

## La mecatrónica: sistemas de automatización en serie

*Ing. Juan Pablo Pazmiño Piedra- Wilson Patricio Quintuña Padilla\**

**T**odo proceso industrial se maneja bajo diversos sistemas, sean estos informáticos, eléctricos, neumáticos, electrónicos, mecánicos, etc., por tanto, es necesario que en la empresa moderna, se domine todos los bloques involucrados en la producción, a fin de solventar las necesidades que se presenten. Por tanto, el talento humano no debe trabajar por separado, debe ser un solo grupo cooperativo de trabajo, con el fin de solventar, mantener y aprovechar al máximo dichos sistemas.

Como es lógico, el trabajo va encaminado al conocimiento y dominio de los procesos y de la tecnología que en ella están presentes, por tanto, no es probable, que se dependa de un experto en todas las ciencias, es necesario la conjunción de varias especialidades. Aquí se reflejará el concepto de aprendizaje en grupos de apoyo, involucrado también desde una óptica de la tecnología actual, que así lo exige. No es necesario el descubrimiento de nuevas ciencias, como así aparenta ser la mecatrónica, es necesario esforzarse por reforzar los protocolos de comunicación entre las diferentes ciencias, encaminadas a la consecución de un solo sistema conformado por varios y diferentes componentes, acordes a su especialidad.

El inconveniente surge cuando las escuelas de formación técnica superior, no presentan laboratorios adecuados para dicho fin. Por tanto, el desarrollo de un sistema acorde a estos condicionamientos, es necesario, ya que posibilita una alternativa muy viable en la utilización de nuevas técnicas y herramientas para el aprendizaje y experimentación.

Antes de la elaboración de nuestra tesis de grado, previa a la obtención del título de ingenieros electrónicos, creímos conveniente

---

\* *Docentes de la carrera de Ingeniería electrónica de la UPS Sede Cuenca.*

hacer una profunda reflexión que se encuentra orientada a desarrollar un proyecto, acorde con la actuales exigencias tecnológicas y retos de competitividad a la que se encuentra abocada la gran industria, por ejemplo muy a pesar del criterio errado de muchos empresarios de nuestro país, que a la gestión tecnológica la consideran como la aplicación de un tributo; y no, como lo que en realidad es: una inversión, que se contribuye como característica de una situación económica y financiera, cuyo efecto propende a reflejarse en aquella colectividad que obviamente anhela el crecimiento en sus diversas áreas.

Por lo expuesto, y tomando en cuenta el extenso campo de aplicación de la electrónica y su consiguiente desarrollo científico y tecnológico, hemos considerado como ineludible la necesidad de trabajar sobre un proyecto que abarque diferentes especializaciones de la ingeniería, que así lo exige, tales como la informática, electricidad, electrónica y la mecánica industrial.

El proyecto, consiste en el diseño y construcción de un prototipo de banco didáctico mecatrónico, que maneje un sistema industrial de producción en serie para la selección, clasificación, traslado y ubicación de piezas metálicas que posteriormente son soldadas automáticamente, mediante un brazo mecánico soldador, proceso en el cual, se involucra a la mecánica como eje fundamental en la construcción del banco, y en este caso especialmente a la ingeniería neumática, la cual es manejada mediante dispositivos eléctricos y electrónicos comandados mediante un software especializado desde la PC y microcontroladores PIC; siendo estos, parámetros de la tecnología moderna de producción y de procesos en serie.

Sobre el banco mecatrónico, los investigadores dispondrán de un sistema que permitirá la experimentación de los fundamentos teóricos de manera más directa, conjugando los conceptos físicos, ya sean eléctricos, mecánicos, o de otro tipo de especialidad, dirigidos para profesores y estudiantes a nivel de ingeniería.

También se posibilita que el profesor elabore prácticas de aprendizaje, con recursos más propicios para la formación de nuevos ingenieros y la actualización de profesionales, en una formación práctica continua, en función a las tendencias de trabajo cooperativo necesario en los actuales momentos, partiendo de la necesidad de nuestra propia Universidad, hasta el requerimiento de la industria y de la nueva era tecnológica.

*Los bloques con lo que cuenta el proyecto con los siguientes:*

- \* Bloque de visión artificial.
- \* Bloque de bandas transportadoras.
- \* Bloque neumático.
- \* Bloque robotizado
- \* Bloque procesador del banco.

Hay que recalcar que cada uno de los bloques puede trabajar de manera independiente, para que de esta manera el aprendizaje sea totalmente progresivo y luego ir vinculando los bloques siguientes hasta llegar a ensamblar todo el sistema mecatrónico.

## **1. Bloque de visión artificial**

La visión por computador se está convirtiendo rápidamente en un factor clave en el desarrollo de la calidad total dentro de los diferentes procesos de automatización industrial.

Su implementación en una empresa genera un aumento en el nivel de producción y una reducción en los costos de fabricación, elevando los niveles de competitividad en el mercado nacional e internacional.

La visión por computador permite inspeccionar el proceso de producción sin fatigas ni distracciones, facilitando la cuantificación de las variables de calidad traduciéndose en un mejoramiento continuo.

En la actualidad, en muchos procesos de fabricación, los límites de detección de defectos han superados la percepción del ojo humano; por esta razón las empresas del mundo moderno han visto la necesidad de crear un sistema que permita controlar en forma precisa y acertada la calidad de sus productos. Es así como nace la visión artificial o visión por computador.

La visión por computador es un sistema informatizado que captura la imagen de un objeto determinado en una línea de producción y procede a la identificación de diferentes parámetros para el control de calidad, como el color la textura, la forma, la estructura interna y externa del producto, siendo el presente proyecto enfocado al análisis de forma y área de pequeñas figuras geométricas.

Los sistemas de visión artificial completan tareas de inspección con un alto nivel de flexibilidad y repetibilidad, nunca se cansan, ni se aburren ni se distraen y pueden ser puestos a trabajar en ambiente donde los inspectores humanos no podrían trabajar bajo condiciones de seguridad. Mientras los sistemas de visión artificial exceden a los operadores humanos en términos de ambiente de trabajo, sí dependen de la forma en que el ojo humano interactúa con el cerebro para procesar imágenes y tomar decisiones. Para un inspector humano, los ojos proporcionan información del ambiente que lo rodea, el cerebro interpreta lo que los ojos ven basado en experiencias previas con objetos similares.

Basándose en esta interpretación, se toman decisiones y acciones. En forma similar, los sistemas de visión artificial ven al objeto, lo interpretan y toman decisiones.

Resumiendo, las ventajas atractivas de las máquinas industriales de visión artificial respecto al sistema de visión humano son:

- \* La inspección humana es vulnerable. Los Sistemas de visión pueden ser emplazados en ambientes peligrosos y en condiciones extremas de espacio.
- \* La inspección humana es subjetiva. Los sistemas de visión pueden realizar medidas con gran objetividad y repetitividad.
- \* La inspección humana es falible. Los sistemas de visión nunca comenten un error por aburrimiento o por falta de atención.
- \* La inspección humana puede ser demasiada lenta. Los sistemas de visión suelen trabajar en tiempo real respecto al proceso manufacturero.
- \* La inspección humana es insensible a cambios sutiles que afectan a la totalidad de la escena. Los sistemas de visión pueden observar tales cambios y reaccionar ante ellos con objetividad.
- \* La inspección humana es reticente. Los sistemas de visión pueden estar integrados en el proceso manufacturero, haciendo de bucle de realimentación.

### *Importancia y utilización del bloque de visión artificial propuesto*

La importancia de este prototipo es tratar de proponer un modelo didáctico para la reducción y ahorro de recursos, en el control de calidad total de la pieza a soldar, es decir, optimizar el tiempo de selección de las piezas a través de una clasificación más rápida y objetiva mediante visión artificial.

## 1.1. Procesamiento de la imagen

Teniendo en cuenta los conceptos teóricos de la visión artificial, se seguirá los fundamentos del procesamiento de imágenes, con el fin de estructurar los pasos más apropiados para el desarrollo de este bloque. Dicha estructura se define de la siguiente manera:

- \* Adquisición y digitalización de la imagen..
- \* Segmentación.
- \* Clasificación.
- \* Toma de decisiones.

A continuación se describirá brevemente cada uno de los puntos mencionados.

### *Adquisición y digitalización de la imagen*

Para poder realizar un buen control de calidad de la pieza a soldar, es necesario captar la imagen con la mayor nitidez posible, por lo cual, el tipo de iluminación que se utilice es fundamental para una buena obtención de la imagen de la pieza metálica en cuestión, ya que tendrá fundamentalmente eliminar la sombras y reflejos producidos en la escena de captación.

Dicha fuente luminosa debe incidir únicamente sobre la zona a inspeccionar, sin deslumbrar a los operarios que trabajen cerca del sistema, o que pasen por la zona. Para ello, se ha implementado una pantalla plástica con recubrimiento interior de fibra de vidrio, abierta únicamente por la zona inferior de la misma, donde se ubicará la pieza. En el interior de esta caja, se ha situado la cámara y dos fuentes luminosas potentes, dos tubos fluorescentes con reactancia electrónica de alta frecuencia.

Para poder captar la imagen y ser transportada hacia el computador se necesitará un sensor captador que puede ser una cámara digital a color o monocromo que produce una imagen completa del dominio del problema, para luego después de capturar la imagen a inspeccionar enviar dicha información a la computadora para ser analizada.

La información que será adquirida por la cámara digital se almacenará en un archivo de tipo mapa de bits para Windows (BMP-Bit Map Protocol). Este archivo con formato BMP no es más que una matriz

ordenada de bytes. Cada byte representa un píxel. Este formato nos proporciona información sobre cómo es la imagen, cuántos colores utiliza, cómo ha de usarse la paleta de colores, qué paleta de colores hay que volcar al sistema, qué tamaño tiene la imagen (en píxeles), etc.

### *b) Segmentación*

El primer paso en el análisis de imágenes suele ser la segmentación, que divide la imagen en los distintos objetos que la componen. El nivel de dicha subdivisión depende del problema que se pretenda resolver en cada caso. En general, la segmentación es uno de los procesos más difíciles en el procesamiento de imágenes. Este paso determina la correcta resolución o el fallo en el análisis, por lo que se debe poner mucho cuidado en este paso.

Para el procesamiento de la imagen se utilizará como software MATLAB, el cual fue elegido por su agilidad en el procesamiento matemático, fundamental en el análisis de la imagen. Siendo así, procesos matemáticos como la correlación para el filtrado de la imagen, la transformada de Laplace para la detección de bordes y la teoría de la transformación rápida de Fourier han desarrollado un papel clave en el procesamiento de imágenes debido a la gran versatilidad que tienen en cuanto se refiere a la mejora, restauración, codificación y descripción de imágenes.

### *Clasificación*

La clasificación se vuelve en el proceso más importante, ya que es en este, en el que se genera el resultado del control de calidad realizado en la pieza. Se tendrá que analizar diversos patrones para tomar la decisión si la pieza es aceptada, es decir, ha cumplido con las medidas específicas y tiene la forma esperada.

### *Las redes neuronales artificiales*

Existen numerosas formas de definir lo que son las redes neuronales, desde definiciones cortas y genéricas hasta las que intentan

explicar más detalladamente lo que significa red neuronal o computación neuronal. Veamos un par de ellas:

- \* Una nueva forma de computación, inspirada en modelos biológicos.
- \* Redes neuronales artificiales son redes interconectadas masivamente en paralelo de elementos simples (usualmente adaptativos) y con organización jerárquica, las cuales intentan interactuar con los objetos del mundo real del mismo modo que lo hace el sistema nervioso biológico. [Kohonen 88c].

El proceso de clasificación se lo ha realizado mediante la aplicación de redes neuronales artificiales, capaces de reconocer y generar respuestas con un gran porcentaje de certeza sobre la forma de la misma, por el cual se podrá catalogar a la pieza como cuadrada, rectangular, triangular o irregular.

Para ello se trabajará con diferentes aplicaciones de redes neuronales Backpropagation.

El trabajo se lo realizará específicamente con tres redes neuronales. No se puede perder de vista de la presente tesis es de carácter totalmente académico, por lo cual lo que se ha tratado de hacer es que el estudiante tenga diversos puntos de vista en cuanto a la utilización de redes neuronales para la adquisición de patrones a través de una imagen. Para la red número uno se tendrá como patrón de entrenamiento la imagen tal como se obtiene luego de pasar por los diferentes procesos de visión descritos en los puntos anteriores. La segunda red se obtendrá luego de pasar la imagen por el proceso matemático mediante el cual se obtiene la transformada de Fourier de la imagen, y la tercera se realizará mediante el proceso de firmas digitales, en el cual se obtendrá gráficamente la firma como patrón de entrada a la red previa a su entrenamiento. En el proceso de análisis de las firmas digitales se detectó prácticamente que obtenía un mejor resultado siempre que a la firma digital ya obtenida se le extraía la transformada de Fourier, por lo cual se procedió a implementar dicho cambio.

#### *d) Toma de decisiones*

Como se puede notar el proceso de transformación de la imagen fundamentalmente tiene por objeto mejorar la respuesta de la red neuronal que

será implementada para la detección de la forma de la imagen (cuadrada, rectangular, triangular o irregular),

De allí la importancia en su implementación ya que permitirá no solo obtener la forma exacta del elemento, sino el área de la pieza analizada mediante el conteo de los píxeles involucrados, y de este modo procesar la información y actuar, ya sea rechazando o aceptando la pieza hacia la banda transportadora. Aquí toda la teoría y práctica sobre las redes neuronales artificiales y el procesamiento digital de la imagen cubren de manera óptima lo requerido., pudiéndose además visualizar todo el proceso en el monitor del computador.

## **2. Las bandas transportadoras**

Una vez que la pieza proveniente del bloque anterior es aceptada en la banda transportadora, un motor de corriente continua, manejará el avance de la misma mediante una variación de velocidad a través de la técnica del PWM (siglas en inglés correspondientes a modulación de ancho impulso), es decir la banda acelera y frena en función del requerimiento pedido por el brazo robot posicionador y del número de piezas correctas que ingresan a la banda.

La banda cuenta además con un sistema de sensores, conformados por emisores láser y receptores resistivos ajustados de modo que perciben el rango de frecuencia propio de dicho láser. Los sensores determinan el distanciamiento entre las piezas, la posición en la que se encuentran, y según esto, se produce diferentes variaciones de velocidad del motor de corriente continua que controla la banda. El control del motor mediante la técnica del PWM, es generado por un módulo interno del un microcontrolador PIC, o el PLC (Programador lógico controlable), encargados según sea el caso de manejar los ingresos y salidas de dicho motor y de la banda.

La segunda banda transportadora es alimentada por un sistema neumático que en una secuencia determinada por el requerimiento de piezas de la banda transportadora y del distinto tamaño, que en esta banda sí pueden tener (evidentemente hay un tamaño máximo y otro mínimo), activarán el avance o no hacia dicha banda. Como se tiene diferentes tamaños de piezas es necesario que se mida el mismo, para que después el bloque neumático encargado de la soldadura, se encuen-



tre correctamente posicionada con respecto a las medidas de dichas piezas. El proceso de medición de longitud de la pieza se lo realiza con los cálculos elementales de la dinámica para elementos que tienen una velocidad constante, evidentemente hay momentos en los cuales la banda varía su velocidad, pero lo hace en el instante antes de la medición; por lo tanto, en la medición misma, la velocidad no varía.

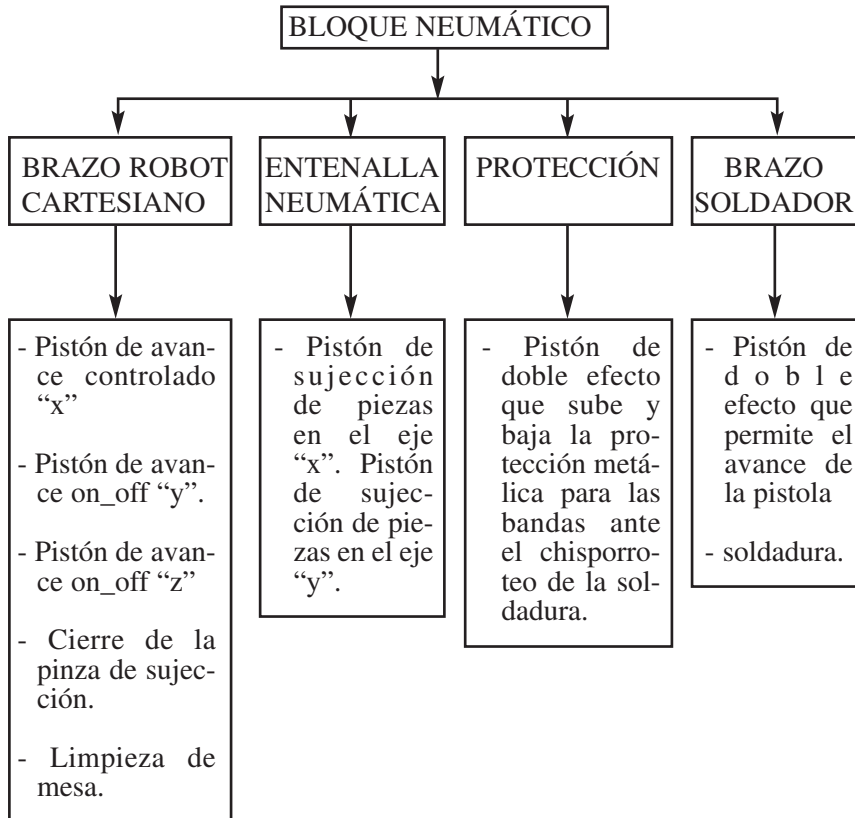
Si bien, las piezas vienen en la medición a velocidad constante, antes de dicha acción, la banda puede variar su velocidad según el requerimiento del bloque neumático de soldadura, es decir, la velocidad del motor varía en diferentes intervalos, ya sea acelerando o frenando. Para lograr un óptimo control de esta banda y de dicha acción, se manejará un control PID (Proporcional Integral Derivativo) en donde las matemáticas y especialmente el cálculo integral y diferencial juegan un papel fundamental en el diseño del controlador. El controlador nuevamente será el microcontrolador o el PLC, según sea la aplicación o la asignatura que se plantee.

### **3. El bloque neumático**

Denominado de ese modo, debido a que la mayoría de los movimientos son en base a comandos de las electroválvulas que accionan a los pistones neumáticos. Aquí se realiza el movimiento de los ejes  $x$ ,  $y$ ,  $z$ , además de la apertura y cierre de las pinzas de sujeción. A pesar de que los pistones son de accionamiento ON-OFF (es decir, sale o ingresa toda la carrera), se ha modificado para que algunos pistones puedan posicionarse en diferentes lugares de su carrera, se pretende entonces involucrarse en la neumática proporcional.

Cabe recalcar que algunos movimientos se los realiza con motores de corriente continua, el mando, el censado y sus efectos se los realiza mediante sistemas eléctricos y electrónicos que permiten el interfase entre los fenómenos físicos a controlarse, como la posición la velocidad, el sentido de avance, etc. y la magnitud eléctrica que entienden dichos sistemas.

*El bloque neumático abarcará los siguientes componentes:*



Cuando las piezas han sido guiadas a los respectivos extremos de cada una de las bandas, el brazo robot manipulador tomará ordenadamente las piezas de las mismas y las colocará en la mesa de soldadura. En este proceso se involucran el accionamiento de un cilindro de doble efecto con amortiguación neumática, que es censado en su avance en “x” mediante un encoder que indicara la posición del cilindro y por tanto su avance, paro o retroceso. Dicha señal del encoder es traducida en el respectivo microcontrolador o PLC, que a su vez utilizará dicha señal para actuar sobre el interfase de la electroválvula para detenerse, avanzar o retroceder de manera proporcional.

En dicho proceso se involucran dos actuadores neumáticos ON\_OFF, para la sujeción de la pieza (pinza de sujeción) durante su traslado a la mesa de soldadura y levantamiento de las piezas de la banda (pistón de avance en el eje z). Una vez que las han sido depositadas en la mesa, un sistema de dos pistones conformará una entenalla neumática, la cual sujeta las piezas para el proceso de soldadura.

## **Brazo soldador**

Para el movimiento del brazo soldador se tiene un pistón de doble efecto con amortiguación neumática, el cual avanzará en función a la distancia en la cual quedaron sujetas las piezas, hay que recordar que las longitudes de las piezas son diferentes, por tanto la base del pistón que realiza la suelda deberá colocarse en la posición respectiva. Ahora es necesario medir la distancia de avance del pistón, la cual estará vigilada por un sistema de sensores de ultrasonido que nos indicará el inicio y fin de suelda, así como el tamaño del cordón deseado, para luego retornar a su posición original y estar listo a realizar el próximo proceso de soldado. Se optó por dicho sistema ultrasónico, ya que la presencia de luminosidad propia de la soldadura, interfiere con las señales ópticas por más que las mismas sean aisladas, además el calor mismo puede dañar al encoder o a los sensores usados.

El sistema tiene acoplado un motor que realiza el movimiento el en eje Y, esto es necesario debido a que el tamaño de las piezas es variable, por lo cual el brazo deberá corregir su posición en cada proceso para lograr mayor exactitud.

Cabe señalar que para el presente proyecto de manejara la suelda MIC, debido a que la misma tiene el electrodo de avance, por lo que la posición de la pistola de soldadura será siempre fijo.

Antes del proceso de soldadura se vigila que las piezas estén bien sujetas, ya que por la fuerza que ejercen los pistones sobre las piezas, estas pueden estar mal orientadas, una vez corregidos dichos errores, se acciona una electroválvula que manda a subir un pistón conjunto a un panel protector contra las salpicaduras de la soldadura. Una vez concluida la soldadura y comprobado que el pistón de suelda regreso a su posición original, bajan las seguridades y se deshabilitan las sujeciones de pieza.

Ahora se procede a la recolección de la pieza soldada, para depositarla en una mesa recolectora. En este momento se acciona la apertura del aire que enfría la suelda y a la vez limpia la mesa de soldadura y el sistema vuelve a su posición original para comenzar con un nuevo proceso.

#### **4. Bloque procesador del banco**

*Para manejar el sistema se dispone de dos posibilidades:*

- \* Manejo de bloques mediante microcontroladores PIC.
- \* Manejo de bloques mediante el PLC.

En cada uno de los bloques analizados, se ha mencionado que los actuadores (relés, motores, electroválvulas, etc.), serán comandados mediante un microcontrolador PIC independiente para cada uno de los bloques. La razón de este aparente “desperdicio” de recursos, es porque el sistema puede subdividirse en nuevos módulos, lo que da lugar a la posibilidad de realizar varias prácticas en el mismo tiempo con diferentes grupos de aprendizaje.

Es lógico que los subsistemas no trabajan aislados, estos se enlazan los unos con los otros, mediante señales de comunicación entre los microcontroladores (PIC). Esto es necesario para unir los bloques en la secuencia indicada en los puntos anteriores y que además no se pierda la realimentación de los mismos en el bloque total.

El PLC por su característica de un solo bloque de múltiples ingresos y salidas, permite realizar un solo manejo de módulos independientes o sistema total, a pesar de que solo un grupo podría trabajar a la vez en el sistema directo, varios grupos pueden simular el sistema en otros PLC, con lo cual el traspaso del programa se haría como un paso final en el desarrollo de las experimentaciones, acorde al manejo de bloques analizados anteriormente, o de nuevas secuencias que se planteen.

Hay que indicar que en cualquiera de los dos sistemas se debe acoplar las señales provenientes de los sensores y las salidas a los actuadores. En lo referente al manejo de sensores, se establece los sencillos detectores de proximidad mediante contactos con salidas binarias (fin carreras magnéticas), siguiendo con los detectores de distancias y des-

plazamiento cuya salida digital y analógica (en algunos casos) es proporcional a la distancia medida o al desplazamiento, siendo variables eléctricas que pueden ser transformadas para ser interpretadas por el microcontrolador o por el PLC. De igual manera las salidas deben presentar la interfase necesaria para lograr tal objetivo.

## **Conclusiones**

El desarrollo de nuevas herramientas permite la elaboración de experimentaciones más accesibles para el estudiante, con lo cual se complementa de manera exitosa la base teórica.

No se puede separar los diferentes componentes de la ciencia, cada uno de ellas están complementados de manera exitosa, es labor del profesor encaminar cada una de las asignaturas que cursa el alumno, hacia una conjunción final, no solo con su especialidad, sino con las que le rodean en su actual campo de trabajo.

La mecatrónica no es más que la confirmación ingeniería de los actuales grupos de aprendizaje cooperativo, en donde se desarrolla todos los valores del ser humano, especialmente la solidaridad entre los miembros del grupo, y su reflejo a la sociedad que se debe.