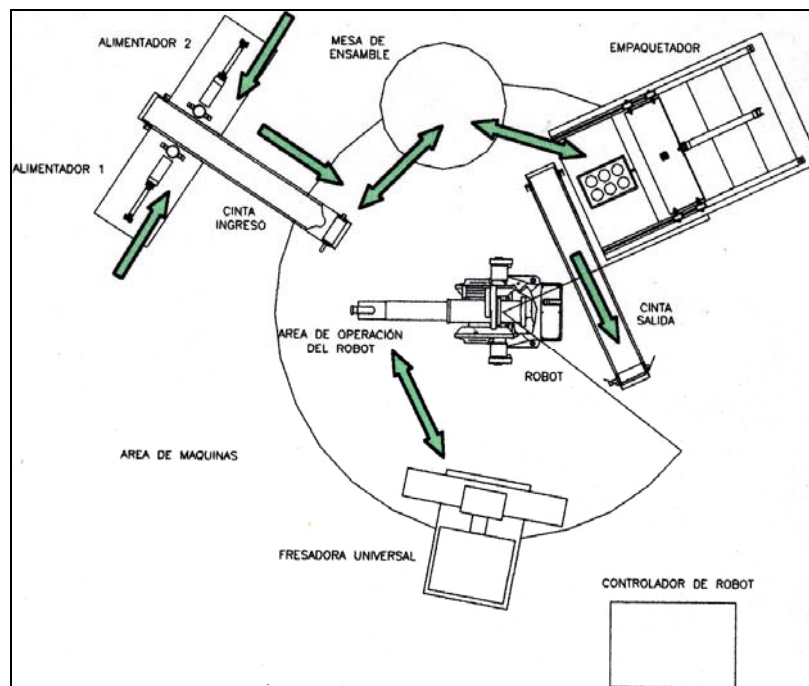


Figura 1 Distribución de estaciones de la Celda de Manufactura Flexible.

En la Figura 2 se muestra una fotografía correspondiente al laboratorio donde se ubica la celda, a fin de ilustrar la distribución de las estaciones que la componen.

3. MATERIALES Y MÉTODOS

El sistema de visión artificial implementado involucró diferentes etapas de diseño y desarrollo, incluyendo: a) el diseño de un módulo robusto para acoplar a la celda, b) la implementación de la comunicación serie entre la computadora contenedora de la aplicación para el procesamiento de imágenes y un microcontrolador responsable de enviar las señales a un PLC, c) el diseño e implementación del circuito de interfaz entre el microcontrolador y el PLC y d) la realización de las conexiones físicas necesarias a la celda y su programación, empleando lenguaje Ladder para el PLC y RAPID para el robot. Para la implementación del módulo se utilizó un entorno de programación gráfica comercial, una cámara web convencional y una placa basada en microcontrolador, programado en lenguaje C.



Figura 2. Fotografía de la Celda de Manufactura Flexible.

3.1. Módulo de visión artificial

La aplicación de visión artificial funciona durante la etapa de ensamble del proceso de la celda, para otorgarle al sistema y robot mediante, la capacidad de decidir que piezas ensamblar, a partir de las figuras geométricas graficadas en las mismas. Para optimizar el funcionamiento de la celda se implementó la capacidad de decisión entre tres diferentes figuras: círculo, triángulo y cruz. En la Figura 3 se pueden apreciar las piezas a ser ensambladas con sus figuras geométricas.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

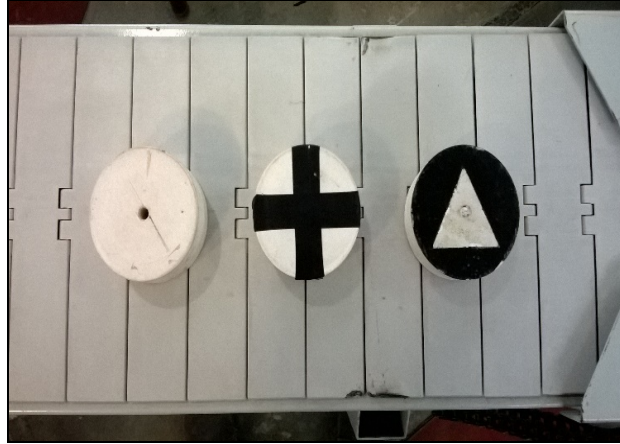


Figura 3. Piezas con figuras geométricas para realizar la visión artificial.

Se empleó una cámara Noganet, modelo NGW-6651, acoplada al robot, que entre sus características fundamentales posee interfaz de conexión USB 2.0, resolución dinámica de 1,3 pixeles, estática de 8 pixeles y modo de video de 24 bits de colores reales.

Para realizar la aplicación de visión artificial se empleó el ambiente de programación gráfica NI LabVIEW, ampliamente usado en instrumentación industrial. Se utilizó el módulo NI *Vision Development* el cual posee funciones programables para visión y mediante el cual pueden implementarse interfaces con dispositivos, empleando diferentes estándares de comunicación utilizados en la industria [10], [11]. Éste contiene los módulos de *VisionAcquisition* y *Vision Assistant*.

Mediante el primero de ellos se realiza la adquisición de la imagen a ser procesada mediante una cámara con conexión USB, se establece el tipo de cámara a utilizar y las características y propiedades con las que se adquirirá la imagen para realizar la visión artificial. En nuestro caso se usó la adquisición de datos continua. Mediante el segundo módulo se realiza el procesamiento de la imagen, se calibran todos los filtros y opciones para realizar la visión artificial a partir de la imagen obtenida. Se configuró el módulo *VisionAssistant* para detectar de manera directa un máximo de seis diferentes tipos de formas. En la Figura 4 se muestra el interfaz gráfico del módulo *Vision Assistant*.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

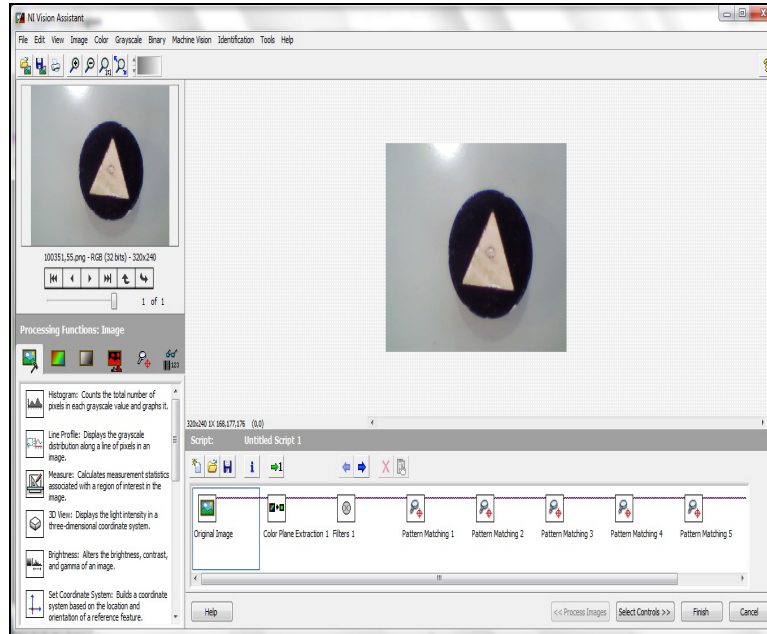


Figura 4. Herramienta para el procesamiento de la imagen adquirida.

Configurados los módulos mencionados de acuerdo a las necesidades, se los vincula en un programa realizado en LabVIEW, para enviar las respuestas obtenidas de la visión artificial a un microcontrolador, mediante comunicación serie, empleando el módulo de software de E/S universal NI VISA. Se diseñó el programa para entregar un número del 1 al 6 dependiendo de la pieza encontrada por la cámara y un 0 en caso de no encontrar objeto.

3.2. Comunicación entre computadora y microcontrolador

El microcontrolador constituye el vínculo entre la computadora que contiene la aplicación de visión y el PLC que controla la celda. Se utilizó una placa TI, modelo MSP-EXP430G2, la que contiene un microcontrolador MSP430, programable a través del ambiente de software de desarrollo integrado *Code Composer Studio*. El lenguaje de programación que se ha utilizado es C y el programa realizado consiste en que el microcontrolador reciba por comunicación serie, desde la computadora, números del 1 al 6 en código ASCII dependiendo de la figura que se haya reconocido a través del aplicativo de visión. Con esta información el microcontrolador, usando tres pines de salida, envía estos valores recibidos en números binarios hacia el PLC.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

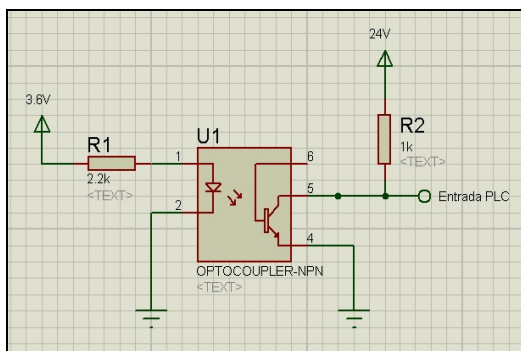
FoDAMI

3.3. Interfaz entre microcontrolador y PLC

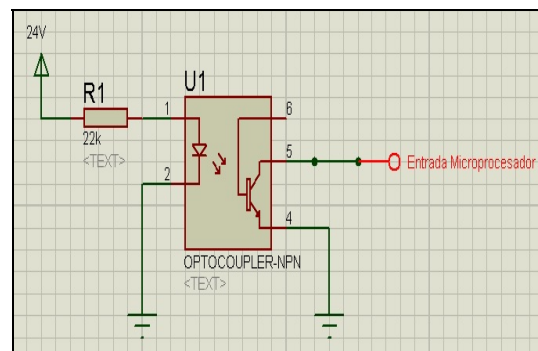
Se diseñó una placa de circuito impreso para implementar el interfaz entre el microcontrolador y el PLC, ya que el primero utiliza tensiones de 3.6 V como entrada y salida, y el segundo 24 V. Se usan cuatro puertos del PLC, tres de entrada y uno de salida; el de salida es necesario para que el PLC le dé una señal al microcontrolador para que le envíe el número binario dependiendo de lo que reciba; y los de entrada sirven para que el PLC reciba el número binario.

Para acondicionar las señales se decidió utilizar optoacopladores 4N31 para las entradas del PLC y 4N36 para la salida, en que se ha usado la resistencia interna de *pull up* del microcontrolador. La placa electrónica requiere de 4 optoacopladores y tres borneras dobles para que haya seis salidas y las conexiones con el sistema MSP-EXP430G2. En la Figura 5 se muestra un circuito de entrada al PLC y el circuito de entrada al microcontrolador. En la Figura 6 se muestra la placa de circuito impreso realizada.

La Celda de Manufactura Flexible está controlada por dos PLC los cuales pueden ser apreciados en la figura 7. Los PLC se programan mediante el software *Twido Soft* y el brazo robótico a través de su controlador empleando lenguaje RAPID. Con el sistema se realizó una aplicación didáctica para mostrar la acción del módulo de visión artificial, mediante la cual los estudiantes pueden interactuar, programar y realizar actividades con la celda.



a)



b)

Figura 5. Circuito de entrada al PLC (a) y de salida (b).



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

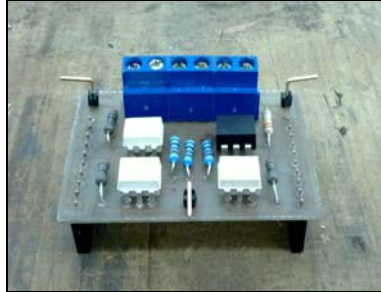


Figura 6. Placa de circuito impreso para el interfaz microcontrolador-PLC.



Figura 7. PLCs de la celda de manufactura flexible.

La aplicación consiste en que la cámara ubicada en el robot manipulador detecte que figura está a punto de agarrar y, de esta manera, si detecta que la pieza tiene un hueco, la mesa giratoria de ensamble no realiza ninguna acción, por otro lado, si se detecta una cruz, ésta girará 120° y si detecta un triángulo 240° .

El programa del robot se encarga de dar la señal de inicio al PLC1 y trasladar las piezas desde la cinta transportadora de ingreso hasta la mesa giratoria de ensamble.

El PLC1 es el encargado de manipular los actuadores y el PLC2 recibe la información del módulo de visión artificial, para enviarla al PLC1.

4. RESULTADOS

En la Figura 8 se muestra la cámara montada en la zona de la garra del robot. Con la pieza sobre la cinta de ingreso en movimiento y cuando se ubica debajo de la garra, se adquiere la imagen



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

correspondiente. La pieza continúa hasta llegar al interruptor de final de carrera, momento en que el sistema procesa la señal y el brazo robótico toma la pieza para transportarla a la mesa de ensamble. En la Figura 9 se puede observar el interfaz gráfico del aplicativo de visión artificial implementado en LabVIEW.

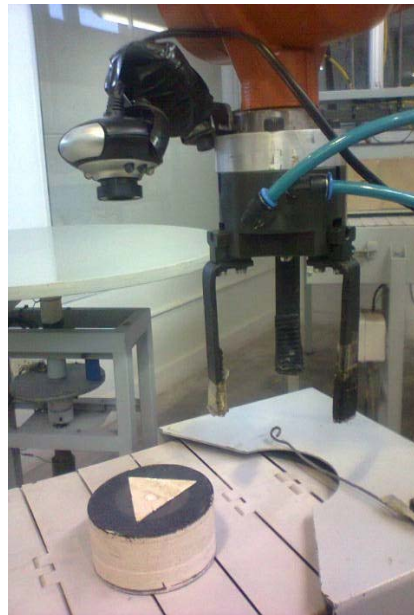


Figura 8. Cámara montada en el brazo robótico, ejecutando una aplicación didáctica.

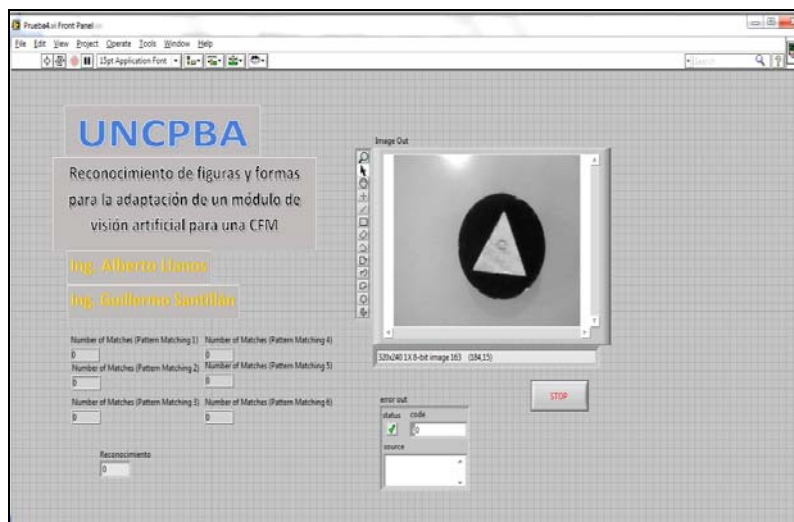


Figura 9. Interfaz gráfico de la aplicación de visión artificial.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL ÁREA
MECÁNICA
DE LAS
INGENIERÍAS

FoDAMI

3. CONCLUSIONES

Se implementó un sistema de visión artificial incorporado a un brazo robótico que forma parte de una Celda de Manufactura Flexible, para identificar diferentes tipos de piezas dependiendo de su forma y color. El sistema se emplea para realizar prácticas experimentales de laboratorio, ilustrando conceptos de manufactura flexible, para la enseñanza de programación de PLC y brazo robótico y el empleo de ambiente de programación para procesamiento de imágenes.

Para el sistema se utilizó una cámara comercial, de bajo costo relativo, cuya resolución ha resultado adecuada a la aplicación presentada. Se implementó además la comunicación entre la computadora donde se ejecuta el procesamiento y un microcontrolador que constituye el vínculo entre la computadora que contiene la aplicación de visión y el PLC que controla la celda. De esta manera se ha resuelto la implementación de un sistema de visión artificial, mediante la integración de elementos de software y hardware, existentes en el mercado. Para el procesamiento de las imágenes se empleó la plataforma comercial NI LabVIEW, dada su amplia posibilidad de recursos y soluciones, soporte a la adquisición de datos mediante comunicación USB y aceptación en aplicaciones industriales.

Actualmente la celda se utiliza en asignatura de Introducción a la Automatización Industrial para estudiantes de Ingeniería Industrial e Ingeniería Química, previo paso por Control de Procesos. También se la emplea en los últimos años de la carrera Ingeniería Electromecánica, integrando asignaturas del Área Mecánica y parte de Sistemas de Control. Diversas actividades realizadas por estudiantes se han reflejado en la realización de Proyectos Finales de Carrera durante los últimos años.

4. REFERENCIAS

- [1] J. Ruiz Quebrado. Los Robots en la Industria, Universidad Autónoma del Estado de Hidalgo - Instituto de Ciencias Básicas e Ingeniería, México, 2007.
- [2] M. Pena-Cabrera, H. Gómez, R. Osorio, I. López Juárez. "Object Location in Manufacturing Cells using Artificial Vision," Proc. Electronics, Robotics and Automotive Mechanics Conference, CERMA'09, Morelia, México, pp. 215-219, 2009.
- [3] Y. Liu, A. Hoover, I. Walker. "A Timing Model for Vision-Based Control of Industrial Robot Manipulators," IEEE Transactions on Robotics and Automation, vol. 20, nº 5, pp. 891-898, 2004.



IV CAIM 2014

Cuarto Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica



UNIVERSIDAD NACIONAL DEL NORDESTE
FACULTAD DE INGENIERÍA
Resistencia Chaco - Rep. Argentina

FORO
DOCENTE
DEL AREA
MECANICA
DE LAS
INGENIERIAS

FoDAMI

- [4] J. G. Zavala Villalpando, J. A. Hernández Figueroa, J. P. Freyre Sillero. "Implementación de un Sistema de Visión para Control de un Brazo Robótico," Pistas Educativas – Actas de la II Conferencia de Desarrollo Profesional en Ingeniería Mecatrónica, n° 99, Instituto Tecnológico de Celaya, México, pp. 87-101, 2012.
- [5] J. Tort Guzmán. Adquisición y Procesado de Imágenes para el Control de Calidad en Piezas de Mecanizado, Universitat Politècnica de Catalunya, España, 2007.
- [6] M. Peña, I. López, J. R. Osorio. "Robot Vision Methodology for Assembly Manufacturing Tasks," Proc. of 4th Congress of Electronics, Robotics and Automotive Mechanics, Morelos, México, 289-294, 2007.
- [7] C. Soria, R. Carelli, R. Kelly, J. M. Ibarra Zannatha. "Control de Robots Cooperativos por Medio de Visión Artificial," Actas del XVI Congreso de la Asociación Chilena de Control Automático, pp. 1-6, 2004.
- [8] F. Déber, G. Santillán, C. Verucchi, G. Acosta. "Incorporación de Visión Artificial en Celda de Manufactura Flexible," Actas del Segundo Congreso Argentino de Ingeniería Mecánica, San Juan, Argentina, 2010.
- [9] B. O. Suntaxi Correa, A. E. Llanos Escobar. Diseño e Implementación de un Módulo Complementario al Robot Kuka KR16 para la Adaptación de una Celda Flexible de Manufactura en el Laboratorio de Robótica Industrial de la ESPE, Escuela Politécnica del Ejército, Sangolquí, Ecuador, pp. 1-10, 2013.
- [10] National Instruments. NI Vision for LabVIEW™ User Manual, National Instruments Corporation, 2005.
- [11] National Instruments. Release Notes – NI Vision 8.2.1 Development Module, National Instruments Corporation, 2007.