

DISEÑO DE UN SISTEMA DE INSPECCIÓN VISUAL, EN ARQUITECTURA SCADA

Chávez Guzmán Carlos Alberto¹, Rodríguez Tapia Bernabe¹, Esqueda Elizondo José Jaime², Jiménez Beristáin Laura², Reyes Martínez Roberto Alejandro², Guerra Frausto Ricardo Jesús Renato², Navarro Peraza Carlos³

¹Facultad de Ingeniería y Negocios - Universidad Autónoma de Baja California
Calz. Universidad No. 1, Fracc. San Fernando, Tecate B.C., C.P. 21480, Tel. (665) 654 33 40
cchavez@uabc.edu.mx, berna_rodriguez85@hotmail.com

²Facultad de Ciencias Químicas e Ingeniería - Universidad Autónoma de Baja California
Calz. Tecnológico 14418, Mesa de Otay, Tijuana, B.C., C.P. 22390, Tel. (664) 6821 033 – 5800
jjesqueda@uabc.edu.mx, ljimenezb@uabc.edu.mx, roberto@uabc.edu.mx, jguerra@uabc.edu.mx

³Ingeniería en Mecatrónica - Universidad Tecnológica de Tijuana
El Refugio Quintas Campestre, Tijuana, B.C., C.P. 22253, Tel. (664) 969 47 00
carlos.navarro@uttijuana.edu.mx

RESUMEN

Se desarrolla un sistema de Supervisión de Control y Adquisición de Datos (Scada) didáctico aplicado a un proceso de inspección de calidad. El sistema completo está formado por un robot manipulador de 6 GDL, un controlador lógico programable (PLC) compacto, una cámara web, un conmutador Ethernet y un subsistema electro-neumático compuesto de tres cilindros de doble efecto. El sistema de inspección de calidad es modelado por medio de Redes de Petri y su implementación incluye una interfaz gráfica desarrollada en LabView, el control del proceso se realiza por el PLC y el posicionamiento de la cámara por el robot manipulador. El contar con un sistema Scada como el descrito anteriormente facilita que el alumno desarrolle las competencias establecidas por la materia de Automatización Avanzada en el proceso de enseñanza-aprendizaje.

1. INTRODUCCIÓN

Los sistemas Scada se están posicionando muy fuertemente en la industria regional, sin embargo los costos de su implementación son elevados aun para cierto sector de la industria maquiladora, debido a que los sistemas utilizan tecnología de punta y son diseñados ad hoc. En el ámbito académico, son pocas las instituciones privilegiadas con estos sistemas, por esta razón es importante que los profesores desarrollen sus prototipos didácticos de acuerdo a las necesidades e inventarios de cada centro educativo [1].

El objetivo principal es desarrollar un prototipo didáctico que simule un sistema de inspección de calidad a bajo costo, con

características similares a los empleados por la industria. Un punto importante en este diseño es la arquitectura abierta para que en un futuro se añadan diferentes módulos de monitoreo y control.

2. DESARROLLO

La integración de las distintas tecnologías que componen el sistema Scada (ver figura 1) y su comunicación en la red con topología estrella, requieren de diversos protocolos de comunicaciones, el Toolkit de OPC Server de NI, trae integrados los más comunes, pero desafortunadamente carece del Drivers para comunicarse con el PLC Festo utilizado en este proyecto.

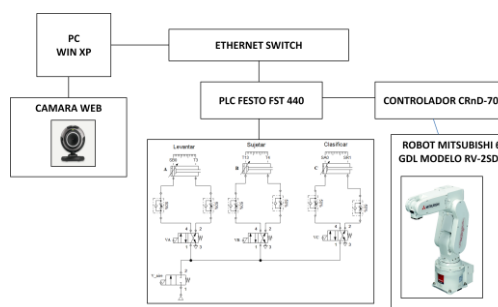


Figura 1. Estructura del sistema de inspección de calidad.

Otra dificultad común es la programación de los distintos elementos como lo es el robot, el PLC y los algoritmos de reconocimientos de patrones, aunado a esto, se encuentra el problema de iluminación para que la cámara funcione correctamente. La integración

del sistema Scada requiere de conocimientos multidisciplinarios y la tecnología que los compone debe estar equipada con distintos puertos de comunicación, de preferencia Ethernet para mayor simplicidad. La programación de la interfaz hombre-máquina (HMI) fue desarrollada en LabView, está compuesta de: una alarma, el monitoreo de las variables de los estado del proceso, se controla el arranque y paro del sistema y se generan datos estadísticos.

2.1. MODELADO DE LAS DINÁMICAS DEL PROCESO.

El modelado del sistema de inspección de calidad es obtenido por medio de una red de Petri [2], como se muestra en la figura 2, en ella se observa el flujo de las secuencias de las operaciones. En la tabla 1 y 2 se describen los lugares y las transiciones, para un mejor entendimiento. La red se representa por el siguiente conjunto de lugares y transiciones $P = \{P1, P2, \dots, P13\}$ y $T = \{t0, t1, \dots, t17\}$, y los pesos de cada uno de los arcos $w(p_i, t_j)$ y $w(t_j, p_i)$ son uno. La red de Petri de la figura 2, en resumen desarrolla la siguiente función: Recibe la pieza, la sujeta con el sistema Electroneumático, inspecciona con la cámara web y el robot, clasifica con el software de procesamiento de imágenes, y por ultimo vuelve a iniciar el ciclo.

Tabla 1. Lugares del sistema de Inspección

Lugar	Descripción
P0	abrir válvula de aire
P1	recibe y cuenta pieza
P2	levantar pieza
P3	sujetar pza.
P4	posición 1 del robot
P5	adquirir y procesar imagen 1
P6	posición 2 del robot
P7	adquirir y procesar imagen 2
P8	cuenta pza. aceptada
P9	cuenta pza. rechazada
P10	soltar pza.
P11	bajar pza.
P12	rechazar pza.
P13	aceptar pza.

Tabla 2. Transiciones del sistema de inspección

Trans.	Descripción
t0	arranque del sistema
t1	sensor de pza. en posición
t2	pza. de entrada contada
t3	sensor de pza. levantada
t4	sensor pza. sujeta
t5	robot en posición 1
t6	imagen 1 aceptada
t7	robot en posición 2
t8	imagen 2 aceptada
t9	pza. aceptada contada
t10	imagen 1 rechazada
t11	imagen 2 rechazada
t12	pza. rechazada contada
t13	sensor de pza. liberada
t14	sensor bajar pza. rechazada
t15	sensor bajar pza. aceptada
t16	sensor pza. rechazada y sensor de pza. nueva en posición
t17	sensor pza. aceptada y sensor de pza. nueva en posición

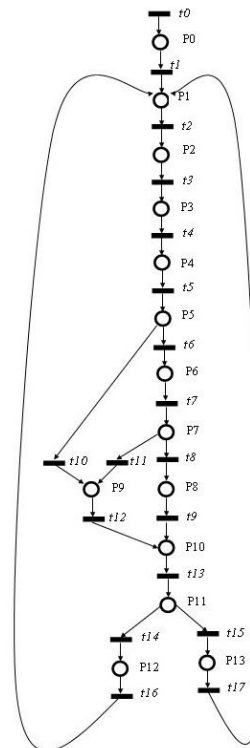


Figura 2. Red de Petri del sistema de inspección de calidad.

2.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE INSPECCIÓN DE CALIDAD.

El sistema de inspección completo se divide para su análisis y diseño en varias secciones, como es el brazo manipulador, los tres cilindros de doble efecto, para la sujeción y clasificación del objeto, la adquisición y procesamiento de la imagen.

2.2.1. DISEÑO DEL SISTEMA ELECTRONEUMÁTICO.

En la figura 3, se muestra el diagrama formado por, el cilindro A para levantar la pieza, cilindro B para sujetar y cilindro C para clasificar, la ecuación que describe su dinámica es la siguiente:

$$x = A+, B+, B-, A- \quad (1)$$

el cilindro C clasifica la pieza, después que la función IMAQ Match Pattern, determina si corresponde con el patrón de memoria.

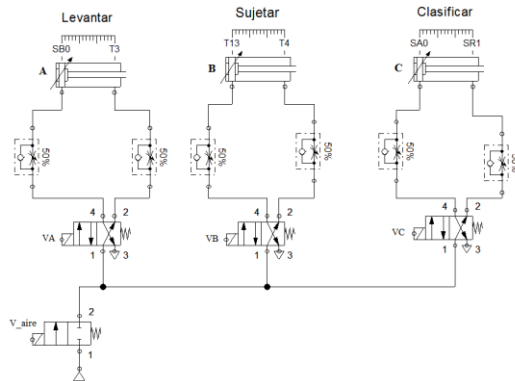


Figura 3. Diagrama electroneumático del sistema de calidad.

En las válvulas 4/2 vías monoestables, activadas por los lugares de la red de Petri P0, P3 y P12, es importante considerar que se debe mantener activada la salidas O0.2 (V_aire), O0.3 (VA), O0.4 (VB) e O0.5 (VC), hasta que la red de Petri las desactive, esto significa que en el código del PLC estas válvulas estarán activadas por diversos lugares.

2.2.2. DISEÑO DEL SISTEMA DE CONTROL DISCRETO POR EL PLC.

El control del sistema de inspección de calidad es realizado por el PLC FEC 440 de Festo de 16 entradas y 8 salidas digitales, el cual tiene una comunicación estrecha con las electroválvulas el robot manipulador y el procesamiento de las

imágenes en la PC, las primeras comunicaciones las realiza con las entradas y salidas binarias (ver figura 4) y la ultima se realiza por bus Ethernet, como se observa en la figura 1.

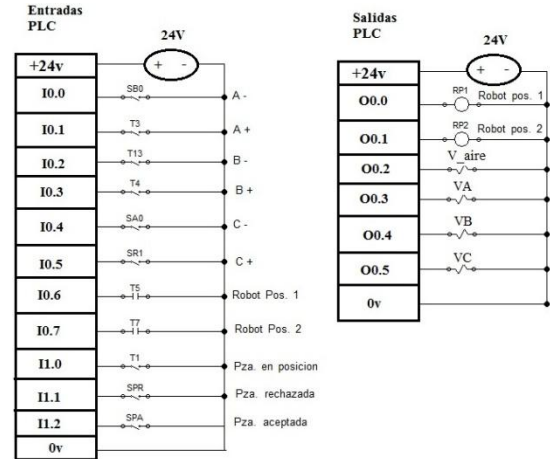


Figura 4. Diagrama de conexión de entradas y salidas del PLC.

La configuración del Bus Ethernet del PLC inicia al configurar el IP del controlador dentro del dominio de la PC, primero acceder al FST de Festo y accionar el modulo "Driver Configuration" en la ventana del proyecto, continuar con la opción TCPIPFC2, y por ultimo asignar el IP del controlador, como se observa en la figura 5.



Figura 5. Configuración del IP en el PLC

Continuar la configuración al importar el modulo CFM IP_TABLE y asignar el numero 0. Este modulo es un programa precompilado que permite crear una tabla con todas las direcciones IP de la red, ver figura 6. Para concluir la configuración del IP, se crea una subrutina llamada P0 que deberá correr primero en cada ciclo de programa del PLC para actualizar la información de los datos en la red, la subrutina

contendrá el código en lista de sentencias [3], que se muestra en la figura 7.

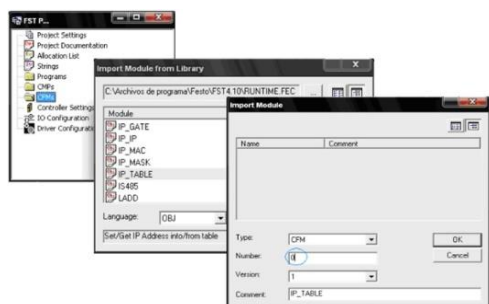


Figura 6. Modulo CFM IP_TABLE.

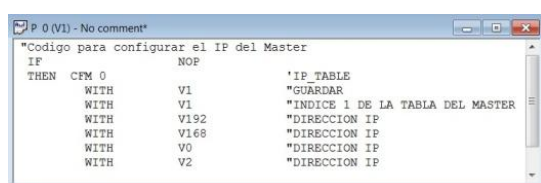


Figura 7. Código de configuración del IP en el PLC.

La etapa de codificación de la red de Petri, es necesario crear otra subrutina llamada P1 en el controlador en lenguaje de contacto o diagrama escalera [4]. Por cuestión de espacio no es posible presentar la red completa codificada por lo tanto se presenta una pequeña muestra del proceso de codificación con los primeros dos lugares de la red, como se observa en la figura 7.

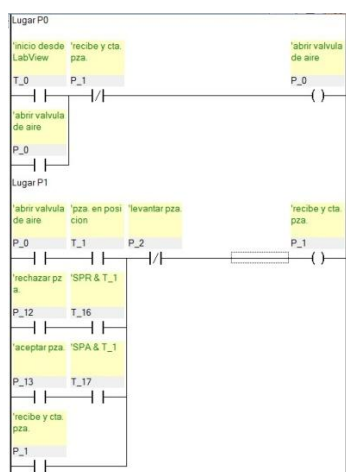


Figura 7. Red de Petri en diagrama de contacto del PLC.

2.2.3. PROGRAMA DEL BRAZO MANIPULADOR.

El programa para posicionar el brazo manipulador Mitsubishi modelo RV-2SDB de 6 GDL, es relativamente sencillo como se muestra en la figura 8, es editado, compilado y descargado por Melfa RT ToolBox2, al controlador modelo CRnD-700 por vía Ethernet. La dirección IP asignada al brazo es 192.168.0.1. El programa [5] se divide en tres secciones, la primera, es la inicialización, en ella se establecen la velocidad máxima, la aceleración, la posición de inicio y poner a cero las salidas del robot, seguida de una bifurcación para determinar a qué posición debe ir el brazo, y por último la comunicación con el PLC a través de los comando M_IN() y M_OUT() para determinar a donde se debe mover e informar cuando está en posición.



Figura 8. Programa del robot manipulador.

El conjunto de posiciones en grados, que recorre el brazo manipulador se observan en la tabla 3, las primeras coordenadas {X,Y,Z} son para posicionar el brazo manipulador en el área de trabajo y las últimas tres {A,B,C} son para orientar la herramienta (cámara).

Tabla 3. Posiciones del área de trabajo del robot

P	X	Y	Z	A	B	C
P1	198	6	480	-175	-8	-39
P2	290	13	218	-93	-44	-85
P3	436	20	449	-177	-2	-43

En la figura 9 se observa las conexiones de entradas y salidas del robot manipulador [5] al PLC de Festo, concernientes a los comandos M_IN() y M_OUT().

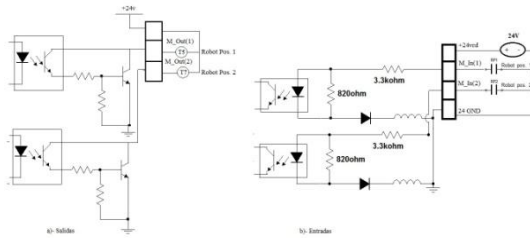


Figura 9. Diagrama de conexión de entradas y salidas del Robot.

2.2.4. COMUNICACIÓN ETHERNET ENTRE LABVIEW Y EL PLC.

La comunicación por el bus Ethernet entre el PLC y la PC, se realiza con el software IPC Data Server de Festo, que utiliza el protocolo de comunicación de Windows denominado Dynamic Data Exchange (DDE) [6], como se observa en la figura 10, tiene una capacidad máxima para comunicarse hasta con 48 PLC conectados en red, en la misma figura se presentan las primeras 16 opciones de posibles PLC conectados a la red, y el botón IPC1..48 para configurar su comunicación, este proceso se realiza por separado, permitiendo personalizar la comunicación con cada nodo (IPC) de la red.

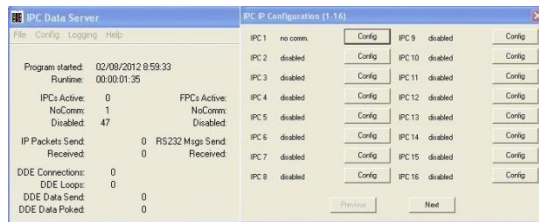


Figura 10. IPC data server de Festo.

A continuación, la configuración del IP del PLC en el IPC data server se logra al habilitar el nodo IPC 1, asignar la dirección IP del PLC (192.168.0.2) y determinar los privilegios en la red, en el caso del sistema de inspección de calidad es necesario la transferencia de información referente a entradas, salidas y banderas, como se muestra en la figura 11. El procedimiento para leer una entrada o bandera con LabView desde el PLC se realiza con el comando DDE Request, sus parámetros de entrada son: el número de referencia del servidor DDE, la entrada o bandera a leer (item), y su parámetro de salida es el dato correspondiente en formato cadena, ver figura 13.

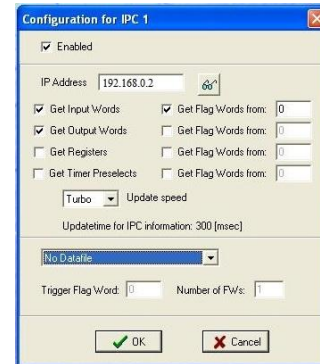


Figura 11. Configurar el IP del PLC.

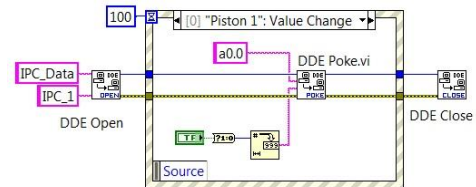


Figura 12. Accionar una salida del PLC.

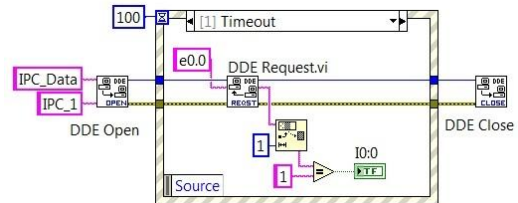


Figura 13. Lectura de una entrada del PLC.

2.2.5. ALGORITMO DE PROCESAMIENTO DE IMÁGEN.

El procesamiento digital de imágenes [7] se divide en tres secciones: generar la imagen patrón, adquisición de la imagen por la cámara web y procesamiento de la imagen. La primera parte se obtiene con el Vision Assistant de NI, accionando la pestaña Acquire Images, seleccionar Acquire Image (USB), Acquire Single Image y por ultimo guardar la imagen patrón. En la etapa de adquirir la imagen con la webcam desde LabView, se logra con el Toolkit de Imaq Vision, como se observa en la figura 14.

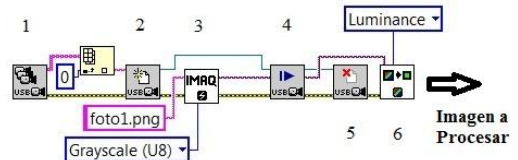


Figura 14. Algoritmo para capturar imagen con cámara web.

El primer comando Enumerate Camera, crea una lista de todas las cámaras USB disponibles, el comando (2) Init, inicializa la cámara reconocida, el comando (3) Create, genera un espacio de memoria para la imagen adquirida por la cámara, el comando (4) Snap, adquiere una sola imagen, el comando (5) Close, cierra la sesión abierta por el comando Init y el comando (6) Extract Single Color Plane, extrae un solo plano de color, en el caso de extraer intensidad o luminiscencia nos genera una imagen de 8 bits a escala de grises, que es enviada a la sección de procesamiento. La última etapa de esta sección, es el reconocimiento del patrones, esto es posible con cuatro funciones, como se observa en la figura 15. El algoritmo inicia con la función (1) Create, este comando ya fue explicado al inicio del parrafo, a continuación el comando (2) Imaq Read Image and Vision Info, lee una imagen de un archivo, en este caso el patrón a buscar, el comando (3) IVA Match Pattern Algorithm, este algoritmo recibe como parámetros, el patrón a buscar, la imagen donde se realiza la búsqueda, y ajustes como numero de patrones a buscar, variaciones de ángulos, el nivel de correlación, y entrega como resultado en número patrones localizados en la imagen, la última función Imaq Dispose, libera el espacio de memoria asignado por la función Create.

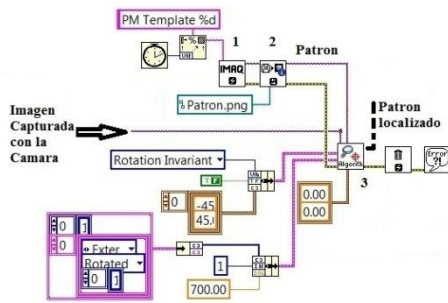


Figura 15. Algoritmo de reconocimiento de patrones.

3. RESULTADOS

La integración del sistema (ver figura 16), en sus diversas secciones es todo un reto para el estudiante del Programa Educativo de Ingeniería en Mecatrónica, ya que pone de manifiesto sus conocimientos y habilidades técnicas, al conjugar diversas plataformas de telemetría y control, con el apoyo de este prototipo el profesor de la unidad de aprendizaje de Automatización Avanzada se le facilita la impartición del programa.

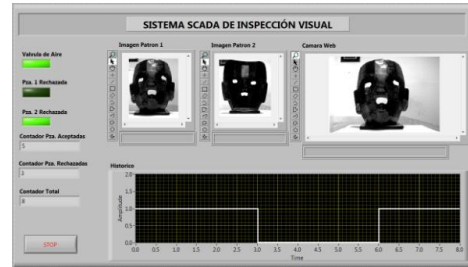


Figura 16. Interfaz Grafica del Sistema de Inspección.

4. CONCLUSIONES

Se concluye que el sistema Scada basado en el protocolo de comunicación DDE funciona correctamente en la topología propuesta, logrando un buen monitoreo y control del sistema, la desventaja es que solo funciona en el sistema operativo Windows, la utilización de una cámara web como sensor es ineficiente, para que operen de manera aceptable debe ubicarse en un entorno controlado, lo cual dificulta su utilización, por lo tanto se recomiendan utilizar una cámara de uso industrial como por ejemplo la NI 17xx Smart Camera, el inconveniente es que su costo oscila desde los \$50,000.00 hasta los \$100,000.00 pesos dependiendo del modelo.

5. BIBLIOGRAFÍA

- [1] Cihan Sahin, Emine Dogru Bolat, Mevlut Karacor, *Development of OPC based scada system using Siemens CPU 224 for education purposes*, e-Journal of New World Sciences Academy, Vol. 7, Num. 2, April 2012, ISSN 1308-7231.
- [2] Uzam, Murat, On suboptimal supervisory control of Petri nets in the presence of uncontrollable transitions via monitor places, *International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, Vol. 47, Jun 2010.
- [3] R. Conde Festo Corporation, *Introduction to statement list programming*, Ed. Festo Corporation, 1999.
- [4] B. Plagemann, *Manual ladder diagram for Festo controllers*, Ed. Festo KG, 1991.
- [5] Mitsubishi Industrial Robot, *CRnQ/CRnD Controller, Instruction manual*, Mitsubishi Electric Corporation, 2009.
- [6] Jonas Berge, *Software for Automation: Architecture, integration, and security*, Ed. The Instrumentation Systems and Automation Society, 2005, ISBN 1-55617-898-0.
- [7] National Instruments, *IMAQ user manual*, National Instruments Corporate, 2004.