

---

# INTEGRACIÓN DE SENSORES Y ACTUADORES INTELIGENTES EN LA INDUSTRIA 4.0: LA TECNOLOGÍA IO-LINK

**VICENTE MASCARÓS MATEO**

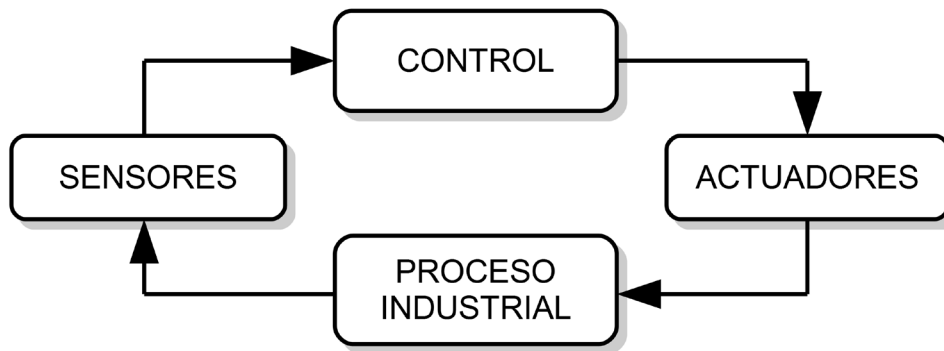
Generalitat Valenciana

En el contexto macroeconómico actual ha surgido la Industria 4.0 como una nueva revolución industrial que incorpora las nuevas tecnologías emergentes (cloud, sistemas ciber-físicos, sensórica, entre muchas otras) a la industria. El término Industria 4.0 se refiere a la cuarta revolución industrial impulsada por la transformación digital, significando un salto cualitativo en la organización y gestión de la cadena de valor del sector. En este sentido, la utilización de las nuevas tecnologías digitales permite la hibridación y vinculación entre el mundo físico (dispositivos, materiales, productos, maquinaria e instalaciones) y el mundo digital (sistemas), de forma que los dispositivos y sistemas colaboran para mejorar los niveles de automatización y crear una industria inteligente [1], [2]. A este respecto, la Estrategia Nacional de Industria Conectada 4.0 impulsa la transformación digital de la industria española mediante la actuación conjunta y coordinada del sector público y privado, a través de una serie de programas de apoyo a las empresas industriales diseñados por la Secretaría General de Industria y de la Pequeña y Mediana Empresa [1].

En este proceso de transformación digital de la industria, los sensores y actuadores juegan un papel fundamental. Los sensores y actuadores son unos dispositivos imprescindibles en cualquier sistema de control y automatización de un proceso industrial (figura 1) que se integran en el nivel de campo de la pirámide de la automatización. A grandes rasgos, los sensores son dispositivos que miden las variables de interés del proceso industrial que se pretende controlar, proporcionando dicha información a la parte de control. En el mercado existen multitud de sensores capaces

de medir variables como temperatura, presión, caudal, humedad, aceleración, presencia, velocidad angular o lineal, etc. A su vez, la parte de control, en base a la información que recibe de los sensores, toma decisiones que envía a los actuadores para que el proceso industrial se comporte del modo deseado. Los dispositivos actuadores reciben las decisiones adoptadas por la parte de control y actúan sobre el proceso influyendo sobre su comportamiento; estos dispositivos actuadores pueden ser eléctricos, neumáticos, hidráulicos, etc.

**FIGURA 1**  
**CONTROL DE UN PROCESO INDUSTRIAL**



Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 2**  
**SENSOR DE PROXIMIDAD CAPACITIVO TÍPICO**



Fuente: Elaboración propia.

La Industria 4.0 no sería posible sin el desarrollo de potentes sensores y actuadores inteligentes capaces de colaborar en la recopilación de datos en tiempo real de los procesos industriales, el escalado de la información para su análisis, los cambios rápidos de producción, la maximización de los tiempos de actividad utilizando funciones de mantenimiento y monitorización, la trazabilidad completa de los ciclos de vida, la serialización de productos industriales, la amplia colaboración entre máquinas y el rápido diseño e instalación. En este sentido, la tecnología IO-Link es una interfaz de comunicación serie bidireccional punto a punto, para el ámbito de los sensores y actuadores inteligentes [3]. Se trata de un protocolo estándar abierto a todos los fabricantes que permite transferir no solo señales de conmutación binarias o valores analógicos, sino también el

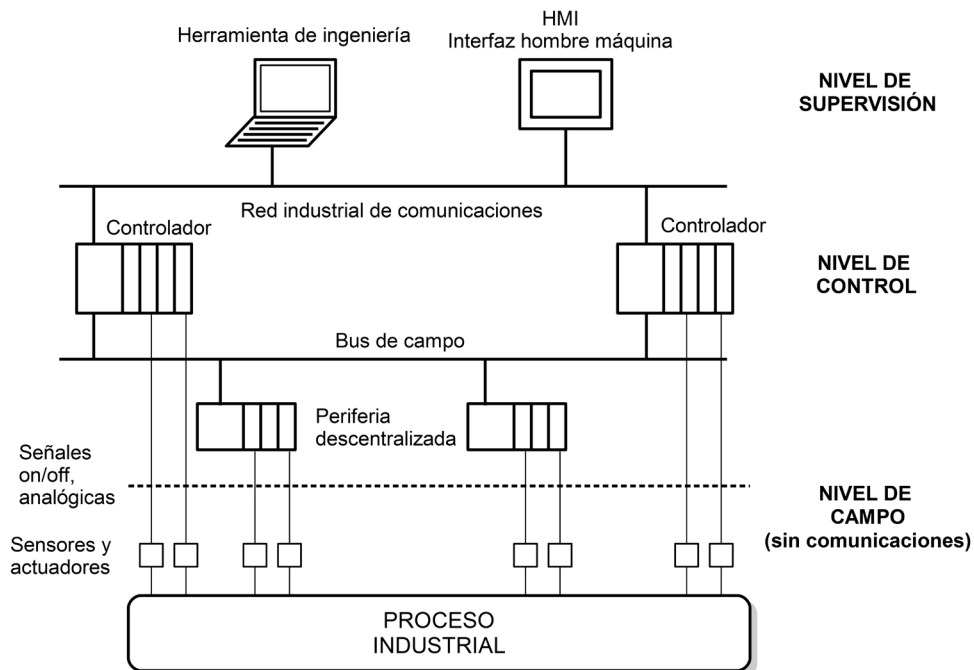
estado del sensor o actuador y sus parámetros de configuración.

En este trabajo se expone la integración de actuadores y sensores inteligentes en la Industria 4.0 mediante el sistema estándar abierto IO-Link. Se describe, en primer lugar, la diferencia entre los sensores/actuadores típicos utilizados tradicionalmente en la industria y los dispositivos inteligentes, y se presenta la arquitectura tradicional de un sistema distribuido de automatización industrial. A continuación, se explica la tecnología de comunicación IO-Link, sus características y ventajas, así como la arquitectura de un sistema distribuido de automatización industrial que incorpora sensores y actuadores inteligentes con conectividad IO-Link. El artículo finaliza con la exposición de un caso práctico donde se muestra la integración de sensores inteligentes con conectividad IO-Link en un sistema distribuido de automatización industrial.

### SENSORES Y ACTUADORES INTELIGENTES ↓

Los sensores típicos utilizados en los sistemas de automatización industrial tradicionales se limitan prácticamente a medir las variables de interés del proceso industrial a controlar. Estos sensores se caracterizan por proporcionar salidas simples del tipo conmutación binaria, o bien, valores analógicos. Su ajuste se suele realizar de forma manual por el personal técnico mediante potenciómetro, y las señales que proporcionan se interpretan directamente por la parte de control; normalmente un controlador lógico programable. Los sensores típicos no disponen de mecanismos capaces de integrarse en un sistema de comunicaciones industriales, y la parte de control no tiene acceso directo a ellos, es decir, no es posible consultar el estado de este tipo de sensores ni tampoco modificar su configuración desde la parte de control. En la figura 2 se muestra un sensor de proximidad capacitivo típico, del tipo NPN, capaz de detectar objetos tanto metálicos como no me-

**FIGURA 3**  
**EJEMPLO DE ARQUITECTURA TRADICIONAL DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DISTRIBUIDO**



Fuente: Elaboración propia.

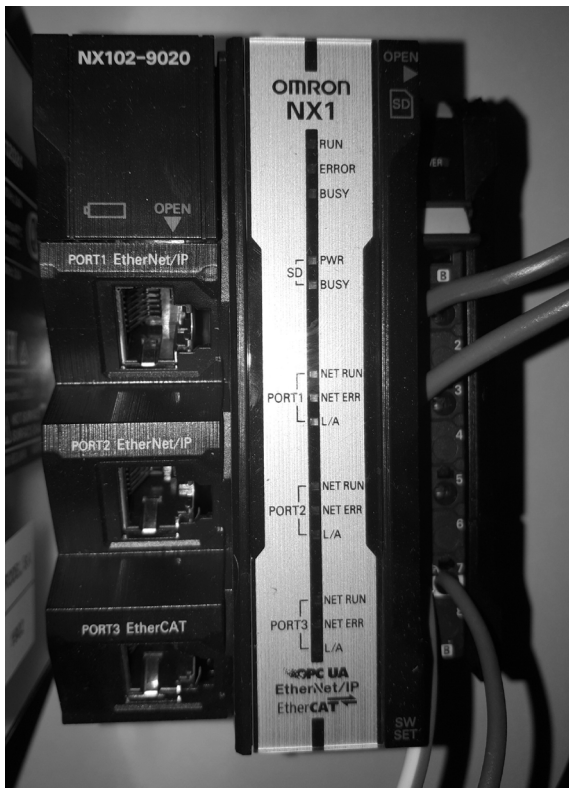
tálicos. No obstante, este dispositivo solamente es capaz de proporcionar una señal de conmutación binaria del tipo detecta/no detecta objeto. Dispone de tres cables: el cable negro se conecta al terminal positivo de la alimentación, el cable azul se conecta al terminal negativo de la alimentación o masa, y el cable marrón proporciona la señal de conmutación binaria detecta/no detecta objeto.

A su vez, un actuador típico recibe decisiones de la parte de control y actúa sobre el proceso industrial modificando su comportamiento. Al igual que los sensores típicos, estos actuadores no son capaces de integrarse en un sistema de comunicaciones industriales y la parte de control no tiene acceso directo a ellos, de forma que no es posible consultar su estado ni modificar su configuración desde la parte de control.

Los sensores y actuadores típicos son dispositivos que se emplean en los sistemas de control distribuido tradicionales de procesos industriales. Un sistema de control distribuido tradicional es un sistema automatizado de control de procesos industriales complejos, tales como plantas químicas, fabricación de automóviles, plantas de tratamiento de aguas, industria farmacéutica o industria alimentaria, entre otras, que integra en su arquitectura bucles de control distribuidos por toda una planta o área, y está basado en redes de comunicaciones industriales. Los sistemas de control distribuido tradicionales emplean sensores y actuadores típicos que utilizan señales del tipo conmutación binaria o valores analógicos. En

la figura 3 se representa un ejemplo de arquitectura tradicional de un sistema de control y automatización distribuido, donde se diferencian tres niveles de operación: nivel de supervisión, nivel de control y nivel de campo. En el nivel de supervisión se pueden encontrar habitualmente dispositivos HMI interfaz hombre-máquina. Suelen ser pantallas táctiles que permiten conectar las personas con las máquinas, ofrecen información en tiempo real sobre los distintos procesos que se ejecutan en una planta industrial y permiten que las personas envíen consignas a los dispositivos controladores. En este nivel también se encuentran las herramientas de ingeniería basadas en PC que permiten programar, configurar y parametrizar el sistema de control distribuido. Los dispositivos HMI, las herramientas de ingeniería y los controladores se comunican entre sí mediante una red industrial de comunicaciones. Un ejemplo de ello es el protocolo estándar EtherNet Industrial o EtherNet/IP. Los dispositivos controladores ejecutan los algoritmos de control implementados en su memoria, utilizando para ello la información del estado del proceso industrial proporcionada por los sensores, así como las consignas emitidas desde el nivel de supervisión, y envían las decisiones de control a los actuadores para influir sobre el proceso industrial y alcanzar de esta forma el comportamiento deseado. La información que intercambian los dispositivos controladores y los sensores/actuadores es del tipo conmutación binaria o valores analógicos. Cuando las distancias físicas entre los sensores/actuadores y los controladores son cortas y no hay riesgo de pérdida de infor-

**FIGURA 4**  
**CONTROLADOR DE ALTA GAMA DE PROCESOS**  
**INDUSTRIALES CON DOS PUERTOS ETHERNET/IP Y UN**  
**PUERTO DE BUS DE CAMPO ETHERCAT**



Fuente: Elaboración propia.

mación causada por interferencias, perturbaciones o atenuaciones, se realiza un cableado directo entre ellos, de forma que los controladores leen directamente las medidas aportadas por los sensores, y también los controladores envían directamente las señales de control a los actuadores. Cuando las distancias físicas entre el controlador y los sensores/actuadores son considerables y las señales transmitidas se pueden ver afectadas por perturbaciones, interferencias o atenuaciones que afectan negativamente al sistema de control, entonces se utilizan módulos de periferia descentralizados ubicados a corta distancia de los sensores y actuadores. Estos módulos descentralizados se cablean directamente con los sensores/actuadores, e intercambian la información con los controladores a través de un protocolo de comunicación industrial basado en bus de campo con una estructura lógica del tipo maestro-esclavo. En la figura 4 se muestra un controlador de alta gama de procesos industriales que dispone de dos puertos EtherNet/IP y un puerto de bus de campo EtherCAT para su integración en un sistema de control y automatización industrial distribuido.

Sin embargo, a diferencia de los sensores típicos, los sensores inteligentes, además de incorporar en la misma unidad física el elemento sensor para medir las variables de interés del proceso industrial a con-

**FIGURA 5**  
**SENSOR DE PROXIMIDAD CAPACITIVO INTELIGENTE**



Fuente: Elaboración propia.

trolar, incorporan circuitos electrónicos complementarios, tales como microprocesadores y memoria, con capacidad de procesamiento de la información y capacidad de establecer una comunicación bidireccional digital con otros dispositivos. La señal acondicionada no se transmite directamente, sino que es procesada previamente. Estos dispositivos inteligentes tienen capacidad de autodiagnóstico y autocalibración, pudiendo contener varios elementos sensores distintos en la misma unidad física. En la figura 5 se representa un sensor de proximidad capacitivo inteligente con conectividad IO-Link.

Por otra parte, los actuadores inteligentes reciben decisiones de la parte de control y actúan sobre el proceso industrial, controlando su comportamiento. Al igual que los sensores inteligentes, los actuadores inteligentes incorporan circuitos electrónicos complementarios con capacidad de procesamiento de la información, autodiagnóstico, autocalibración y comunicación digital bidireccional con otros dispositivos.

Los sensores y actuadores inteligentes ayudan a flexibilizar las operaciones de fabricación. Se denomina fabricación flexible a aquel sistema que permite la producción automática de una familia de piezas diferentes minimizando, y en algunos casos, eliminando los costes adicionales por el cambio de fabricación, y que proporciona en consecuencia una productividad y unos costes unitarios que estaban reservados a la fabricación de grandes series [4]. En la mayoría de las aplicaciones de fabricación flexible, los sensores y actuadores deben ser reconfigurados cuando cambian las especificaciones de fabricación. En caso de utilizar sensores y actuadores típicos, estas reconfiguraciones se deben realizar de forma manual por el personal técnico, con la consiguiente parada de línea y pérdida de producción durante este periodo. Sin embargo, la utilización de dispositivos inteligentes permite reajustar su configuración de forma automática en milisegundos, optimizando la fabricación flexible, reduciendo considerablemente el tiempo de reconfiguración y evitando las pérdidas de producción. La reconfiguración automática de dispositivos inteligentes establece valores constantes en ellos, a diferencia de las posibles desviaciones que pueden tener lugar cuando se realiza una re-

configuración manual. Por otro lado, los dispositivos inteligentes también contribuyen a reducir el impacto de los cambios en el personal. El personal técnico con experiencia conoce bien sus máquinas, sus peculiaridades y los problemas que pueden presentar. Sin embargo, a medida que se jubila este personal experimentado se pierde conocimiento técnico, y la nueva generación no está familiarizada con dichas máquinas y sus peculiaridades. En este sentido, los dispositivos inteligentes ofrecen abundante información de diagnóstico que contribuyen a suavizar el impacto en la renovación del personal técnico. También cabe destacar la posibilidad de monitorización y supervisión del estado que ofrecen los dispositivos inteligentes, hecho que facilita la programación y planificación de las tareas de mantenimiento preventivo industrial, anticipando la aparición de fallos y evitando paradas de línea inesperadas.

En el contexto de los dispositivos inteligentes y la Industria 4.0, la tecnología IO-Link es una interfaz abierta a los fabricantes y estandarizada internacionalmente que permite una perfecta comunicación y transferencia de datos desde el nivel de control hasta el nivel de campo, consiguiendo la integración de los sensores y los actuadores inteligentes en los sistemas de control y automatización industrial. En este sentido, los sensores y actuadores inteligentes que incorporan la tecnología IO-Link permiten aprovechar todo su potencial, allanando el camino para la Industria 4.0 en el campo de la tecnología de la automatización industrial. Los sensores y actuadores con conectividad IO-Link permiten monitorizar de forma constante su funcionamiento. De este modo, es posible detectar los fallos con antelación, permitiendo realizar acciones de mantenimiento preventivo antes de sufrir paradas de línea inesperadas causadas por averías y fallos. Las tareas de mantenimiento se pueden programar y planificar, minimizando las paradas inesperadas y reduciendo el tiempo de inactividad de las máquinas. A su vez, la tecnología IO-Link permite comprobar el estado de los equipos y del cableado, avisa de posibles errores durante la instalación de los dispositivos, durante su sustitución y durante su estado operativo, permite la asistencia técnica remota a nivel de sensor y actuador, así como la monitorización y configuración de sus parámetros de funcionamiento.

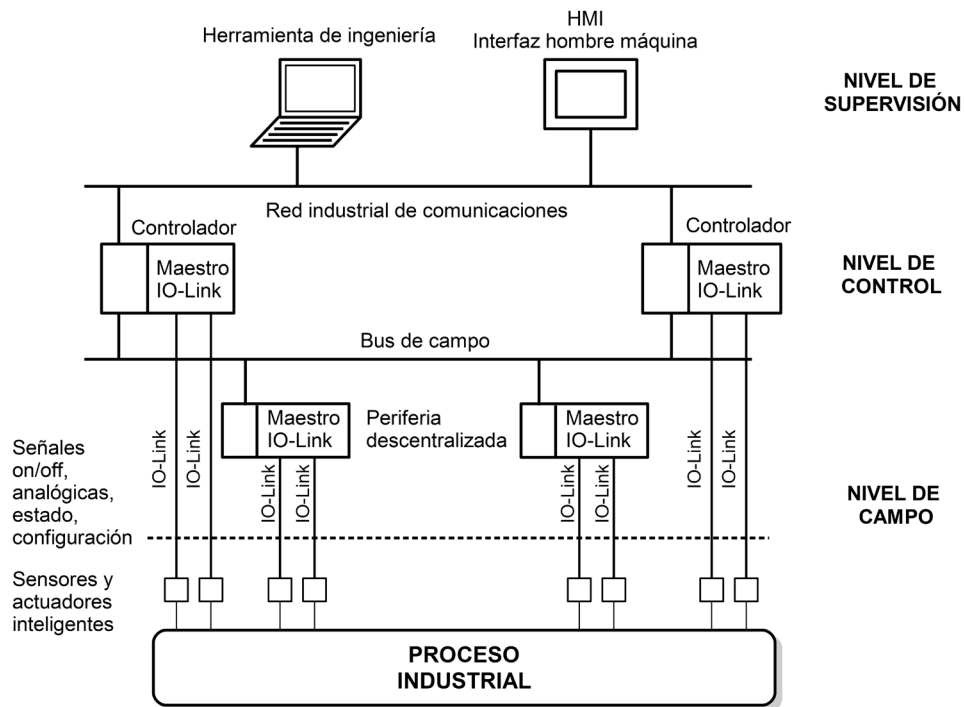
### LA TECNOLOGÍA DE COMUNICACIÓN IO-LINK ↓

La tecnología IO-Link es una interfaz de comunicación serie bidireccional punto a punto innovadora, estandarizada a nivel mundial (IEC 61131-9) para el ámbito de los sensores y actuadores [3]. Se trata de un estándar abierto de comunicación que utiliza un cableado sencillo (3 o 5 hilos), permite la parametrización automática de sensores y actuadores, así como la obtención del diagnóstico del estado de la instalación, características esenciales para la Industria 4.0. El sistema IO-Link presenta las siguientes ventajas [3]:

- Estándar abierto según IEC 61131-9: los dispositivos se pueden integrar del mismo modo en todos los sistemas en bus de campo y sistemas de automatización habituales.
- Herramientas para la asistencia en el ajuste de parámetros y gestión centralizada de datos: configuración y puesta en marcha rápidas, creación sencilla de la documentación actualizada de la instalación también para sensores/actuadores.
- Cableado sencillo y unificado y diversidad de interfaces claramente reducida en los sensores/actuadores: interfaz unificada y estandarizada para sensores y actuadores independientemente de su complejidad (de conmutación, de medición, de varios canales, binarios, de señales mixtas...), reducción de la diversidad de tipos y la gestión de almacén, puesta en marcha rápida, cualquier combinación de dispositivos IO-Link y sensores/actuadores sin IO-Link en el maestro IO-Link.
- Comunicación homogénea entre sensores/actuadores y la CPU: acceso a todos los datos de proceso, datos de diagnóstico e información de equipos, acceso a datos específicos de equipos, posibilidad de diagnóstico remoto.
- Información homogénea de diagnóstico hasta el nivel de sensor/actuador: reducción del trabajo en la búsqueda de errores, minimización de los riesgos de fallo, mantenimiento preventivo y planificación optimizada del mantenimiento y las reparaciones.
- Modificación dinámica de los parámetros de sensores/actuadores a través del controlador o del usuario en el HMI: reducción de los tiempos de parada al cambiar el producto, aumento de la variabilidad de la máquina.
- Reparametrización automática al sustituir aparatos durante el funcionamiento: minimización de los tiempos de parada, sustitución de aparatos por personal sin formación y sin herramientas adicionales, prevención de errores de ajuste.
- Identificación unificada de aparatos: identificación de los aparatos integrados, aseguramiento de la calidad del resultado en producción y fabricación en caso de sustitución de aparatos.

Un sistema IO-Link está formado por un maestro IO-Link, dispositivos IO-Link (por ejemplo, sensores/actuadores, lectores RFID, módulos de E/S, válvulas) y cables estándar de interconexión a tres o cinco hilos no apantallados. A su vez, también debe estar presente una herramienta de ingeniería para configurar y parametrizar el sistema IO-Link. En la figura 6 se representa un ejemplo de arquitectura de un sistema de control y automatización de procesos industriales distribuido con integración de la tecnología IO-Link. En esta arquitectura de control, el maestro IO-Link es-

**FIGURA 6**  
**EJEMPLO DE ARQUITECTURA DE UN SISTEMA DE CONTROL Y AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL DISTRIBUIDO CON INTEGRACIÓN DE LA TECNOLOGÍA IO-LINK**



Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 7**  
**MAESTRO IO-LINK CON OCHO PUERTOS IO-LINK Y CONEXIÓN A BUS DE CAMPO ETHERCAT**

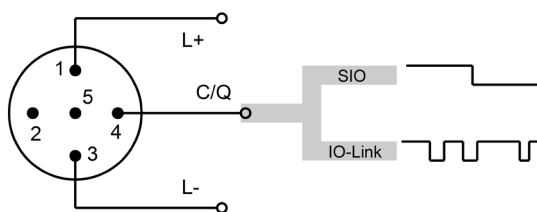


Fuente: Elaboración propia.

establece la conexión entre los dispositivos inteligentes IO-Link y el sistema de automatización. Estos dispositivos inteligentes pueden ser un sensor inteligente, un actuador inteligente o un componente mecatrónico con conectividad IO-Link. El maestro IO-Link se comunica con el controlador a través de un bus de campo, o bien un bus de fondo específico del producto, y puede tener varios puertos IO-Link para conectar un dispositivo inteligente IO-Link en cada uno de ellos. Hay que tener presente que el sistema IO-Link es una comunicación bidireccional punto a punto; no se trata de un bus de campo. En la figura 7 se muestra un dispositivo maestro IO-Link con ocho puertos IO-Link. Este dispositivo dispone, además, de puerto de comunicaciones para conectarse como esclavo en un bus de campo EtherCAT, y lograr así su integración en un sistema control y automatización industrial distribuido.

IO-Link es una conexión punto a punto serie y bidireccional para transmitir señales y suministrar alimentación eléctrica dentro de todo tipo de redes, buses de campo o buses de fondo. La conexión entre un maestro y un dispositivo IO-Link se establece mediante un cable de tres hilos no apantallado que puede tener una longitud de hasta veinte metros, y utiliza conectores estándar M5, M8 o M12. Para el sistema de conexión en IP65/67 se definen, entre otros, conectores M12, de forma que los sensores tienen un conector de cuatro polos y los actuadores, uno de cinco polos. Los maestros IO-Link disponen

**FIGURA 8**  
**ASIGNACIÓN DE PINES DE UN DISPOSITIVO IO-LINK**



Fuente: elaboración propia a partir de [3].

básicamente de conectores hembra M12 de cinco polos (figura 7). Mediante tres pines, además de establecer la comunicación IO-Link, se alimenta de energía al dispositivo IO-Link con un máximo de 200 mA (figura 8). La asignación de pines se especifica del siguiente modo, según IEC 60974-5-2:

- Pin 1: 24 V.
- Pin 3: 0 V.
- Pin 4: línea de conmutación y comunicación (C/Q).

Los distintos puertos de comunicaciones IO-Link de un maestro IO-Link pueden funcionar según los siguientes modos de operación:

- IO-Link: el puerto se encuentra en comunicación IO-Link.
- DI: el puerto se comporta como una entrada digital.
- DQ: el puerto se comporta como una salida digital.
- Desactivado: el puerto está desactivado.

El modo de operación "IO-Link" configura el puerto para establecer comunicaciones bidireccionales punto a punto, el modo "DI" lo configura como una entrada, el modo "DQ" lo configura como una salida, y el modo "Desactivado" desactiva el puerto.

En cuanto a la velocidad de transferencia, en la especificación V1.1 de IO-Link se especifican para el modo de operación IO-Link tres velocidades posibles: COM 1 (4.8 kbaudios), COM 2 (38.4 kbaudios) y COM 3 (230.4 kbaudios). Un dispositivo IO-Link admite exclusivamente una de las velocidades de transferencia de datos definidas. No obstante, el maestro IO-Link, según la especificación V1.1, soporta todas las velocidades de transferencia de datos definidas y se adapta de forma automática a la velocidad admitida por el dispositivo IO-Link conectado. IO-Link es un sistema de comunicación muy robusto que funciona con un nivel de tensión eléctrica de 24 V. Si falla la comunicación, el mensaje se repite dos veces. Si tienen lugar tres intentos fallidos de comunicación, entonces el maestro IO-Link reconoce un

fallo de comunicación y lo notifica al controlador de nivel superior.

El sistema IO-Link puede transmitir cuatro tipos de datos:

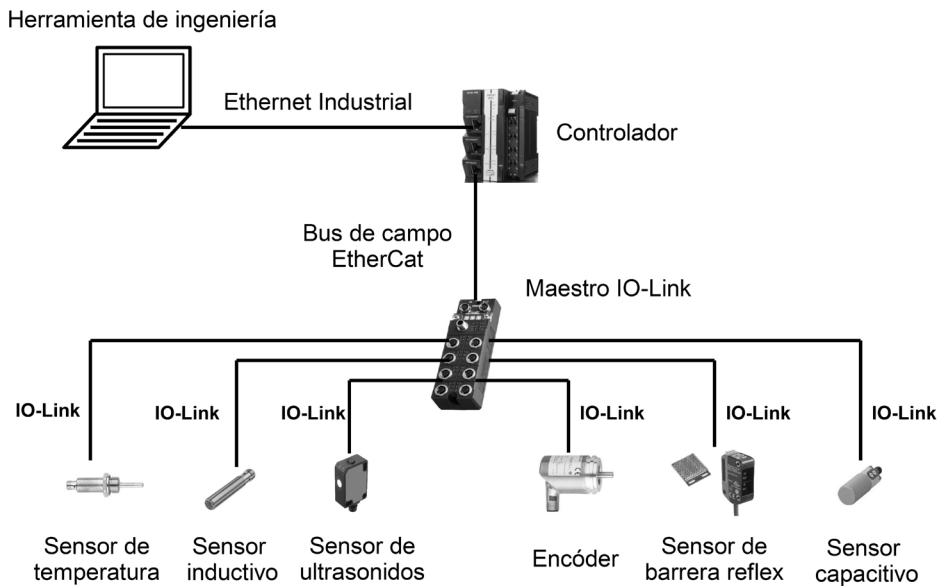
- Datos de proceso: los datos del proceso se transmiten de forma cíclica en un mensaje cuyo tamaño viene especificado por el dispositivo. En función del dispositivo, el tamaño de los datos puede estar comprendido entre 0 y 32 bytes.
- Estado de valor: cada puerto tiene un estado de valor (*portqualifier*). El estado de valor indica si los datos de proceso son o no válidos, y se transmite de forma cíclica con los datos de proceso.
- Datos del equipo: los datos del equipo pueden ser parámetros, datos de identificación e información de diagnóstico. Se intercambian de forma acíclica, a petición del maestro IO-Link. Los datos del equipo se pueden escribir en el dispositivo, y también leerse del dispositivo.
- Eventos: cuando tiene lugar un evento, el dispositivo notifica al maestro la presencia del evento de forma acíclica. Seguidamente, el maestro lee el evento. Estos eventos pueden ser mensajes de error (por ejemplo, cortocircuito) y alarmas/datos para mantenimiento (por ejemplo, suciedad, sobrecalentamiento). Los mensajes de error se transmiten del dispositivo al controlador o al HMI a través del maestro IO-Link. El maestro IO-Link también puede transmitir por su parte eventos y estados, tales como la rotura del cable o la interrupción de la comunicación.

Cada dispositivo IO-Link dispone de una descripción electrónica utilizada: el archivo IODD (*IO Device Description*). La estructura del archivo IODD es idéntica para todos los dispositivos de todos los fabricantes y se representa siempre del mismo modo, garantizando que el manejo de todos los dispositivos IO-Link resulte idéntico para todos los fabricantes. En este sentido, IODDfinder es una base de datos IO-Link central no propietaria, que proporciona las IODD actuales de los fabricantes de dispositivos y ofrece una plataforma de información y descargas [5]. El archivo IODD proporciona abundante información para la integración del dispositivo IO-Link en el sistema: características de comunicación, parámetros del equipo, con rango de valores y valores predeterminados, datos de identificación, de proceso y de diagnóstico, datos del equipo, texto descriptivo, imagen del dispositivo y logotipo del fabricante.

## CASO PRÁCTICO ↓

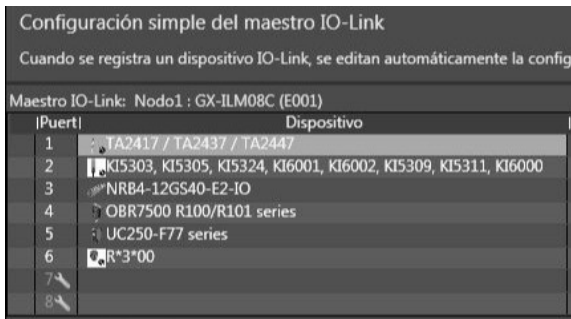
A continuación, se muestra un caso práctico de integración del sistema IO-Link en un sistema de control y automatización industrial distribuido (figura 9). En este caso de ejemplo se dispone de un controlador de alta gama conectado con un PC

**FIGURA 9**  
**AUTOMATIZACIÓN INDUSTRIAL PARA LA INDUSTRIA 4.0 CON INTEGRACIÓN DEL SISTEMA IO-LINK: CASO PRÁCTICO DE EJEMPLO**



Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 10**  
**CONFIGURACIÓN DE LOS PUERTOS IO-LINK DEL MAESTRO IO-LINK MEDIANTE LA HERRAMIENTA DE INGENIERÍA**



Fuente: Elaboración propia.

(herramienta de ingeniería) mediante el protocolo estándar EtherNet Industrial a través de uno de sus puertos EtherNet/IP. A su vez, el controlador de alta gama se comunica mediante el bus de campo EtherCAT con un dispositivo maestro IO-Link. Este dispositivo maestro IO-Link dispone de un total de ocho puertos IO-Link, de los cuáles se utilizan seis puertos, configurados en modo IO-Link, para conectar seis sensores inteligentes de distintos fabricantes: un sensor de temperatura, un sensor de proximidad inductivo, un sensor de ultrasonidos, un encóder, un sensor de barrera réflex y un sensor de proximidad capacitivo. En la figura 10 se muestra la configuración de los ocho puertos IO-Link del maestro IO-Link mediante la herramienta de ingeniería: seis puertos se han configurado en modo IO-Link utilizando los archivos IODD de cada uno

**FIGURA 11**  
**DETECCIÓN DE INTERRUPTIÓN EN LA COMUNICACIÓN CON EL SENSOR INTELIGENTE DE ULTRASONIDOS**

Port1_2 I/O Port Error Status	Port1_2 I/O Port Error Status	R	WORD	16#4040
Port3_4 I/O Port Error Status	Port3_4 I/O Port Error Status	R	WORD	16#40
Port5_6 I/O Port Error Status	Port5_6 I/O Port Error Status	R	WORD	16#4041
Port5 Communication Error	Port5 Communication Error	R	BOOL	TRUE
Port5 Short Error	Port5 Short Error	R	BOOL	FALSE
Port5 Compare Error	Port5 Compare Error	R	BOOL	FALSE
Port5 Device IO Size Error	Port5 Device IO Size Error	R	BOOL	FALSE
Port5 Device Error	Port5 Device Error	R	BOOL	FALSE

Fuente: Elaboración propia.

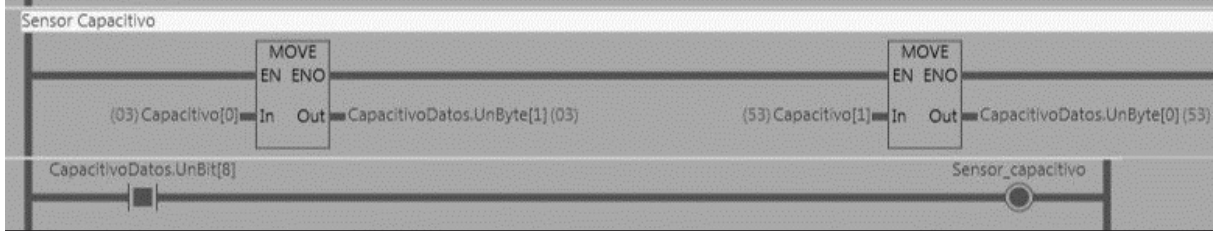
de los sensores, y dos puertos se han configurado en modo desactivado.

El sistema IO-Link permite, por ejemplo, detectar errores de comunicación con los dispositivos inteligentes; estos pueden ser debidos, por ejemplo, a roturas en el cable de comunicaciones. En este caso práctico, para simular una rotura de cable se ha desconectado de forma manual el sensor de ultrasonidos conectado al puerto cinco del maestro IO-Link. Esta interrupción ha sido detectada por el maestro IO-Link y ha dado lugar a la activación de una señal de alarma por error en la comunicación que, a su vez, ha sido transmitida hasta la herramienta de ingeniería pasando por el bus de campo EtherCAT y la red EtherNet Industrial (figura 11). Se trata de un evento que ha sido transmitido de forma acíclica por el maestro IO-Link.

En las figuras 12 y 13 se representa también parte del programa almacenado en la memoria del controlador desde la herramienta de ingeniería. En la figura 12 se representa parte del programa ejecuta-

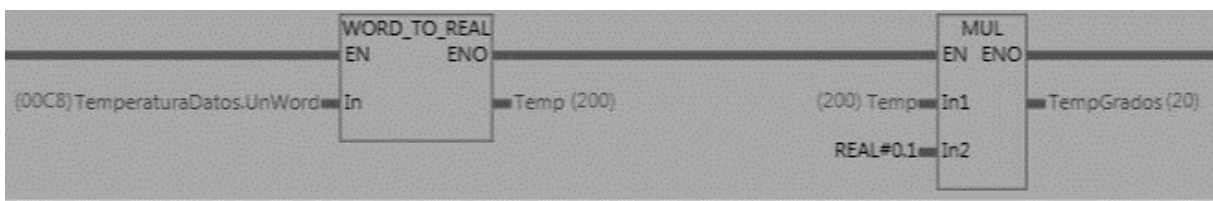


**FIGURA 12**  
**INFORMACIÓN CÍCLICA DEL SENSOR CAPACITIVO IO-LINK: DETECCIÓN DE PIEZA**



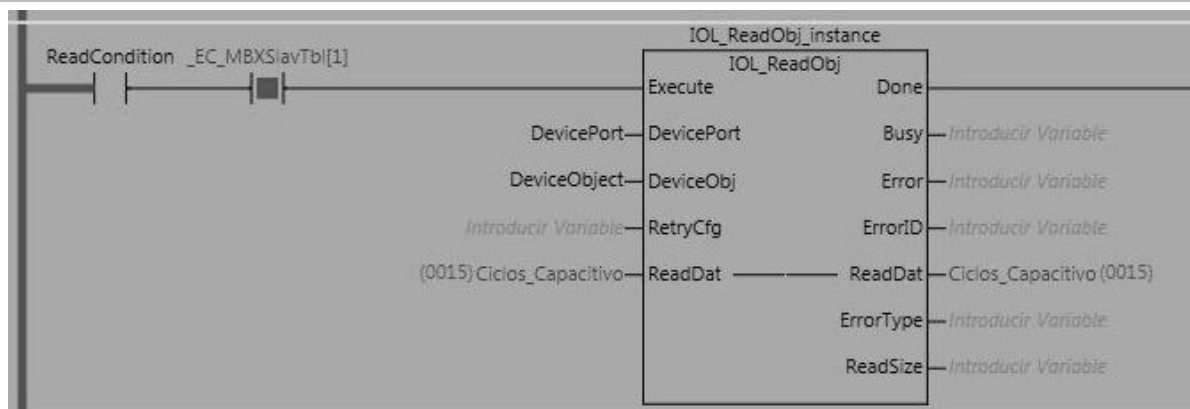
Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 13**  
**INFORMACIÓN CÍCLICA DEL SENSOR DE TEMPERATURA IO-LINK: TEMPERATURA MEDIDA POR EL SENSOR**



Fuente: Elaboración propia.

**FIGURA 14**  
**COMUNICACIÓN ACÍCLICA DEL SENSOR DE PROXIMIDAD CAPACITIVO IO-LINK CON EL CONTROLADOR: NÚMERO DE CICLOS DE CONMUTACIÓN REALIZADOS**



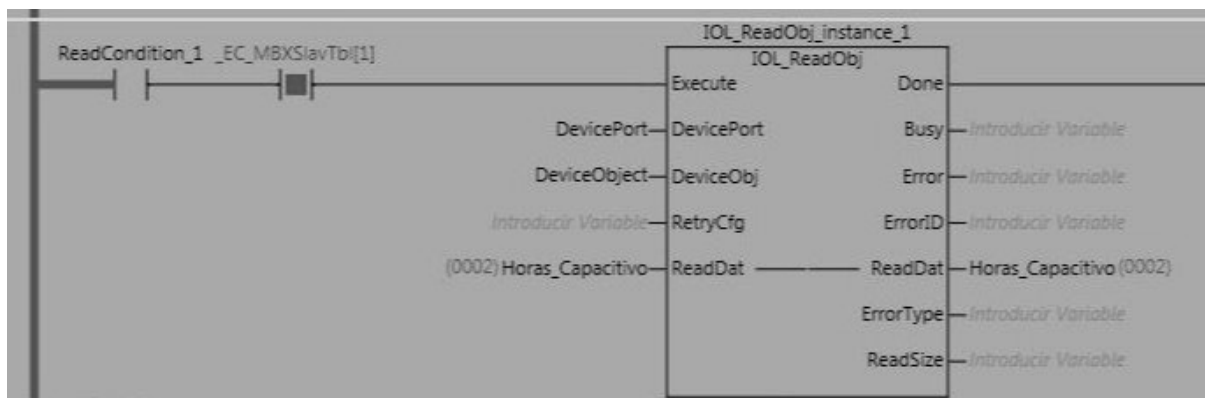
Fuente: Elaboración propia.

do por el controlador que lee y acondiciona la información cíclica intercambiada entre el sensor IO-Link de proximidad capacitivo y el controlador. En este caso, el controlador obtiene la información sobre la detección de una pieza o material por parte del sensor de proximidad capacitivo. A su vez, en la figura 13 se representa parte del programa ejecutado por el controlador que lee y acondiciona la información cíclica intercambiada entre el sensor IO-Link de temperatura y el controlador. En este caso, el sensor de temperatura está midiendo una temperatura de 20° centígrados. En ambos ejemplos se trata de datos de proceso que se transmiten de forma cíclica.

Tal como se ha indicado anteriormente, los sensores inteligentes también pueden transmitir informa-

ción relativa al estado del sensor de forma acíclica. Por ejemplo, en las figuras 14 y 15 se muestra información proporcionada a través de IO-Link por el sensor de proximidad capacitivo sobre su estado como respuesta a una petición del controlador. En concreto, este sensor inteligente es capaz de informar sobre su tiempo de funcionamiento desde el inicio de su vida útil, así como sobre el número de ciclos de conmutación que ha realizado también a lo largo de su vida útil. En este ejemplo concreto, el sensor de proximidad capacitivo remite como respuesta dos horas de funcionamiento y quince ciclos de conmutación realizados desde el inicio de su vida útil hasta el momento de la petición de esta información. Esta información sobre el estado

**FIGURA 15**  
**COMUNICACIÓN ACÍCLICA DEL SENSOR DE PROXIMIDAD CAPACITIVO IO-LINK CON EL CONTROLADOR:**  
**NÚMERO DE HORAS DE FUNCIONAMIENTO**



Fuente: Elaboración propia.

del dispositivo sensor permite programar y planificar tareas de mantenimiento industrial preventivo, en lugar de esperar a la ocurrencia del fallo para ejecutar tareas de mantenimiento industrial correctivo, evitando de este modo paradas de línea inesperadas y pérdida de producción.

### CONCLUSIONES ↓

En este artículo se ha presentado el papel fundamental que juegan los sensores y actuadores inteligentes en la Industria 4.0, así como su integración en los sistemas distribuidos de control y automatización industrial mediante el sistema estándar abierto IO-Link. La asociación de sensores y actuadores inteligentes con la tecnología IO-Link en los sistemas de control y automatización industrial distribuidos aporta importantes ventajas al proceso de transformación digital de la industria, tales como la recopilación de datos en tiempo real de los procesos industriales, los cambios rápidos de producción, la maximización de los tiempos de actividad utilizando funciones de mantenimiento y monitorización, la trazabilidad completa de los ciclos de vida, la amplia colaboración entre máquinas y el rápido diseño e instalación.

Uno de los factores clave del éxito de la tecnología IO-Link es el sencillo cableado de los sensores y actuadores inteligentes. Sin embargo, la nueva tendencia en este ámbito es el concepto de IO-Link inalámbrico. Se trata de una nueva modalidad del sistema IO-Link que se basa en la transmisión inalámbrica de datos, sin la utilización de cables, que reduce la complejidad de la instalación. Esta nueva tendencia de IO-Link inalámbrico permitirá acceder a lugares poco accesibles o con poco espacio, facilitando el desarrollo de aplicaciones dinámicas móviles, tales como robots o vehículos móviles automáticos.

### REFERENCIAS ↓

- [1] Industria Conectada 4.0, Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, <https://www.industriaconectada40.gob.es>.
- [2] 2017 Blanco, R., Fontrodona, J., Poveda, C., La industria 4.0: el estado de la cuestión, Economía Industrial (406), Ministerio de Industria, Comercio y Turismo, pp. 151-164.
- [3] IO-Link System Description – Technology and Application. IO-Link Community, Alemania, 2018. Disponible en <https://io-link.com>
- [4] Juárez Varón, D., Mengual Recuerda, A., Sempere Ripoll, MF., Rodríguez Villalobos, A., Los sistemas de fabricación flexible como solución estratégica a la demanda del mercado actual, 3C Empresa, Investigación y pensamiento crítico (9), pp. 58-65, 2012.
- [5] IODDfinder, plataforma de descargas de archivos IODD. Disponible en <https://ioddfinder.io-link.com>