



GRADO EN INGENIERÍA DE ROBÓTICA SOFTWARE

Escuela de Ingeniería de Fuenlabrada

Curso académico 2024-2025

Trabajo Fin de Grado

Automatización de línea de producción robotizada
para simulación didáctica

Tutor: Julio Salvador Lora Millán

Autor: Álvaro Alonso Alosete



Este trabajo se distribuye bajo los términos de la licencia internacional CC BY-SA International License (Creative Commons Attribution-ShareAlike 4.0). Usted es libre de *(a) compartir*: copiar y redistribuir el material en cualquier medio o formato para cualquier propósito, incluso comercialmente; y *(b) adaptar*: remezclar, transformar y construir a partir del material para cualquier propósito, incluso comercialmente. La licenciente no puede revocar estas libertades en tanto usted siga los términos de la licencia:

- *Atribución.* Usted debe dar crédito de manera adecuada, brindar un enlace a la licencia, e indicar si se han realizado cambios. Puede hacerlo en cualquier forma razonable, pero no de forma tal que sugiera que usted o su uso tienen el apoyo de la licenciente.
- *Compartir igual.* Si remezcla, transforma o crea a partir del material, debe distribuir su contribución bajo la misma licencia del original.

No hay restricciones adicionales — No puede aplicar términos legales ni medidas tecnológicas que restrinjan legalmente a otras a hacer cualquier uso permitido por la licencia.

Agradecimientos

Unas bonitas palabras...

Quizás un segundo párrafo esté bien. No te olvides de nadie.

Un tercero tampoco viene mal para contar alguna anécdota...

¿Alguien más? Aunque sean *actores* secundarios.

Un quinto párrafo como colofón.

*A alguien especial;
si no, tampoco pasa nada*

Madrid, xx de xxxxxx de 20xx

Tu nombre

Resumen

Escribe aquí el resumen del trabajo. Un primer párrafo para dar contexto sobre la temática que rodea al trabajo.

Un segundo párrafo concretando el contexto del problema abordado.

En el tercer párrafo, comenta cómo has resuelto la problemática descrita en el anterior párrafo.

Por último, en este cuarto párrafo, describe cómo han ido los experimentos.

Acrónimos

IA *Inteligencia artificial*

PLC *Controlador lógico programable*

PAC *Controlador automatizado programable*

E/S *Entradas y salidas*

EOAT *Endo of arm Tooling*

TCP *Tool center point*

ROS *Robot Operating System*

Índice general

1. Introducción	1
1.1. La automatización industrial	1
1.1.1. Conceptos básicos de la automatización industrial	1
1.1.2. Tipos de automatización industrial	4
1.1.3. Ventajas y desventajas de la automatización industrial	5
1.1.4. Equipos para la automatización industrial	6
1.2. La robótica	9
1.2.1. Robótica industrial	10
1.2.2. Tipos de robots industriales	12
1.3. Unión entre la automatización y la robótica	15
1.3.1. Comunicaciones entre los dispositivos	15
1.3.2. Metodología de la automatización industrial	17
1.4. Motivación del trabajo	21
2. Objetivos	24
2.1. Descripción del problema	24
2.2. Requisitos	24
2.3. Competencias	24
2.4. Metodología	25
2.5. Plan de trabajo	25
3. Plataforma de desarrollo	26
3.1. Estación distribución	26
3.2. Estación unión	26
3.3. PLCs Siemens 1200s	26
3.4. HMI	26
3.5. Comunicaciones	26
3.6. Brazo UR5	26

4. Diseño	27
4.1. Snippets	27
4.2. Verbatim	27
4.3. Ecuaciones	28
4.4. Tablas o cuadros	28
5. Conclusiones	30
5.1. Conclusiones	30
5.2. Corrector ortográfico	31
Bibliografía	32

Índice de figuras

1.1. Ejemplo de aplicación de automatización industrial.	2
1.2. Niveles de la pirámide de automatización. [Omnielectric Web, 2024] . .	4
1.3. PLC de la serie Siemens S7-1500.	7
1.4. Ejemplo del lenguaje de programación Ladder.	8
1.5. HMI Siemens.	9
1.6. RB-WATCHER de Robotink.	10
1.7. Partes de un brazo robótico industrial.	11
1.8. Robot cartesiano.	12
1.9. Robot antropomórfico.	13
1.10. Robot cilíndrico.	13
1.11. Robot SCARA.	14
1.12. Robot delta.	14
1.13. Robot esférico.	15
1.14. Ejemplo básico de bus de campo. [aula 21, 2020]	16
1.15. Ejemplo básico de red de ethernet industrial. [PRECISION, 2023] . . .	17
1.16. Ejemplo básico de GRAFCET.	19
1.17. Ejemplo de guía gemma complejo. [José A. Rodríguez Mondéjar, 2022]	20
1.18. Ejemplo de un diagrama básico con sistema SCADA. [aula21, 2023] . .	21
1.19. Tendencias del mercado global de automatización industrial. [Data Bridge Market Research, 2025]	22

Listado de códigos

4.1. Función para buscar elementos 3D en la imagen	27
4.2. Cómo usar un Slider	28

Listado de ecuaciones

4.1. Ejemplo de ecuación con fracciones	28
4.2. Ejemplo de ecuación con array y letras y símbolos especiales	28

Índice de cuadros

4.1. Parámetros intrínsecos de la cámara	29
--	----

Capítulo 1

Introducción

La automatización no es el enemigo del trabajador, sino la clave para su evolución

La automatización ha sido un pilar fundamental en el desarrollo de la industria moderna, permitiendo mejoras significativas en eficiencia, calidad y seguridad [?]. Desde la evolución Industrial hasta la actualidad, la evolución de las tecnologías ha dado paso a sistemas cada vez más sofisticados, donde la integración de robots ha transformado los entornos de producción, ofreciendo resultados de mayor calidad y reduciendo costes y tiempos de producción [?]. En particular, la robótica industrial ha desempeñado un papel clave en sectores como la automoción, la electrónica y la manufactura, ofreciendo soluciones flexibles y altamente eficientes para la producción en serie [?].

En este capítulo se presentará el contexto en el que se desarrolla este trabajo, proporcionando una visión general de la automatización en la industria y su evolución hasta la actualidad. Posteriormente, se acotará el enfoque hacia la robótica industrial, destacando su impacto en la optimización de procesos productivos. Finalmente, se delimitará el ámbito específico de este estudio, centrado en la automatización de una línea de producción robotizada, analizando sus beneficios, retos y las tecnologías empleadas.

1.1. La automatización industrial

1.1.1. Conceptos básicos de la automatización industrial

La automatización industrial consiste en la implementación de sistemas de control, como computadoras, controladores lógicos programables (computadora industrial la cual graba la información de las entradas en memoria, las procesa y escribe en las salidas las acciones oportunas), robots y tecnologías de la

información, para gestionar maquinaria y procesos productivos en el sector industrial [Centro de la formación técnica para la industria, 2024]. Su propósito principal es reducir la intervención humana, reemplazando tareas manuales, especialmente aquellas que implican riesgos, por procesos automatizados .

Este concepto surge como una evolución de la mecanización industrial, incorporando dispositivos con gran capacidad de control para optimizar la eficiencia en la fabricación. Con los avances tecnológicos y la llegada de la Industria 4.0, las empresas están modernizando sus sistemas de producción mediante el uso de control informatizado, lo que les permite mejorar la precisión, calidad y rendimiento de sus operaciones [Centro de la formación técnica para la industria, 2024].

El término “automatización” tiene su origen en las palabras griegas “auto” (por sí mismo) y “matos” (movimiento), y se aplica a mecanismos capaces de funcionar de manera autónoma. Los sistemas automatizados ofrecen un rendimiento superior a los manuales en términos de precisión, potencia y velocidad [Centro de la formación técnica para la industria, 2024]. En el ámbito del control industrial, es posible monitorizar y regular simultáneamente diversas variables de proceso, como temperatura, flujo, presión, distancia y niveles de líquido, mediante el uso de PLCs, PACs (Controladores Automatizados Programables que integran PLC y PC), o PCs. [Centro de la formación técnica para la industria, 2024].



Figura 1.1: Ejemplo de aplicación de automatización industrial.

La estructura de un sistema de automatización industrial se puede representar mediante un triángulo jerárquico de cinco niveles como se observa en la imagen 1.2:

1. **Nivel de gestión:** La alta gerencia usa sistemas ERP para controlar y monitorear todos los procesos de la empresa, desde la producción hasta ventas, compras y proyectos, asegurando eficiencia y alineación entre equipos.[SDI, 2022].
2. **Nivel de operación:** Este nivel está controlado por el sistema MES. Un sistema MES conecta el mundo digital con la producción, permitiendo supervisar, sincronizar cada fase del proceso y monitorear la producción ¹. Este sistema integra datos de operaciones, mantenimiento, seguridad, logística y calidad, permitiendo a la gerencia tomar decisiones informadas sobre todo el proceso, desde las materias primas hasta el producto final. [SDI, 2022].
3. **Nivel supervisor:** Compuesto por un ordenador industrial que utiliza software especializado para el control de procesos. Su principal objetivo es la parametrización y visualización del proceso y suele utilizars el protocolo de de comunicación Ethernet industrial [Sunt Automatización, 2024].
4. **Nivel de control:** Incluye dispositivos como PLCs que ejecutan las órdenes del nivel supervisor y controlan directamente la maquinaria en tiempo real. Estos pueden estar conectados a varios dispositivos de E/S y se comunican mediante protocolos industriales [Sunt Automatización, 2024].
5. **Nivel de campo:** Constituido por sensores y actuadores que interactúan directamente con el proceso físico conectados al PLC a través de un bus de campo. Los actuadores ejecutan acciones según las instrucciones recibidas normalmente a través de una conexión punto a punto con el PLC. [Sunt Automatización, 2024].

Esta estructura permite una gestión eficiente y organizada de los procesos industriales, asegurando que cada componente funcione de manera integrada para optimizar la producción.

¹(N.d.). Cursosaula21.com. Retrieved April 7, 2025, from <https://www.cursosaula21.com/que-es-un-sistema-mes/>

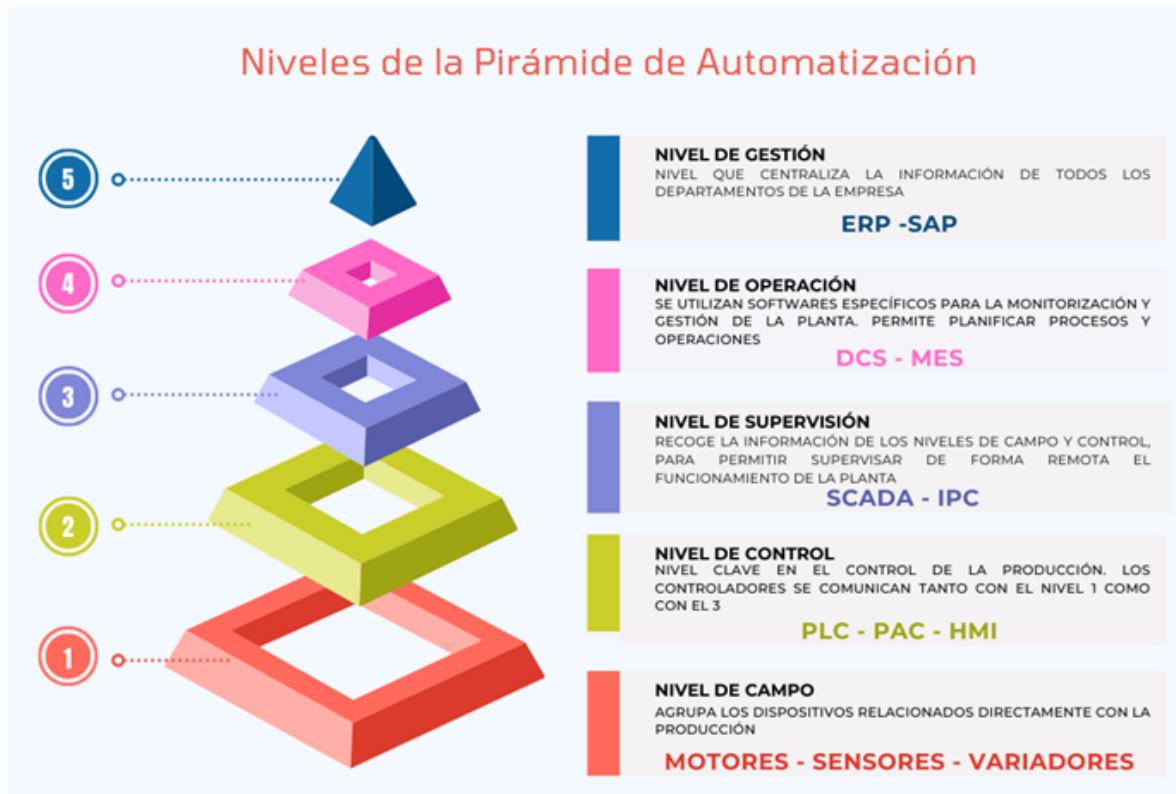


Figura 1.2: Niveles de la pirámide de automatización. [Omnielectric Web, 2024]

1.1.2. Tipos de automatización industrial

Los sistemas de automatización industrial se clasifican principalmente en cuatro tipos según su nivel de flexibilidad y aplicación en los procesos productivos:

1. **Automatización fija:** Utilizada en procesos específicos y repetitivos donde no se requieren modificaciones en el diseño del producto debido a que aplicar modificaciones resulta casi imposible. Es ideal para la producción a gran escala de productos estables [neobotikstg, 2021].
2. **Automatización programable:** Aplicada en la fabricación por lotes, permite modificar el proceso mediante reprogramación, aunque esto puede consumir tiempo [neobotikstg, 2021].
3. **Automatización flexible:** Variante más avanzada de la automatización programable, que facilita cambios rápidos y automáticos en la producción sin interrupciones significativas [neobotikstg, 2021].

4. **Sistema Integrado de Automatización:** Conjunto de máquinas, procesos y datos sincronizados bajo un único sistema de control. Integra herramientas como CAD, CAM, robots y sistemas de transporte automatizados para optimizar la producción [neobotikstg, 2021].

1.1.3. Ventajas y desventajas de la automatización industrial

La automatización industrial ha transformado profundamente los procesos de producción, introduciendo tecnologías avanzadas que permiten aumentar la eficiencia, mejorar la calidad y reducir los costos operativos [MCR, 2016]. A continuación, se presentan las principales ventajas:

- **Mayor productividad laboral:** La automatización acelera los procesos de producción, permitiendo fabricar más productos con una mejor calidad. Las nuevas tecnologías pueden operar de manera continua sin perder precisión, lo que incrementa la eficiencia y el rendimiento por hora de trabajo [MCR, 2016].
- **Mejora en la calidad del producto:** Uno de los principales beneficios de la automatización es la reducción de la cantidad de unidades defectuosas. Los sistemas automatizados garantizan una mayor uniformidad y precisión en la fabricación, cumpliendo con los estándares de calidad [Automatizacionindustrial360, 2020].
- **Reducción de costos de producción:** La automatización permite disminuir el gasto en mano de obra al reemplazar tareas repetitivas con maquinaria, lo que reduce el costo unitario de producción. Los sistemas automatizados operan de manera constante, aumentando la eficiencia y proporcionando un alto retorno de inversión al minimizar costos laborales, ausencias y otros gastos operativos [MCR, 2016].
- **Menos trabajo manual repetitivo:** En muchas industrias, es necesario supervisar constantemente variables como temperatura, presión o nivel de líquidos. Un sistema automatizado permite gestionar estas tareas mediante controladores de lazo cerrado, reduciendo la necesidad de intervención humana en actividades rutinarias [MCR, 2016].
- **Mayor seguridad:** Al implementar un sistema automatizado, los trabajadores pasan de realizar tareas directamente en el proceso a supervisarlas, lo que disminuye los riesgos laborales. Las máquinas pueden operar en entornos

peligrosos o extremos, sustituyendo a los empleados en situaciones de alto riesgo, reduciendo así los accidentes laborales [Automatizacionindustrial360, 2020].

- **Facilita la monitorización remota:** Muchas operaciones industriales requieren ser controladas a distancia para una supervisión más eficiente. Los sistemas automatizados permiten la comunicación entre el área de producción y el centro de control, permitiendo a los operadores gestionar los procesos de manera remota [Automatizacionindustrial360, 2020].

Sin embargo, junto con estos beneficios, como sucede en cualquier ámbito, también surgen desafíos y limitaciones que deben ser considerados por las empresas antes de implementar estos sistemas. Por eso, seguidamente se muestran algunas desventajas de la automatización industrial:

- **Aumento de la contaminación:** Muchas máquinas requieren motores que funcionan con combustibles o productos químicos que pueden generar emisiones contaminantes [MCR, 2016].
- **Menor flexibilidad:** Una máquina automatizada está diseñada para realizar tareas específicas, lo que limita la capacidad de adaptación a nuevas funciones en comparación con un trabajador humano. Actualmente, ciertas tareas, como el ensamblaje de productos con formas irregulares, siguen dependiendo del trabajo manual [MCR, 2016].
- **Altos costos de implementación:** La inversión inicial para adoptar un sistema automatizado es elevada. Además de los gastos en investigación y desarrollo, es necesario considerar los costos de mantenimiento, formación del personal y servicio técnico, lo que suma un desafío económico para las empresas que buscan automatizar sus procesos [Automatizacionindustrial360, 2020].

1.1.4. Equipos para la automatización industrial

La automatización industrial se apoya en una amplia gama de dispositivos diseñados para controlar, supervisar y optimizar procesos dentro de entornos productivos. Entre estos equipos, destacan los Controladores Lógicos Programables (PLCs) y las Interfaces Hombre-Máquina (HMI), los cuales cumplen un papel fundamental en la implementación y operación de sistemas automatizados modernos.

Controladores lógicos programables (PLCs)

Un PLC (Controlador Lógico Programable) es una computadora diseñada específicamente para automatizar procesos industriales. Su tarea principal es controlar de manera eficiente y segura los sistemas que conforman una máquina o proceso, lo cual es clave para el avance tecnológico de las industrias. Estos dispositivos operan mediante un ciclo en el que se realiza un autodiagnóstico, se leen las entradas, se ejecuta el programa y finalmente se actualizan las salidas, lo que les permite adaptarse rápidamente a las condiciones cambiantes del entorno [GSL industrias, 2021].

Existen distintos tipos de PLC, cada uno adaptado a las necesidades particulares de cada industria. Entre los más comunes se encuentran los modelos compactos, modulares o de banda estrecha. Marcas como Siemens y Allen Bradley son líderes en este mercado, ofreciendo una amplia variedad de productos y accesorios para mejorar la automatización de los procesos. Los PLCs se usan en una gran variedad de sectores, incluyendo la fabricación de cemento, plásticos, muebles, automotriz, transporte, energía y seguridad, ayudando a mejorar la eficiencia y reducir los costos operativos [GSL industrias, 2021].



Figura 1.3: PLC de la serie Siemens S7-1500.

Una de las principales características de los PLC es su capacidad para controlar entradas y salidas de manera segura. Además, son compatibles con varios lenguajes de programación, lo que permite su fácil integración con sistemas de supervisión y control. Estos dispositivos pueden ser reprogramados según las necesidades del proceso, lo que les da gran flexibilidad y adaptabilidad en entornos industriales que están en constante cambio [GSL industrias, 2021].

El lenguaje de programación utilizado para los PLCs y en este proyecto es el lenguaje KOP, también conocido como **Ladder**. Este lenguaje es ampliamente utilizado en la programación de PLC, especialmente en los dispositivos Siemens. Su popularidad se debe a su antigüedad, disponibilidad, mantenibilidad y facilidad de uso. Diseñado para imitar los diagramas eléctricos tradicionales, permite a técnicos e ingenieros familiarizados con estos esquemas adaptarse fácilmente a la programación en este lenguaje. Su naturaleza gráfica permite una comprensión rápida de la lógica del programa, lo que simplifica el proceso de mantenimiento y resolución de problemas [Iñigo Gútiez, 2024].

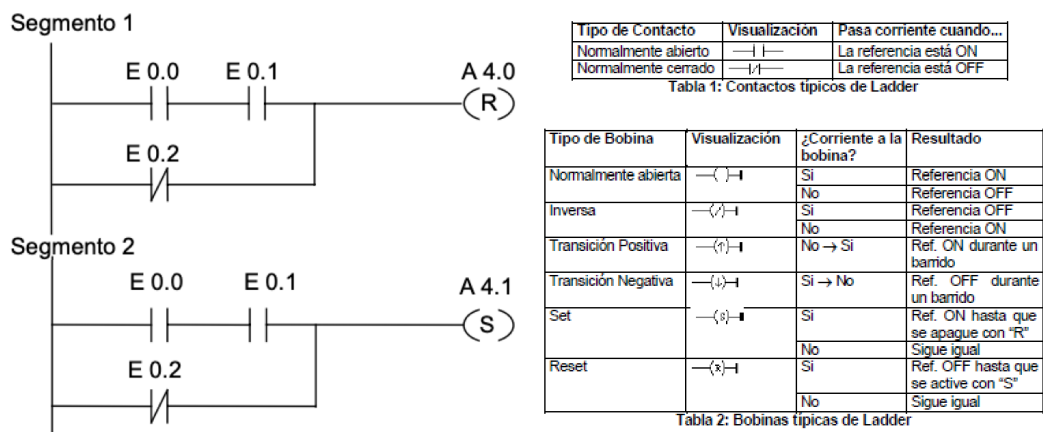


Figura 1.4: Ejemplo del lenguaje de programación Ladder.

Interfaz humano máquina (HMI)

Una Interfaz Hombre-Máquina (HMI) es un dispositivo que permite a los operarios comunicarse con sistemas automatizados dentro de un entorno industrial. Básicamente, actúa como una pantalla o panel táctil desde el cual se puede supervisar, controlar y ajustar el funcionamiento de una máquina o proceso. Los HMI permiten visualizar datos en tiempo real, como temperaturas, velocidades o estados de operación, y también enviar comandos para modificar parámetros o detener procesos si es necesario [Siemens, 2024].

Además, estos dispositivos están pensados para funcionar en condiciones industriales exigentes, con diseños robustos y duraderos [Siemens, 2024]. También soportan múltiples idiomas y pueden adaptarse a distintos sectores y tipos de máquinas [Siemens, 2024]. En resumen, un HMI es una herramienta fundamental para mejorar la comunicación entre las personas y los sistemas automatizados, permitiendo un control más intuitivo, rápido y preciso de los procesos industriales.



Figura 1.5: HMI Siemens.

1.2. La robótica

La robótica es la disciplina científica que integra conocimientos de electrónica, mecánica e informática para desarrollar sistemas automatizados capaces de realizar tareas de manera autónoma o semiautónoma [ferrovial, 2022].

A diferencia de la robótica industrial, en la robótica tradicional se utilizan componentes específicos diseñados para una tarea concreta, pasando por la estructura mecánica (brazos, ruedas, actuadores, etc.), que debe garantizar un movimiento preciso y estabilidad, hasta los sistemas electrónicos que deben ser totalmente compatibles y funcionales para permitir la correcta operación. Además, los algoritmos que se implementan deben ser robustos, seguros y capaces de adaptarse a diversas situaciones y condiciones del entorno.

Entre estos componentes, uno de los más importantes para lograr dicha adaptación al entorno son los sensores, ya que juegan un papel crucial proporcionando al robot la información necesaria sobre su entorno. Estos sensores, de diversos tipos, miden una amplia gama de magnitudes físicas, como la luz, posición, velocidad, fuerza, temperatura..., funcionando de manera análoga a los órganos sensoriales en los seres humanos.

Una vez que los sensores recogen los datos del entorno, el software del robot procesa

esta información, proporcionando la inteligencia necesaria para tomar decisiones. Utilizando algoritmos avanzados o inteligencia artificial, el robot es capaz de generar respuestas adecuadas a las entradas, lo que resulta en la ejecución de una acción específica, como un movimiento o la interacción con su entorno.

Finalmente, los actuadores son los encargados de ejecutar las acciones determinadas por el sistema de control, permitiendo que el robot lleve a cabo tareas como moverse o manipular objetos. Los actuadores son fundamentales para la efectividad del robot, ya que son los elementos que materializan las decisiones procesadas en acciones físicas tangibles.



Figura 1.6: RB-WATCHER de Robotnik.

1.2.1. Robótica industrial

Según la norma internacional ISO 8373:2012 un robot industrial se define como “un manipulador multifuncional, reprogramable y controlado automáticamente, programable en tres o más ejes que puede estar fijo en un área o móvil para su uso en aplicaciones de automatización industrial” [Robotnik, 2022]. Todo ello a partir de trayectorias variables para ejecutar diversas tareas cíclicas y adaptables.

La robótica industrial es una disciplina de la ingeniería robótica dedicada al diseño, desarrollo y fabricación de robots industriales con el propósito de automatizar tareas repetitivas tradicionalmente realizadas por seres humanos. Estos sistemas robóticos se caracterizan por seguir una secuencia de instrucciones predefinidas, ejecutando ciclos de trabajo continuos en líneas de producción de diversos sectores industriales. Estos robots son considerados industriales debido a que se utilizan en la industria manufacturera en sectores como la automoción, electrónica, alimentación, farmacéutico... En ellos contribuyen significativamente a mejorar la eficiencia, la velocidad y la calidad de los

procesos productivos [Unir, 2021].

A diferencia de los robots de servicio, los robots industriales operan en entornos altamente controlados, lo que simplifica su programación y control. Debido a estas condiciones estables, estos robots suelen tener más de tres grados de libertad, permitiéndoles realizar movimientos complejos con gran precisión. Aunque su aplicación principal ha sido históricamente en entornos industriales, su uso se ha expandido hacia sectores como la minería, la agricultura, el comercio y la salud, demostrando su versatilidad y adaptabilidad.

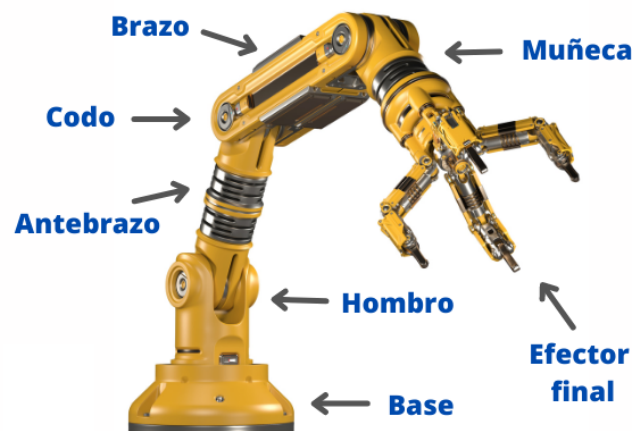


Figura 1.7: Partes de un brazo robótico industrial.

Para que un brazo robótico sea considerado industrial, debe cumplir con una serie de características técnicas y funcionales que lo hagan adecuado para entornos de producción. Entre ellas, destacan la precisión y la repetibilidad, que permiten realizar tareas con tolerancias muy ajustadas. También debe tener una estructura robusta y una capacidad de carga suficiente según la aplicación, así como al menos seis grados de libertad para poder ejecutar movimientos complejos [MME, 2023].

Otra característica fundamental es la velocidad de operación, ya que en entornos industriales es clave mantener ritmos de trabajo altos. Además, debe ser fácilmente programable y compatible con sistemas de automatización como PLCs o entornos como ROS, y permitir la integración con sensores, cámaras o herramientas específicas [MME, 2023].

Desde el punto de vista de seguridad y conectividad, debe cumplir con normativas como la ISO 10218 y ser compatible con protocolos industriales como PROFINET o EtherCAT [MME, 2023].

Desde la aparición de los primeros prototipos de robots industriales, ha surgido un debate sobre su impacto en el empleo humano, con preocupaciones respecto a una posible sustitución de la mano de obra. Sin embargo, numerosos estudios sostienen que, lejos de desplazar a los trabajadores, estos sistemas robóticos buscan mejorar las condiciones laborales, eliminando tareas monótonas o peligrosas [Computing, 2023].

1.2.2. Tipos de robots industriales

Existen una gran variedad de diseños y configuraciones de robots industriales debido a las diversas aplicaciones y entornos en los que estos se emplean. Esta clasificación puede realizarse según diversos criterios, siendo el más común el tipo de configuración mecánica, que determina los grados de libertad, el alcance y la versatilidad del robot.

Robot cartesiano

Los robots cartesianos se componen de tres articulaciones prismáticas y utilizan el sistema de coordenadas tridimensionales, el cual lo forman los ejes X, Y y Z. Los movimientos de estos robots son lineales por lo que su funcionamiento es sencillo y se limita a movimiento de traslación. Suelen ser utilizados para mover cargas pesadas linealmente en las que no es necesario rotarlas [Esneca, 2020].



Figura 1.8: Robot cartesiano.

Robot antropomórfico

Estos robots articulados son los más comunes en el sector de fabricación enfocados en aplicaciones complejas como el montaje de productos, soldadura o mecanizado. El “end effector” (pieza situada en el extremo final del brazo) poseen seis grados de libertad para poder operar en cualquier situación. Los brazos de este estilo poseen tres articulaciones de giro y otra opcional en el EOAT (herramientas conectadas al extremo final del brazo con las cuales se opera con el entorno) [Sicma21, 2021].



Figura 1.9: Robot antropomórfico.

Robot cilíndrico

Los robots cilíndricos se caracterizan por tener movimientos cilíndricos debido a que están compuestos de dos articulaciones prismáticas y otra de revolución. Esta morfología le permite movimientos de rotación en torno a su propio eje y con las articulaciones prismáticas ajusta la altitud y radio de trabajo. Su principal aplicación es la de “pick and place” las cuales no requieren desplazamiento, aunque actualmente están prácticamente en desuso [Sicma21, 2021].



Figura 1.10: Robot cilíndrico.

Robot SCARA

Este tipo de robot tiene como peculiaridad que posee un brazo con todos los grados de libertad de desplazamiento en el espacio y rotación respecto al eje Z. Estos modelos están formados por dos eslabones en adición a dos juntas de revolución y una prismática. La función de la articulación prismática es desplazar en el eje Z el

EOAT y tiene diversas aplicaciones como la paletización, el ensambalaje o biomedicina [Esneca, 2020].



Figura 1.11: Robot SCARA.

Robot delta

Los robots delta están formados por tres eslabones unidos a un EOAT mediante tres juntas universales y una base común. La base está formada por tres articulaciones primáticas o en su lugar accionadas por revoluciones, y, su función, es proporcionarle cuatro grados de libertad al EOAT para que pueda moverse en todos los ejes cartesianos y girar sobre su eje Z. Sus principales aplicaciones son la de “pick and place” de forma veloz dentro de la industria alimentaria, electrónica y farmacéutica principalmente (debido a que no tiene que mover toda la estructura mecánica como otro tipo de brazos, sino que solo mueve el TCP o punto central de la herramienta) [Sicma21, 2021].



Figura 1.12: Robot delta.

Robot esférico

Estos robots también tienen el nombre de robots polares y están basados en el sistema de coordenadas polares consiguiendo un área de trabajo esférica. La longitud del enlace entre el EOAT y la articulación de revolución más cercana establecen su

rango de movimiento permitiendo un mayor alcance en comparación a otros modelos. Su aplicación más común es en aplicaciones de carga de máquinas debido a su largo alcance [Sicma21, 2021].



Figura 1.13: Robot esférico.

1.3. Unión entre la automatización y la robótica

Entrando al siglo XXI se desarrollan los primeros robots colaborativos, conocidos como cobots, concebidos para cooperar de manera directa con las personas. Estos dispositivos se caracterizan por su seguridad, adaptabilidad y facilidad de programación, convirtiéndose en una solución ideal para entornos industriales donde es necesario combinar tareas manuales y automatizadas [MONDRAGON ENRIQUEZ ZULLY MONTSERRAT, 2023].

En los años 2010, la Industria 4.0 emergió como una nueva fase en la manufactura, caracterizada por la digitalización y la interconexión de sistemas de producción. Los robots industriales se convirtieron en componentes clave de las fábricas inteligentes, colaborando estrechamente con humanos y otros sistemas automatizados para optimizar la eficiencia y la flexibilidad en la producción [MONDRAGON ENRIQUEZ ZULLY MONTSERRAT, 2023].

1.3.1. Comunicaciones entre los dispositivos

Las comunicaciones entre dispositivos industriales son fundamentales para que los procesos de producción actuales funcionen de forma segura, eficiente y automatizada [Centro de la formación técnica para la industria, 2021]. Gracias a ellas, sensores, actuadores, controladores y sistemas de gestión pueden intercambiar datos constantemente, asegurando que todo el proceso esté coordinado y optimizado. El objetivo principal de estas comunicaciones es transformar la información captada del entorno en datos útiles que faciliten la toma de decisiones rápidas y

eficaces [Centro de la formación técnica para la industria, 2021]. Esto no solo mejora la eficiencia de la producción, sino que también ayuda a prevenir errores, optimizar el uso de recursos y mantener los procesos en marcha sin interrupciones. A diferencia de las redes convencionales, las comunicaciones industriales deben cumplir con requisitos muy exigentes: alta fiabilidad, resistencia a condiciones adversas, capacidad para operar en tiempo real y determinismo. [Centro de la formación técnica para la industria, 2021].

La tecnología de **bus de campo** apareció a finales de los años 80 con el objetivo de ofrecer un método estandarizado para conectar múltiples dispositivos de campo en entornos industriales. El bus de campo es una red de comunicación industrial bidireccional y multipunto que conecta dispositivos de campo inteligentes, sustituyendo los sistemas de control centralizados por redes distribuidas. Permite que múltiples sensores y actuadores se comuniquen con el controlador sin conexiones individuales, reduciendo cables y distancia [aula 21, 2020]. Existen múltiples variantes desarrolladas por fabricantes para diferentes nichos destacando: PROFIBUS en automoción y control de procesos, CANbus en el sector automotriz y maquinaria y Foundation Fieldbus en industrias de petróleo y gas entre otros [Maisvch, 2023].

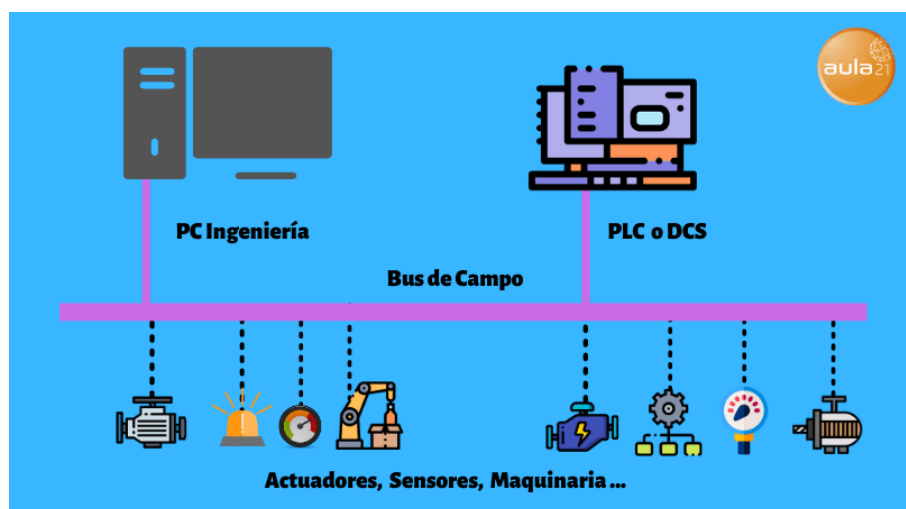


Figura 1.14: Ejemplo básico de bus de campo. [aula 21, 2020]

Por otro lado, la tecnología **Ethernet industrial** surge como una evolución de Ethernet tradicional, adaptándose a los estrictos requerimientos de entornos industriales donde la robustez, el intercambio de datos en tiempo real y la resistencia a interferencias son esenciales. A partir del estándar IEEE 802.3, Ethernet industrial integra mejoras específicas para la automatización, soportando protocolos como Modbus TCP/IP, PROFINET y EtherCAT [Maisvch, 2023].

Entre sus principales ventajas frente a los sistemas de bus de campo tradicionales

destacan sus altas velocidades de comunicación (desde 10 Mbps hasta 10 Gbps), su apertura e interoperabilidad, la escalabilidad de la red y su rentabilidad. Estas características permiten su uso tanto en el monitoreo en tiempo real como en la integración de sistemas de gestión y supervisión de plantas industriales, convirtiéndolo en la base de las redes industriales modernas [Maisvch, 2023].

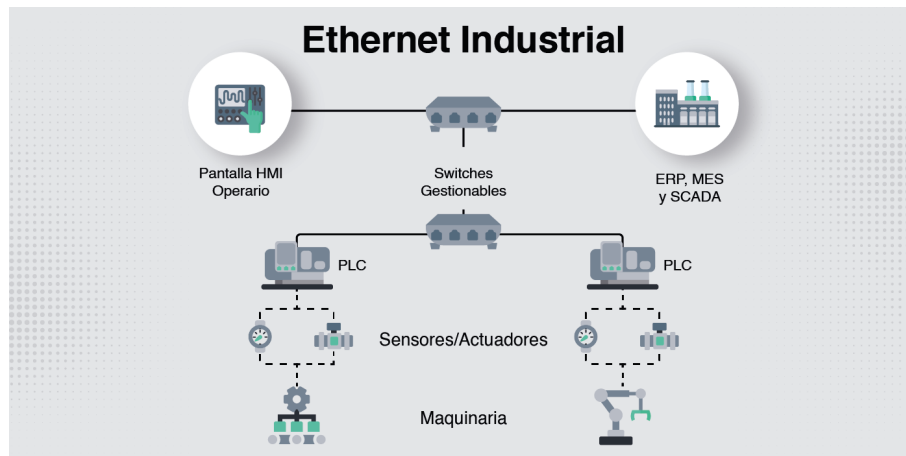


Figura 1.15: Ejemplo básico de red de ethernet industrial. [PRECISION, 2023]

1.3.2. Metodología de la automatización industrial

En la automatización industrial, es fundamental seguir una metodología clara que permita diseñar, implementar y controlar los procesos de forma ordenada y eficiente. Para ello, existen herramientas y enfoques que ayudan a representar el comportamiento del sistema, identificar sus distintos modos de funcionamiento y supervisar su estado en tiempo real.

Una de las herramientas más utilizadas es el GRAFCET, un lenguaje gráfico que permite describir de forma sencilla el funcionamiento secuencial de un sistema. Junto a él, la guía GEMMA ayuda a identificar los distintos modos de operación del sistema (como arranque, parada o fallo), y sirve como complemento al GRAFCET para organizar mejor el control general del proceso. Por último, los sistemas SCADA juegan un papel clave en la supervisión de procesos industriales, permitiendo al operador visualizar en tiempo real lo que ocurre en planta, modificar parámetros y detectar posibles errores de forma rápida.

GRAFCET

El modelo GRAFCET (Graphe Fonctionnel de Commande Étape Transition) es un método gráfico que se utiliza en la automatización industrial para representar y controlar procesos secuenciales. Creado en 1977 por la AFCET (Asociación Francesa para la Cibernética Económica y Técnica), su objetivo es describir el comportamiento de los sistemas de control mediante un diagrama de etapas y transiciones [infoPLC.net, 2020]. Esto no es un lenguaje de programación, sino una forma de resolver el problema de automatización secuencial previo a su programación en el PLC. A continuación, se describen los distintos elementos que conforman un GRAFCET:

1. **Etapas:** Se representan como cuadros numerados en el diagrama. Cada etapa indica un estado específico del sistema y las acciones que deben llevarse a cabo cuando esa etapa está activa. La etapa inicial se representa con un doble cuadrado.
2. **Transiciones:** Son las condiciones que deben cumplirse para que el sistema pase de una etapa a otra. Estas condiciones se representan por líneas que cruzan de manera perpendicular las etapas. Las transiciones se activan cuando se cumple una condición lógica, como el final de un proceso o la llegada de una señal.
3. **Uniones:** Representan las conexiones entre varias etapas y permiten que se ejecuten acciones simultáneas en diferentes partes del sistema. Las uniones facilitan la ejecución de procesos en paralelo.
4. **Acciones:** Son las operaciones que se realizan cuando una etapa está activa. Estas acciones están directamente vinculadas a la etapa correspondiente.

Este modelo resulta muy útil en procesos industriales donde las operaciones siguen una secuencia lógica y estructurada. Se utiliza comúnmente en la programación de PLCs (Controladores Lógicos Programables), ya que permite controlar sistemas paso a paso y asegura que las acciones se realicen de manera secuencial [infoPLC.net, 2020].

Una vez creado el Grafcet, para poder introducir la lógica pensada en el PLC, hay que traducir la información al lenguaje ladder, que es el cual entiende el PLC. Para ello se deben asignar direcciones de memoria en el PLC a cada etapa, entradas, salidas y demás elementos como contadores o temporizadores. Una vez traducido el Grafcet al lenguaje Ladder e introducido en el PLC ya se puede ejecutar la secuencia realizada del sistema.

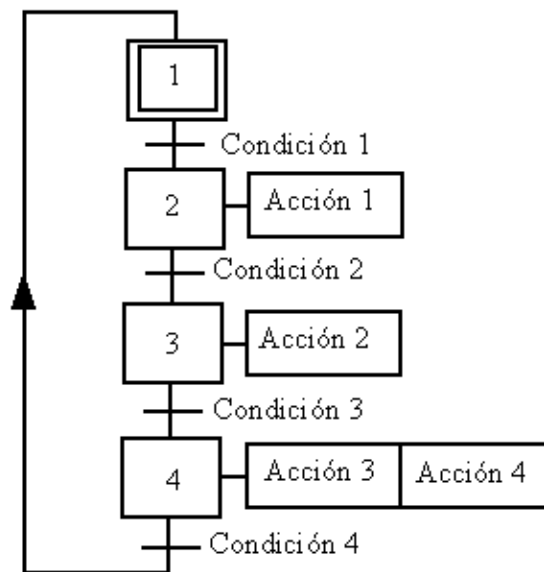


Figura 1.16: Ejemplo básico de GRAFCET.

Guía GEMMA

La Guía GEMMA (Guía para la Elaboración de los Modelos de los Modos de Marcha y Parada de una Automatización) es una metodología utilizada en el ámbito de la automatización industrial para representar de forma clara y estructurada los diferentes modos de funcionamiento de una máquina o sistema [José A. Rodríguez Mondéjar, 2022]. La guía GEMMA está compuesta por bloques que representan cada uno de estos modos y sus posibles transiciones, lo que proporciona una visión global y ordenada del comportamiento del sistema [José A. Rodríguez Mondéjar, 2022].

El núcleo de la guía se basa en tres grandes categorías: funcionamiento, parada o puesta en marcha, y defecto. En cada categoría se pueden identificar varios subestados como:

- **Funcionamiento:** La producción en curso o marcha de cierre [José A. Rodríguez Mondéjar, 2022].
- **Parada o puesta en marcha:** La parada al estado inicial o de final de ciclo [José A. Rodríguez Mondéjar, 2022].
- **Defecto:** La parada de emergencia [José A. Rodríguez Mondéjar, 2022].

Además de su valor como herramienta de planificación, GEMMA se integra fácilmente con otras metodologías como el GRAFCET, permitiendo diseñar

automatismos más seguros y eficientes. Al normalizar los distintos modos de operación y facilitar la interpretación de los estados de una automatización, la Guía GEMMA se ha convertido en un recurso esencial para la automatización de procesos.

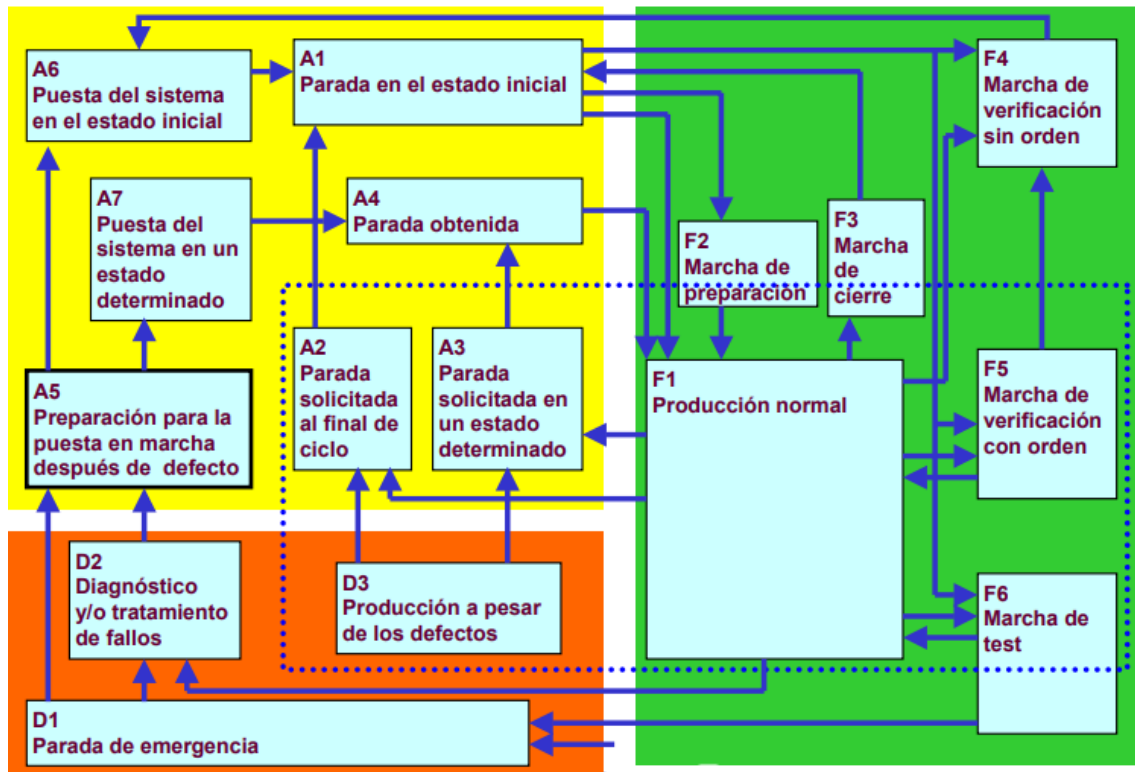


Figura 1.17: Ejemplo de guía gemma complejo. [José A. Rodríguez Mondéjar, 2022]

Sistemas SCADA

Un sistema SCADA (Supervisory Control and Data Acquisition) es una herramienta clave en la automatización industrial, diseñada para supervisar y controlar procesos a distancia mediante la recopilación y análisis de datos en tiempo real [Autexopen, 2022]. Estos sistemas permiten monitorear variables críticas como temperatura, presión o caudal, facilitando una operación eficiente y segura de plantas industriales, líneas de producción, redes eléctricas o infraestructuras inteligentes [Autexopen, 2022].

Los sistemas SCADA recopilan información a través de sensores y dispositivos conectados a una red de comunicaciones, ya sea cableada o inalámbrica. Esta información se procesa en un software especializado que permite visualizar los datos, generar alarmas ante anomalías y controlar equipos de forma remota [Autexopen, 2022]. Entre sus funciones principales se incluyen la monitorización en tiempo real, análisis de datos, generación de alertas y control de dispositivos como válvulas o motores [Autexopen, 2022].

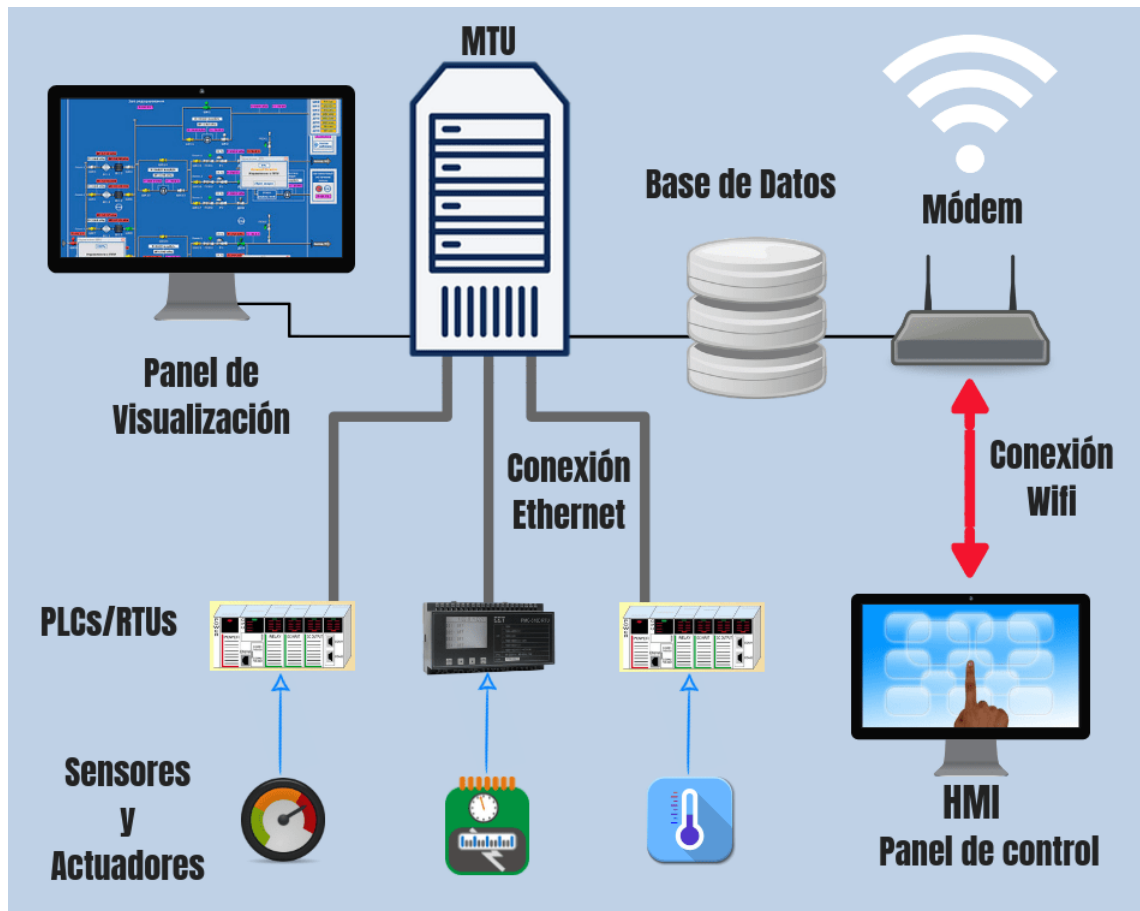


Figura 1.18: Ejemplo de un diagrama básico con sistema SCADA. [aula21, 2023]

Existen diferentes tipos de sistemas SCADA según su arquitectura: centralizados, donde todos los componentes están en una misma ubicación; distribuidos, con componentes separados conectados por una red; y híbridos, que combinan características de ambos [Autexopen, 2022]. Implementar un sistema SCADA adecuado puede mejorar significativamente la eficiencia operativa y la capacidad de respuesta ante incidencias en entornos industriales.

1.4. Motivación del trabajo

A lo largo de mi formación académica, he podido adquirir conocimientos en diferentes áreas de la robótica, tanto desde el punto de vista teórico como práctico. Algo que comparten muchas asignaturas es el uso de simuladores, que permiten aplicar lo aprendido en un entorno virtual. Estos simuladores tienen muchas ventajas como el programar sin miedo a dañar un robot real, personalizar el entorno según la aplicación que se quiera simular e incluso experimentar con diferentes configuraciones de manera sencilla y sin costes adicionales.

Aun así, trabajar solo con simuladores no es lo mismo que hacerlo con sistemas reales. La experiencia práctica que se obtiene al enfrentarse a un entorno físico es mucho más rica y completa. En la realidad, hay que lidiar con errores de sensores, fallos en los actuadores, problemas mecánicos o situaciones imprevistas que obligan a pensar y reaccionar. Estas experiencias ayudan a desarrollar habilidades muy valiosas, como la capacidad de resolver problemas, tomar decisiones rápidas y adaptarse a los cambios, cosas que un simulador, por muy avanzado que sea, no siempre puede ofrecer.

Con este trabajo, mi objetivo es crear una aplicación usando dos simuladores didácticos que sirva como herramienta de apoyo para que otros alumnos puedan aprender de forma más interactiva y entretenida. Utilizar este tipo de recursos no solo puede hacer más ameno el aprendizaje, sino que también puede despertar mayor interés por la robótica y automatización y facilitar la comprensión de los conceptos. Además, combinar el uso de simuladores con prácticas reales puede ser una muy buena forma de reforzar la formación y preparar mejor a los estudiantes para los retos que encontrarán en el entorno profesional.

En cuanto a las salidas profesionales, la automatización industrial representa una opción laboral muy atractiva. Con la transformación digital impulsada por la Industria 4.0 y el auge de tecnologías como el Internet de las Cosas (IoT), la robótica o la inteligencia artificial, la demanda de profesionales cualificados en este ámbito no ha dejado de crecer. Sectores como la automoción, la alimentación o la logística están apostando cada vez más por la automatización para mantenerse competitivos en un mercado globalizado.

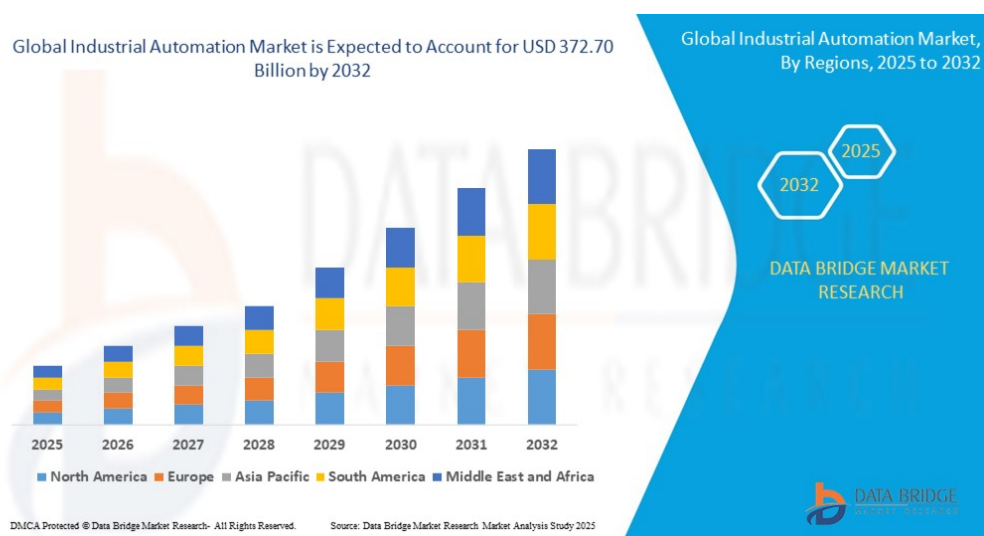


Figura 1.19: Tendencias del mercado global de automatización industrial.
[Data Bridge Market Research, 2025]

Como se observa en la figura 1.19, se prevé que cada año se invierta más dinero en la automatización industrial, por lo que personalmente, considero que este campo tiene un gran futuro. La producción industrial en masa seguirá siendo clave para satisfacer la demanda del mercado, impulsada por el crecimiento demográfico y el alto nivel de consumo. Por otro lado, el desarrollo continuo de nuevas tecnologías y robots hace que el sector esté en constante evolución, tal y como viene ocurriendo desde sus orígenes en la década de 1940.

Además, la escasez de perfiles especializados hace que las oportunidades laborales sean aún mayores, y la experiencia utilizando estos simuladores en tu etapa académica puede provocar que una empresa se decante por ti por encima de otras personas que no haya utilizado un sistema físico. A esto se suman unos salarios de entrada bastante competitivos, que tienden a mejorar con la experiencia y ofrecen una buena calidad de vida.

Capítulo 2

Objetivos

Quizás algún fragmento de libro inspirador...

Autor, *Título*

Escribe aquí un párrafo explicando brevemente lo que vas a contar en este capítulo. En este capítulo lo ideal es explicar cuáles han sido los objetivos que te has fijado conseguir con tu trabajo, qué requisitos ha de respetar el resultado final, y cómo lo has llevado a cabo; esto es, cuál ha sido tu plan de trabajo.

2.1. Descripción del problema

Cuenta aquí el objetivo u objetivos generales y, a continuación, concrétales mediante objetivos específicos.

2.2. Requisitos

Describe los requisitos que ha de cumplir tu trabajo.

2.3. Competencias

Enumera las competencias generales adquiridas y empleadas. Es decir, las que consideres que has adquirido durante la realización de tu TFG (las podrás encontrar en la guía docente de la asignatura TFG), así como las que creas que has adquirido en las distintas asignaturas del grado (descritas en sus respectivas guías docentes) y que has empleado para llevarlo a cabo.

2.4. Metodología

Qué paradigma de desarrollo software has seguido para alcanzar tus objetivos.

2.5. Plan de trabajo

Qué agenda has seguido. Si has ido manteniendo reuniones semanales, cumplimentando objetivos parciales, si has ido afinando poco a poco un producto final completo, etc.

Capítulo 3

Plataforma de desarrollo

Cualquier cosa que pueda ser automatizada, será automatizada..

Robert Cannon, *Título*

En este capítulo se detallan los recursos hardware y software empleados para llevar a cabo el desarrollo de la aplicación. A nivel hardware, se han utilizado dos maquetas didácticas de automatización industrial, cada una equipada con un PLC, junto con una interfaz HMI y un brazo robótico colaborativo de la empresa Universal Robots (UR). En cuanto al software, se han utilizado distintos entornos de desarrollo específicos para cada dispositivo: el software TIA Portal para la programación de los PLCs y la configuración de la HMI, y la plataforma URSim para la simulación y control del brazo robótico. Además, se han empleado librerías propias de los fabricantes, sistemas operativos compatibles con las herramientas utilizadas y conexiones mediante protocolos estándar de comunicación industrial como Profinet. Aparte de la programación individual de cada componente del sistema, se ha llevado a cabo el montaje completo y el conexionado de todos los elementos desde su estado inicial de fábrica.

3.1. Estación distribución

3.2. Estación unión

3.3. PLCs Siemens 1200s

3.4. HMI

3.5. Comunicaciones

3.6. Brazo UR5

Capítulo 4

Diseño

Quizás algún fragmento de libro inspirador...

Autor, *Título*

Escribe aquí un párrafo explicando brevemente lo que vas a contar en este capítulo. En este capítulo (y quizás alguno más) es donde, por fin, describes detalladamente qué has hecho y qué experimentos has llevado a cabo para validar tus desarrollos.

4.1. Snippets

Puede resultar interesante, para clarificar la descripción, mostrar fragmentos de código (o *snippets*) ilustrativos. En el Código 4.1 vemos un ejemplo escrito en C++.

```
void Memory::hypothesizeParallelograms () {
    for(it1 = this->controller->segmentMemory.begin(); it1++) {
        squareFound = false; it2 = it1; it2++;
        while ((it2 != this->controller->segmentMemory.end()) && (!squareFound))
        {
            if (geometry::haveACommonVertex((*it1),(*it2),&square)) {
                dist1 = geometry::distanceBetweenPoints3D ((*it1).start, (*it1).end);
                dist2 = geometry::distanceBetweenPoints3D ((*it2).start, (*it2).end);
            }
        }
        // [...]
    }
}
```

Código 4.1: Función para buscar elementos 3D en la imagen

En el Código 4.2 vemos un ejemplo escrito en Python.

4.2. Verbatim

Para mencionar identificadores usados en el código —como nombres de funciones o variables— en el texto, usa el entorno literal o verbatim

```
def mostrarValores():
    print (w1.get(), w2.get())

master = Tk()
w1 = Scale(master, from_=0, to=42)
w1.pack()
w2 = Scale(master, from_=0, to=200, orient=HORIZONTAL)
w2.pack()
Button(master, text='Show', command=mostrarValores).pack()

mainloop()
```

Código 4.2: Cómo usar un Slider

`hypothesizeParallelograms()`. También se puede usar este entorno para varias líneas, como se ve a continuación:

```
void Memory::hypothesizeParallelograms () {
    // add your code here
}
```

4.3. Ecuaciones

Si necesitas insertar alguna ecuación, puedes hacerlo. Al igual que las figuras, no te olvides de referenciarlas. A continuación se exponen algunas ecuaciones de ejemplo: Ecuación 4.1 y Ecuación 4.2.

$$H = 1 - \frac{\sum_{i=0}^N \frac{(\frac{d_{js} + d_{je}}{2})}{N}}{M} \quad (4.1)$$

Ecuación 4.1: Ejemplo de ecuación con fracciones

$$v(entrada) = \begin{cases} 0 & \text{if } \epsilon_t < 0,1 \\ K_p \cdot (T_t - T) & \text{if } 0,1 \leq \epsilon_t < M_t \\ K_p \cdot M_t & \text{if } M_t < \epsilon_t \end{cases} \quad (4.2)$$

Ecuación 4.2: Ejemplo de ecuación con array y letras y símbolos especiales

4.4. Tablas o cuadros

Si necesitas insertar una tabla, hazlo dignamente usando las propias tablas de L^AT_EX, no usando pantallazos e insertándolas como figuras... En el Cuadro 4.1 vemos

un ejemplo.

Parámetros	Valores
Tipo de sensor	Sony IMX219PQ[7] CMOS 8-Mpx
Tamaño del sensor	3.674 x 2.760 mm (1/4" format)
Número de pixels	3280 x 2464 (active pixels)
Tamaño de pixel	1.12 x 1.12 μm
Lente	f=3.04 mm, f/2.0
Ángulo de visión	62.2 x 48.8 degrees
Lente SLR equivalente	29 mm

Cuadro 4.1: Parámetros intrínsecos de la cámara

Capítulo 5

Conclusiones

Quizás algún fragmento de libro inspirador...

Autor, *Título*

Escribe aquí un párrafo explicando brevemente lo que vas a contar en este capítulo, que básicamente será una recapitulación de los problemas que has abordado, las soluciones que has prouesto, así como los experimentos llevados a cabo para validarlos. Y con esto, cierras la memoria.

5.1. Conclusiones

Enumera los objetivos y cómo los has cumplido.

Enumera también los requisitos implícitos en la consecución de esos objetivos, y cómo se han satisfecho.

No olvides dedicar un par de párrafos para hacer un balance global de qué has conseguido, y por qué es un avance respecto a lo que tenías inicialmente. Haz mención expresa de alguna limitación o peculiaridad de tu sistema y por qué es así. Y también, qué has aprendido desarrollando este trabajo.

Por último, añade otro par de párrafos de líneas futuras; esto es, cómo se puede continuar tu trabajo para abarcar una solución más amplia, o qué otras ramas de la investigación podrían seguirse partiendo de este trabajo, o cómo se podría mejorar para conseguir una aplicación real de este desarrollo (si es que no se ha llegado a conseguir).

5.2. Corrector ortográfico

Una vez tengas todo, no olvides pasar el corrector ortográfico de L^AT_EXa todos tus ficheros *.tex*. En **Windows**, el propio editor **TeXworks** incluye el corrector. En **Linux**, usa **aspell** ejecutando el siguiente comando en tu terminal:

```
aspell --lang=es --mode=tex check capitulo1.tex
```

Bibliografía

- [aula 21, 2020] aula 21 (2020). Qué es un bus de campo y para qué sirve.
- [aula21, 2023] aula21 (2023). Qué es un sistema scada, para qué sirve y cómo funciona.
- [Autexopen, 2022] Autexopen (2022). Qué es un sistema scada? información completa.
- [Automatizacionindustrial360, 2020] Automatizacionindustrial360 (2020). Ventajas y desventajas de la automatización industrial.
- [Centro de la formación técnica para la industria, 2021] Centro de la formación técnica para la industria (2021). Redes de comunicación industrial: todo lo que debes saber.
- [Centro de la formación técnica para la industria, 2024] Centro de la formación técnica para la industria (2024). Automatización industrial: Qué es y cómo funciona.
- [Computing, 2023] Computing (2023). Robótica industrial: Qué es, usos y aplicaciones.
- [Data Bridge Market Research, 2025] Data Bridge Market Research (2025). Informe de análisis del tamaño, la participación y las tendencias del mercado global de automatización industrial: panorama general del sector y pronóstico hasta 2032.
- [Esneca, 2020] Esneca (2020). Tipos de robots industriales: clasificación y características.
- [ferrovial, 2022] ferrovial (2022). Robótica.
- [GSL industrias, 2021] GSL industrias (2021). ¿qué es un plc y cómo funciona?
- [infoPLC.net, 2020] infoPLC.net (2020). Lenguaje grafset - sfc.
- [Iñigo Gútiérrez, 2024] Iñigo Gútiérrez (2024). Lenguaje kop o ladder: el más usado para programar plc.

- [José A. Rodríguez Mondéjar, 2022] José A. Rodríguez Mondéjar (2022). Guía gemma.
- [Maisvch, 2023] Maisvch (2023). Ethernet industrial frente a bus de campo: cómo navegar por el futuro de la comunicación industrial.
- [MCR, 2016] MCR (2016). Ventajas y desventajas de la automatización industrial.
- [MME, 2023] MME (2023). Brazo robótico industrial: características y aplicaciones.
- [MONDRAGON ENRIQUEZ ZULLY MONTSERRAT, 2023] MONDRAGON ENRIQUEZ ZULLY MONTSERRAT (2023). Línea de tiempo: Evolución de la robótica industrial.
- [neobotikstg, 2021] neobotikstg (2021). ¿qué tipos de automatización industrial hay y cuáles necesitas?
- [Omnielectric Web, 2024] Omnielectric Web (2024). La pirámide de automatización: Clave para la integración de sistemas en plantas industriales.
- [Palacios Gonzalo, 2024] Palacios Gonzalo, A. (2024). El impacto de la automatización en la sustitución de mano de obra humana por robots en la industria. Master thesis on computer science, Rey Juan Carlos University.
- [PRECISION, 2023] PRECISION (2023). La evolución de las redes industriales.
- [Robotnik, 2022] Robotnik (2022). ¿qué es un robot industrial? definición y características.
- [SDI, 2022] SDI (2022). ¿qué es la pirámide de la automatización?
- [Sicma21, 2021] Sicma21 (2021). Robots industriales: tecnología y aplicaciones.
- [Siemens, 2024] Siemens (2024). Human machine interface systems/pc-based automation.
- [Sunt Automatización, 2024] Sunt Automatización (2024). 3 niveles del proceso de automatización industrial.
- [Unir, 2021] Unir (2021). Robótica industrial: concepto, objetivo y principales aplicaciones.