

Situación problemática

La planta industrial destinada a la fabricación de motores cuenta con un proceso de montaje final del producto que se realiza sobre una cinta transportadora recorriendo sucesivos puestos y en cada uno de ellos se realizan una o varias operaciones.

A continuación, se detalla el escenario en que se presenta el problema y sus características:

- a. **El producto:** un motor de combustión interna de automóvil.
- b. **Problema:** dificultad ocasional que se presenta en el montaje del motor e impide el posicionamiento de una pieza por parte del brazo robotizado.
- c. **El proceso:** el montaje de todos los componentes del motor se realiza a través de una secuencia de operaciones robotizadas. Se trata de medio centenar de operaciones que progresivamente convierte un *block* de fundición de hierro en un complejo motor. La mayor parte de las operaciones son realizadas por robots manipuladores que retiran las piezas, las posicionan y montan sobre el *block*.
- d. **Manifestación del problema:** la imposibilidad de montar cierta pieza por no estar el *block* en la posición esperada.
- e. **El problema en detalle:**
 - 1. El posicionamiento inicial y las paradas o arranques de la línea van sumando muy pequeños desplazamientos de los *blocks* sobre la cinta transportadora.
 - 2. Ocasionalmente, algún conjunto queda mal posicionado, excediendo el margen tolerado. Esto afecta algunas operaciones críticas que demandan alta precisión.
 - 3. En estos casos, el robot es incapaz de montar la pieza y la operación se interrumpe.
 - 4. La consecuencia es la detención de toda la línea, la necesidad de asistencia técnica y un tiempo de parada que afecta a toda la actividad de montaje.
- f. **Solución propuesta:** incorporar el nivel de autonomía necesario a través de la inteligencia artificial.
- g. **Recomendación de la Dirección:** que el personal propio de la empresa tenga activa participación en la selección de la mejor opción, para lo cual debe disponer de los conocimientos necesarios.
- h. **Identificación del punto de partida:** La causa de los problemas son las conductas automáticas de los robots, incapaces de enfrentar un imprevisto.

Teniendo en cuenta la situación presentada, el problema se vincula específicamente en

cómo se ha programado a los robots en los movimientos precisos que corresponden a un montaje específico. Es decir que si la operación fuera hecha por el hombre, éste, advertiría el pequeño desplazamiento y haría la corrección necesaria. La aptitud del ser humano para alterar conductas a partir de la percepción del entorno, es una clara manifestación de la inteligencia.

Es por ello que a los robots que están a cargo de operaciones “críticas”, hay que incorporarle en su programación cierto grado de inteligencia para dotarlos de la autonomía necesaria que permita superar esta dificultad.

Es aquí oportuno tener presente una de las definiciones más difundidas de la inteligencia artificial: “El estudio de cómo lograr que las máquinas realicen tareas que, por el momento, son realizadas mejor por los seres humanos” (Rich & Knight, 1996).

Volviendo al problema, ¿cuánta inteligencia es necesaria?

En esta situación problemática, sería la mínima necesaria y suficiente para incorporar a los robots la capacidad de acomodar su desempeño a la alteración de las distancias en las trayectorias de las operaciones requeridas.

Otra pregunta a tener en cuenta, ¿por qué incorporar una autonomía o inteligencia limitada?

Muy simple, la inteligencia en las máquinas tiene un costo, y en casos como éste, los robots solo necesitan superar ciertas dificultades claramente delimitadas. Es decir que el costo no está linealmente relacionado con el nivel de inteligencia, su crecimiento es exponencial, por lo que puede llegar a ser muy elevado, absolutamente injustificado e inabordable.

Estrategia adoptada

De acuerdo con la intención de participar en la solución del problema y no limitarse a “contratar” la respuesta al mismo, la Dirección industrial de la empresa se hizo asesorar con especialistas y definió las siguientes líneas de acción:

- Los juegos han estado siempre presentes en la evolución de la IA (inteligencia artificial) y han sido clave en su desarrollo, por lo que deben ser explorados como posible respuesta al problema.
- También lo han sido las manifestaciones de su corriente antagónica: los modelos conexionistas o redes neuronales artificiales. Aquí hay otra posible respuesta.
- En la industria moderna se comprueba una fuerte orientación hacia las cámaras e

imágenes, lo que genera expectativas sobre la posibilidad de dotar de la necesaria autonomía al robot a través de la interpretación de imágenes. Otra posible respuesta.

Debe tenerse en cuenta que se está abordando la IA desde una perspectiva pragmática con enfoque real, buscando resolver un problema concreto. Se trabajará con elementos que tienen presencia física, dimensiones y velocidades, que pueden interferirse y dañarse. Es decir, las consecuencias de los procesos seguramente no serán reversibles, sino definitivas. Son operaciones “riesgosas”, también denominadas críticas. Se estará incursionando en la “búsqueda en el espacio de estados” (teoría de juegos) y en el “aprendizaje de máquinas” (*machine learning*). Ambos en el mundo real, no en el simulado.

En resumen, estamos ante la necesidad de implementar un “agente”, o sea una entidad autónoma que, con limitaciones, es capaz de actuar por sí sola.

Se presentan algunas imágenes para facilitar la interpretación del proceso y el problema que se procura resolver.

En la figura 1 se muestran algunos estados del motor en la secuencia entre el inicio y final de la línea de montaje: el *block* recién instalado sobre la línea, dos estados intermedios durante su montaje y finalmente convertido en un motor. Luego prosigue al banco de ensayos.

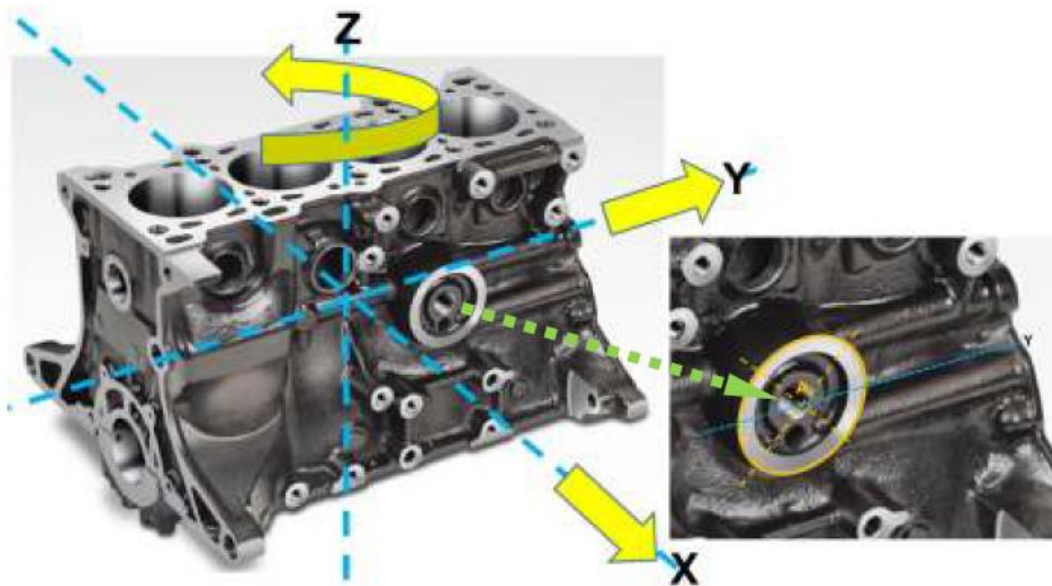
Figura 1: cuatro estados entre el *block* inicial y el motor completo



Fuente: elaboración propia.

En una de sus caras laterales, el *block* presenta una perforación roscada en la que debe trabajarse con mucha precisión y se caracteriza por ser el centro de un anillo prominente y claramente visible (figura 2). Como puede observarse, los desplazamientos posibles sobre la cinta transportadora son en las direcciones “X” e “Y” o también la rotación sobre el eje “Z”. A la derecha se muestra una ampliación de la zona de trabajo.

Figura 2: vistas laterales del *block* y sistema de coordenadas de referencia



Fuente: elaboración propia.

Referencias específicas para este trabajo práctico

Tal como se anticipó, el objetivo es dotar de la necesaria autonomía al robot y para ello se propone seguir trabajando con imágenes. En este caso la intención es analizar la imagen y procesarla de tal forma de hacer posible la identificación del aro "C", en cuyo centro está en la posición "A". Finalmente se determinarán las coordenadas X e Y.

A diferencia de lo realizado en el trabajo práctico 3, que se apoyó en una red neuronal de aprendizaje no supervisado (modelo de Hopfield), en el caso del trabajo práctico 4 la herramienta central es una transformación de coordenadas que permitirá localizar en forma directa la posición buscada "A". Se trata de la transformada de Hough, estudiada en el módulo 4.

Como se sabe, en su forma básica la transformada de Hough opera sobre rectas, que son la expresión gráfica en un plano cartesiano ortogonal (x, y) de la ecuación $y = mx + b$.

La base de la transformación fue representar las mismas rectas, solo que en un plano (m, b). Es decir, cada punto del nuevo plano representa la pendiente m y ordenada al origen b de una cierta recta. Luego, el conjunto de todos los puntos de una recta en el sistema de referencia original (x, y) es representado por un único punto en el nuevo sistema de referencia (m, b). Planteado de otra forma, la concentración de numerosos puntos en el plano (m, b) está delatando su pertenencia a una misma recta del plano (x, y).

En esta oportunidad se trabajará con una extensión a circunferencias de la transformada de Hough básica referida a rectas. En el caso de las circunferencias la ecuación en un plano cartesiano ortogonal (x, y) es:

$$(x - x_0)^2 + (y - y_0)^2 = R^2$$

lo que significa que los parámetros que definen a toda circunferencia son su centro (x_0, y_0) y radio R . Es decir, conduce a una representación 3D (x_0, y_0, R) que es la de un cono.

Sin embargo, en el caso del problema estudiado el radio R es conocido, por lo que la representación se mantiene en un plano (2D). Esto significa que todos los puntos de cada circunferencia de radio conocido en el plano (x, y) quedan representados por un único punto en el plano (x_0, y_0) , ver figura 3.

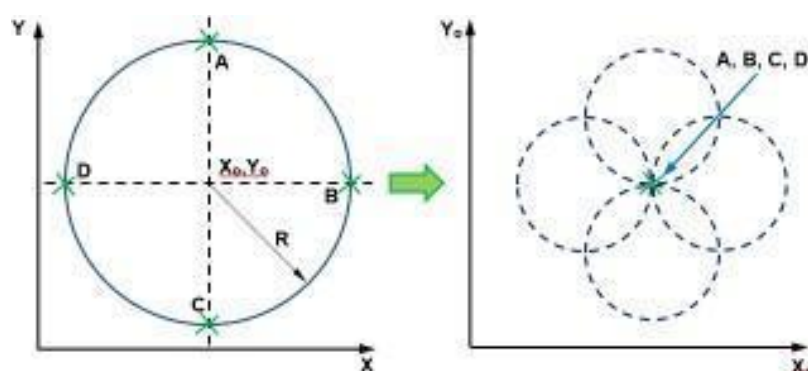
Al realizarse la transformación de los puntos característicos de las figuras de una imagen en un plano (x, y) es necesario identificar la acumulación de puntos de destino en el nuevo sistema de referencia (x_0, y_0) . En este caso esa acumulación estará delatando conjuntos de puntos diferentes que provienen de una misma figura geométrica (circunferencia).

Nótese que esto es precisamente lo necesario. En una imagen estará presente un anillo (borde interior y exterior del aro "C"), juntamente con otras numerosas circunferencias menores, bordes y ruido. Al transformar cada punto de esta imagen al nuevo plano de representación, la sobresaliente concentración de puntos de igual destino delatará la posición "A" buscada.

Como se puede comprobar, el proceso recurrente de ajustes que es propio de la identificación de patrones en los modelos neuronales de aprendizaje no supervisado es aquí sustituido por un proceso claramente algorítmico. Es decir, un proceso efectivo, de complejidad temporal acotada, lo que representa una muy importante ventaja.

Naturalmente que aquí solo se ha puesto en foco en la transformación del contenido de una imagen de un sistema de referencia a otro, lo que no exime de las tareas previas de obtener las imágenes en condiciones apropiadas de iluminación, asegurar una referencia de escalas, limpiar la imagen de ruido y eventualmente trabajar sobre el contraste de tonos para optimizar la identificación de los datos.

Figura 3: transformada de Hough de circunferencias de radio conocido



Fuente: elaboración propia.