

SAIN4

Sistemas Avanzados de eficiencia productiva para la Industria 4.0

PROGRAMA: PROYECTOS DE I+D EN COLABORACIÓN

ACTUACIÓN: IMDECA-Proyectos de I+D en colaboración

Fecha de concesión: 1 de julio de 2016

Entregable E2.1

Análisis de los sistemas industriales de captura de datos

Pertenece al paquete de trabajo: PT2

Participante responsable: AIDIMME

Mes estimado de entrega: Mes 11

RESUMEN

SAIN4 es un proyecto financiado con el Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE) y la Unión Europea a través del Fondo Europeo de Desarrollo Regional (FEDER).

El objetivo del entregable E2.1 es definir y describir los sistemas existentes en la actualidad para efectuar la captura de los datos requeridos en los procesos de fabricación, incidiendo particularmente en los sectores Madera-Mueble y Metalmecánico.

ABSTRACT

SAIN4 is a project funded by the Valencian Institute for Business Competitiveness (IVACE) and the European Union through the European Regional Development Fund (FEDER).

The objective of the deliverable E2.1 is to define and describe the systems currently in place to capture the data required in the manufacturing processes, particularly in the Wood-Furniture and Metal-Mechanical sectors.

Contenido

1. Introducción	4
1.1. <i>Objetivos del Paquete de Trabajo 2</i>	4
1.2. <i>Objetivo del presente documento</i>	4
2. Arquitectura industrial ISA 95	5
3. Nivel 1: Sensores	6
3.1. <i>Conceptos generales</i>	6
3.2. <i>Variables relevantes en los procesos sectoriales</i>	8
3.3. <i>Sensores adecuados a cada variable</i>	9
3.4. <i>Sensores Inteligentes</i>	20
3.5. <i>Conclusiones</i>	24
4. Nivel 2: Elementos de control industrial	25
4.1. <i>Conceptos generales</i>	25
4.2. <i>Controladores lógicos programables (PLC)</i>	25
4.3. <i>Sistemas embebidos</i>	26
4.4. <i>Sistemas SCADA</i>	28
5. Niveles 3 y 4: Sistemas de gestión.....	30
5.1. <i>Sistemas MES/MOM</i>	32
5.2. <i>Sistemas de gestión integral (ERP)</i>	33
5.3. <i>Bases de datos</i>	43
6. Protocolos de comunicación industrial	47
6.1. <i>Introducción</i>	47
6.2. <i>Protocolos de comunicación</i>	48
6.3. <i>Bus de campo</i>	49
6.4. <i>Protocolos industriales Ethernet</i>	55
7. Referencias normativas asociadas	63
8. Fuentes y bibliografía:	66
8.1. <i>Referencias Arquitectura ISA 95</i>	66
8.2. <i>Referencias Bases de Datos</i>	66
8.3. <i>Referencias Sensores Inteligentes</i>	67

1. Introducción

1.1. Objetivos del Paquete de Trabajo 2

El objetivo de este paquete de trabajo (PT2. Infraestructura Big Data Analytics y captura de datos) pretende dotar de las infraestructuras de captura, almacenamiento, procesamiento y análisis de grandes volúmenes de datos provenientes del proceso productivo.

Para ello, será necesario realizar un conjunto de tareas que permitan:

- Identificar y evaluar los sistemas que producirán información para su posterior captura, almacenamiento y procesamiento.
- Estudiar los estándares industriales de comunicación para establecer un marco común de desarrollo en el proyecto y la orquestación de los diferentes sistemas productores de información.
- El diseño y desarrollo de la infraestructura de captación de datos, de sensorización y de otros sistemas informáticos, adaptable a los diferentes modelos de producción.
- El diseño y desarrollo de una infraestructura Big Data Analytics que permita realizar tareas de procesamiento paralelo de grandes volúmenes de datos.
- La integración y validación de los sistemas de captura de datos con la infraestructura Big Data Analytics para producir el motor de prognosis.

El resultado final del paquete de trabajo será la creación de una infraestructura que permita la construcción y utilización del Motor de Prognosis y el Sistema de Gestión Avanzada para la eficiencia productiva.

1.2. Objetivo del presente documento

El objetivo del entregable E2.1 es definir y describir los sistemas existentes en la actualidad para efectuar la captura de los datos requeridos en los procesos de fabricación, incidiendo particularmente en los sectores Madera-Mueble y Metalmecánico.

Partiendo de los cuatro niveles definidos en la norma ISA-95, estándar internacional que define la terminología, modelos de datos y modelos de operaciones para las redes de comunicación de las empresas industriales, se ha procedido a identificar con detalle los dispositivos y elementos que componen cada uno de estos niveles.

En el nivel uno se han identificado y detallado los sensores adecuados para medir las variables críticas definidas en el entregable E1.3, correspondientes a los procesos relevantes en los sectores de referencia. En el nivel dos se han abordado esencialmente la estructura y los sistemas de comunicación de los controladores lógicos programables, base de los elementos de control de máquinas y procesos. Los niveles tres y cuatro se han abordado de forma conjunta ya que ambos hacen referencia a sistemas de gestión, y se ha considerado conveniente hacerlo así debido a la escasa implantación de elementos de nivel tres en los sectores. Finalmente se han descrito los protocolos de comunicación industrial, que permiten transmitir los datos al mismo nivel y entre los diferentes niveles del sistema.

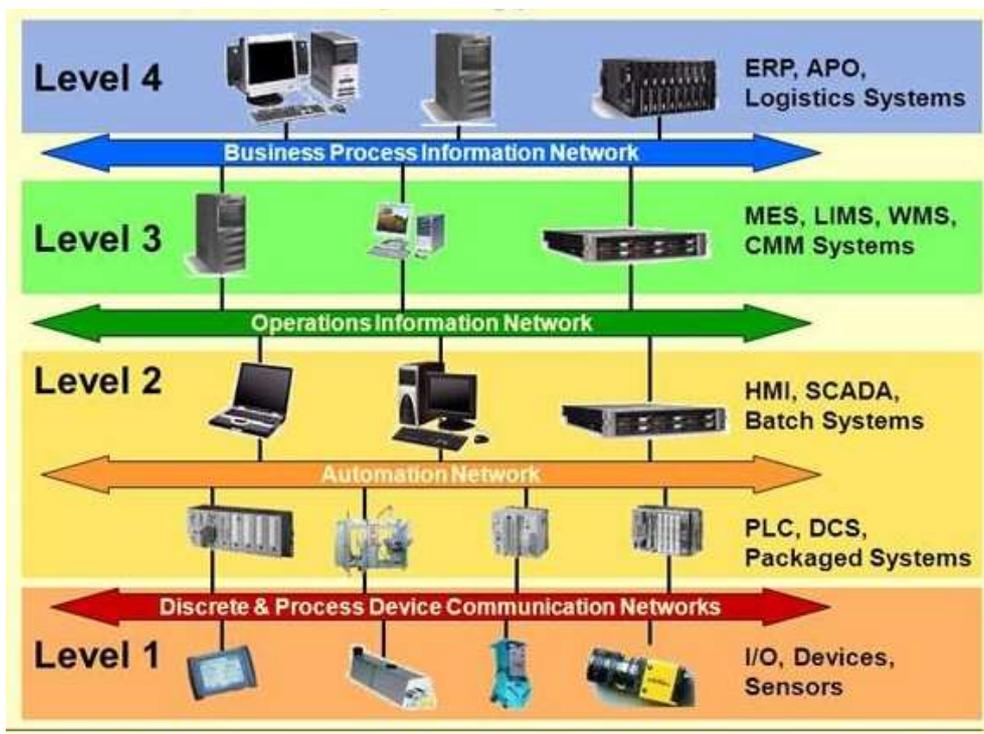
Toda esta información permitirá seleccionar los elementos y protocolos más adecuados para diseñar tanto la infraestructura de captura de datos, como la infraestructura Big Data

Analytics, y posteriormente, ya en 2017, desarrollar y desplegar ambas en los proyectos demostradores.

1. Arquitectura industrial ISA-95

La Norma ISA-95 es un estándar internacional que facilita la integración de las funciones empresariales y los sistemas de control en empresas de manufactura. Fue desarrollada por ISA (International Society of Automation) en el año de 1990, con el fin de reducir el riesgo, el coste y los errores que van de la mano con la implementación de interfaces entre dichos sistemas (funciones empresariales y sistemas de control).

Esta norma encaja a la perfección con los objetivos del proyecto debido a que contiene modelos y terminología que puede ser usada para determinar qué información se debe intercambiar a dos niveles: (i) entre las diferentes **funciones empresariales** (compras, ventas, finanzas, logística, mercadeo) y (ii) las **operaciones de administración de manufactura** (producción, inventarios, mantenimiento y calidad).



Arquitectura industrial de la norma ISA-95

En concreto, nos fijaremos en la descripción de los **niveles arquitectónicos** que identifica la norma ISA-95 para estudiar los diferentes elementos que participan en los procesos de fabricación y sus protocolos de comunicación:

- **Nivel 1 - I/O, dispositivos de planta, sensores:** incluye los elementos y dispositivos que manipulan los productos (robots, actuadores, instrumentación) y aquellos que son capaces de medir su funcionamiento (sensores, control de estado).
- **Nivel 2 - PLC, DCS, sistemas integrados:** supone la primera interacción de los humanos con el hardware. Normalmente los dispositivos PLCs y DCS se incluyen en este nivel aunque, dependiendo del grado de automatización de una organización, también es

frecuente que se ubiquen en el nivel anterior. Combinan tecnologías de control (los propios controladores) con el software de supervisión ligado a dichos controladores de proceso (SCADA, HMI)

- **Nivel 3 - MES, LIMS, WMS, CMM:** se incluyen los dispositivos que monitorizan y controlan el proceso productivo, siendo la unión entre la inteligencia de la empresa (BI) y el proceso. En este nivel entra en juego Big Data debido a que es necesario almacenar los históricos de datos que se reciben de la planta anterior. La explotación de estos datos será compartida por este nivel y el siguiente.
- **Nivel 4 - ERP, APO, Sistemas logísticos:** contiene la infraestructura logística, de planificación y la inteligencia estratégica. Big Data juega un papel fundamental a la hora de correlacionar grandes cantidades de fuentes de datos en tiempos razonables, permitiendo así la ejecución de procesos de Business Intelligence (BI).

2. Nivel 1: Sensores

2.1. Conceptos generales

Los materiales eléctricos empleados en los procesos de fabricación habituales de la industria están organizados en niveles de jerarquía según la siguiente imagen.

El nivel 1 es el más bajo en la jerarquía del sistema, y es donde se encuentran los dispositivos más básicos del sistema, las entradas y salidas, y los sensores. Los sensores son como los sentidos (ojos, oídos, tacto, gusto y olfato), y nos suministran información muy valiosa acerca de las variables de instrumentación de algún proceso industrial. Las variables pueden ser la temperatura (cuya unidad es el grado centígrado), la presión (cuya unidad es el bar), el peso (cuya unidad es el Newton), la posición (cuyas unidades pueden ser el metro para movimiento longitudinal o el ángulo para el movimiento giratorio) entre otras.

Estos sensores se conectan a un circuito de acondicionamiento de la señal que genera una señal eléctrica proporcional a la variable que desean medir. Dicha señal eléctrica es transmitida a través de un medio hacia la entrada de los niveles superiores de la jerarquía, por lo que podemos clasificarlos como dispositivos capaces de generar y suministrar una señal eléctrica cuya naturaleza puede ser la de una tensión eléctrica (cuya unidad es el voltio) o una intensidad de la corriente eléctrica (cuya unidad es el amperio). Adicionalmente la señal eléctrica puede ser del tipo analógico o digital.

- **Señal Analógica:** Una señal analógica es aquella que nos provee información acerca de una magnitud física o química que varía de forma continua dentro de un margen determinado. Por lo tanto podemos decir que se trata de una señal continua en el tiempo que puede asumir cualquier valor. En el ámbito de la electrónica de control analógico, la señal analógica se emplea en circuitos de control analógico que emplean amplificadores operacionales analógicos en lo que se conoce como un servo sistema analógico. La señal analógica puede ser del tipo de tensión o de intensidad, según convenga en cada caso.
- **Señal Digital:** Una señal digital es la salida de un convertidor de señal analógica a digital. El convertidor de señal analógica a digital divide equitativamente el margen de la señal analógica (es decir, el recorrido desde el valor mínimo hasta el valor máximo) en M intervalos de detección, por lo que varía de forma discontinua en escalones uniformes que componen una escalera que empieza en el valor mínimo y llega hasta el

valor máximo del margen de la señal analógica. Por conveniencia, M es una potencia de dos tal que $M = 2^n$, donde n es el número de señales binarias (bits) necesario para representar de manera binaria a cada uno de los posibles intervalos de detección. En el caso especial en el que la señal digital se represente con un único bit (es decir, cuando $n = 1$ y $M = 2$) se dice que estamos ante una señal lógica, en la acepción empleada por el Álgebra de Boole (sus posibles valores son 0 y 1, o también FALSO y VERDADERO), ya que solamente hay dos posibles intervalos de detección. En todos los demás casos, cuando exista una pluralidad de bits, se dice que estamos ante una señal digital de n bits.

Las modernas técnicas de control digital han desplazado por completo al control analógico de amplificadores operacionales. Estas técnicas de control digital se emplean con señales digitales obtenidas de la conversión de señales analógicas a señales digitales.

En el ámbito de la electrónica de control digital, se emplea un convertidor de señal analógica a digital que convierte la señal analógica en una versión digital. Debido al proceso de conversión se pierde cierta información ya que la salida digital no es continua sino que tiene un aspecto de señal escalonada. La señal digital es, por lo tanto, una aproximación de la señal analógica al peldaño más cercano de la señal digital escalonada. Es la responsabilidad del diseñador escoger un intervalo entre peldaños lo suficientemente pequeño para que el error de la conversión no signifique un problema para las necesidades del sistema de control digital. Esto se consigue aumentando el número de bits del convertidor de señal analógica a digital. En la industria es frecuente encontrarse con sistemas que emplean la tecnología SAR de hasta 20 bits de resolución (con 1.048.576 niveles distintos en la señal escalonada, referencia <http://www.ti.com/lscs/ti/data-converters/adcs/precision-adcs-products.page#p1089=15;646364&p89=SAR>), aunque también hay sistemas que emplean la tecnología de modulación Delta-Sigma de 24 y 32 bits de resolución (con 16.777.216 y 4.294.967.296 niveles distintos en la señal escalonada, referencia <http://www.ti.com/lscs/ti/data-converters/adcs/precision-adcs-products.page#p1089=15;646364&p89=Delta-Sigma>). Cabe señalar que la frecuencia de muestreo disminuye al aumentar el número de bits. De todas formas, el diseñador puede escoger adecuadamente un convertidor para que el error de la conversión sea lo suficientemente pequeño para que no afecte a los resultados del análisis.

Una señal lógica digital puede ser empleada para indicar la presencia o ausencia de algo (es decir, que la presencia de ese algo es FALSA y VERDADERA). Por ejemplo, un detector inductivo colocado en el fin de carrera de un carro de metal puede emplearse como una señal lógica que sirve para detectar la llegada del carro a su posición de fin de carrera.

2.1.1. Rangos industriales de las señales analógicas y digitales

En la industria es frecuente encontrarnos con sensores y detectores que generan una señal que puede ser analógica o digital, según corresponda a la tecnología empleada. En el caso de la señal analógica podemos encontrarnos con señales expresadas en tensión o en intensidad de la corriente eléctrica. Las señales de tensión se suelen emplear cuando la distancia del cable de conexión es de muy pocos metros, por lo que la caída de tensión entre los extremos del cable no es un problema a tener en cuenta. Pero, cuando las distancias son de centenares de metros, se prefiere emplear las señales de intensidad de la corriente eléctrica ya que se consiguen distancias de hasta 1.200 metros sin pérdidas de calidad. Las señales digitales en la industria suelen trabajar a 24 V de corriente continua, que es la tensión habitual de los autómatas programables.

La siguiente relación indica los recorridos habituales que tienen estos tipos de señales en la industria.

1. Tipos de señal analógica.
 - 1.1. Tensión eléctrica
 - 1.1.1. Margen de 0 V a 5 V (unipolar).
 - 1.1.2. Margen de 0 V a 10 V (unipolar).
 - 1.1.3. Margen de -10 V a 10 V (bipolar).
 - 1.2. Intensidad de la corriente eléctrica
 - 1.2.1. Margen de 0 a 20 mA.
 - 1.2.2. Margen de 4 a 20 mA (ofrece la ventaja de que la alarma de rotura del cable salta cuando la intensidad es inferior a 4 mA).
2. Tipos de señal digital.
 - 2.1. Señal lógica (solamente un bit).
 - 2.1.1. Margen de 0 V a 24 V (típico de entradas digitales de autómata programable).
 - 2.2. Señal digital paralela (más de un bit por ejemplo ocho bits para componer un byte).
 - 2.2.1. Margen de 0 V a 24 V (típico de entradas digitales de autómata programable).

La entrada del equipo eléctrico que reciba esta señal debe ser compatible con ella y estar preparada para su recepción. Es decir, no debemos conectar una señal lógica digital de 24 V a una entrada analógica unipolar de 0 V a 5 V porque puede quemarse el circuito de entrada.

2.2. Variables relevantes en los procesos sectoriales

Las variables que se considera relevantes en los procesos sectoriales se han definido en el Entregable 1.3, mediante una evaluación subjetiva de la influencia de cada variable sobre cada proceso. Como resultado, la lista de variables a considerar es la siguiente:

Presión hidráulica	Intensidad corriente en carga	Presión aire entrada	Consumo de fungible
V giro herramienta	Tensión entrada	Temperatura elemento calefactable	Frecuencia ppal de vibración de máquina
V avance pieza	V giro motor ppal	Nivel sonoridad	Potencia de secado (UV)
Tiempo proceso	V giro motor avance	Nivel de aceite/lubricante	Velocidad secado (UV)
Intensidad corriente en vacío	Temperatura motor ppal	Sólidos en aceite	Temperatura secado
Tiempo secado	% Aprovechamiento (% Desperdicio)	Viscosidad	Humedad ambiental
Referencia de la	Material de la	Caudal	Iluminación

pieza procesada	herramienta		ambiente
Material de la pieza	Material aplicado	Color	Polvo o contaminantes
Calidad de la pieza	Temperatura	Temperatura ambiente	Operador

De todas estas variables, los parámetros físicos susceptibles de ser medidos mediante sensores son los siguientes:

1. Presión
2. Intensidad de corriente
3. Tensión eléctrica
4. Velocidad angular
5. Velocidad lineal
6. Temperatura
7. Humedad ambiental
8. Sonoridad
9. Viscosidad
10. Caudal de fluidos
11. Iluminación
12. Nivel de líquido en recipientes
13. Volumen/Cantidad de partículas sólidas en el aire
14. Volumen/cantidad de partículas sólidas en líquidos
15. Peso
16. Posición lineal

2.3. Sensores adecuados a cada variable

A continuación aparece una relación de ejemplos de sensores empleados en la industria.

2.3.1. Presión

El sensor de presión mide la deformación de una membrana causada por la presión. Dicha deformación causa un cambio en el estado de tensión mecánica de la membrana, que puede ser medida. Existen diversas tecnologías como por ejemplo: extensiómetro piezoresistivo, membrana de capacidad variable, membrana de inductancia variable, membrana piezoeléctrica, membrana reostática, y rejilla de Bragg en fibra óptica. En todo caso la membrana tiene un lado conectado a una referencia de presión y el otro lado conectado a la presión desconocida que queremos medir, de tal suerte que la lectura es relativa a una referencia. Cuando la presión de referencia y la desconocida son diferentes, la membrana se deforma de tal suerte que el lado con mayor presión empuja a la membrana hacia el lado con menor presión (lo cual es obvio). Se dice que la presión es absoluta cuando la referencia de presión es el vacío absoluto. Se dice que la presión es manométrica cuando la referencia de presión es el medio ambiente. Se dice que la presión es diferencial cuando la referencia de presión es una segunda fuente de presión. El fabricante Omega tiene un amplio surtido de sensores de presión (<http://www.omega.com>) y también ofrece transmisores de señal de presión con salida analógica de tensión o intensidad.



Fuente: <http://www.omega.com/pressure/>

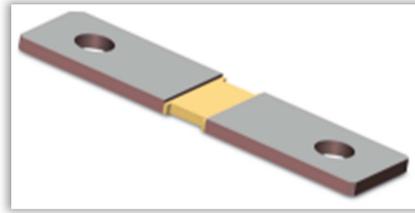
2.3.2. Intensidad de corriente

Cuando se trabaja en corriente alterna se usa la pinza amperimétrica y se obtiene una señal de tensión en corriente alterna. Cuando se trabaja en corriente continua se usa la pinza amperimétrica de efecto de Hall y se obtiene una señal de tensión en corriente continua. Estas pinzas se enrollan alrededor de un cable conductor de la intensidad de la corriente eléctrica para medir la intensidad del campo magnético generado por dicha intensidad de la corriente eléctrica que circula por el conductor.



Fuente: <http://www.fluke.com/fluke/myen/accessories/Current-Clamps/i310s.htm?PID=56298>

En ciertos casos aislados se emplea la resistencia de precisión SHUNT para que el paso de la intensidad de la corriente eléctrica produzca una tensión eléctrica que se pueda medir directamente. Esta resistencia suele tener un valor muy bajo (como por ejemplo 0,0002 ohmios) de tal suerte que una intensidad de 300 amperios produzca una tensión de 0,06 voltios y una potencia de 18 vatios.



Fuente: <http://www.isabellenhuetten.de/en/precision-and-power-resistors/products/>

2.3.3. Tensión eléctrica

La tensión eléctrica se mide directamente si está dentro del margen del instrumento de lectura. Cuando está por encima del margen y se trata de corriente alterna, se emplea un transformador para reducir la tensión hasta que se esté dentro del margen. Y si se trata de una tensión en corriente continua que está por encima del margen, se emplea un circuito divisor de tensión compuesto por dos resistencias para reducir la tensión hasta que esté dentro del margen.

2.3.4. Velocidad angular

La velocidad angular de un eje motriz se puede medir con un tacómetro, una dinamo tacométrica o con un codificador angular diferencial. El tacómetro puede medir sin contacto o con contacto. Para la medición sin contacto es necesario que el eje tenga una marca óptica de contraste en la cual pueda rebotar un haz de luz proyectado por el tacómetro. El tacómetro se orienta hacia el eje giratorio y la luz que éste proyecta rebota en la marca óptica y produce una señal pulsante. El tacómetro integra los pulsos observados por unidad de tiempo y determina la velocidad de giro del eje en pulsos por minuto o revoluciones por minuto (RPM). El tacómetro también tiene accesorios para entrar en contacto con el eje ya sea en su superficie de rodadura (contacto tangencial) como en la punta del eje (contacto axial).



Fuente: <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-revolucion/tacometro-pce-dt100.htm>

La dinamo tacométrica es un pequeño generador eléctrico que se conecta en la punta del eje y que genera una tensión proporcional a la velocidad de giro del eje.



Fuente: <http://www.ermec.es/Dinamo-tacometrica-Eje-saliente-40V-10mm-Brida>

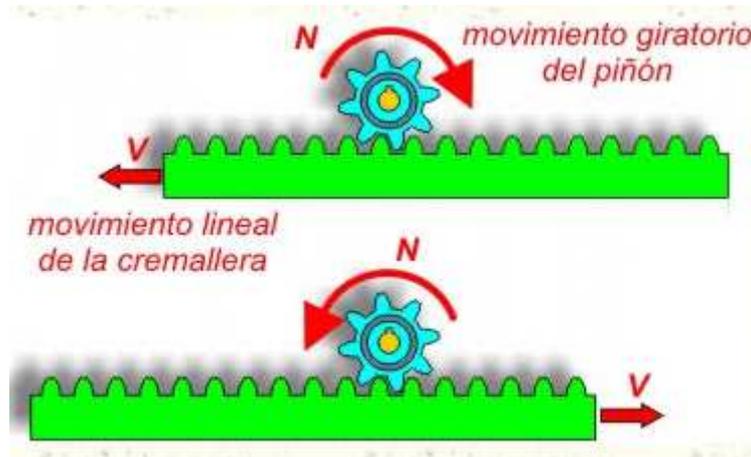
El codificador angular diferencial (también llamado encoder diferencial) es un dispositivo electro óptico que se conecta en la punta del eje y que genera un tren de impulsos de tensión eléctrica cuya frecuencia es proporcional a la velocidad de giro del eje. La fase A está desfasada noventa grados de la fase B, de tal suerte que se puede determinar el sentido de giro del eje mediante la determinación del signo del ángulo de desfase (que puede ser de +90 grados o -90 grados). Otra ventaja de este sensor es que genera un número exacto de impulsos de tensión por cada vuelta del eje, con lo cual es posible determinar no solamente la velocidad angular del eje sino también su recorrido o posición angular (para lo cual hay que mantener la suma de los impulsos).



Fuente: http://www.ermec.es/epages/eb6036.sf/es_ES/?ObjectPath=/Shops/eb6036/Products/TSW80P.%3D.L.1024.5.S.K1.10.PL10.LD2-5

2.3.5. Velocidad lineal

Para medir la velocidad lineal se emplea un mecanismo de conversión de movimiento lineal en movimiento giratorio (como por ejemplo se logra con una cremallera que se mueve con respecto a un piñón que está unido a un marco de referencia mediante un par de giro) y se mide la velocidad angular como se describe en el apartado 4.3.4.



Fuente: http://concurso.cnice.mec.es/cnice2006/material107/mecanismos/mec_cremallera-pinon.htm

Como ejemplo de esta conversión tenemos el sistema de medición y posicionamiento que emplea un codificador angular diferencial (encoder) conectado a una rueda cuya periferia descansa sobre una superficie que se mueve (como por ejemplo una cinta transportadora). La frecuencia del tren de impulsos es proporcional a la velocidad lineal. Por ejemplo, si la rueda tuviese una circunferencia de 500 mm y el encoder produjese 5.000 impulsos por revolución, cada impulso del encoder representaría un desplazamiento lineal de 0,1 mm. Y si se verificase una frecuencia de 600.000 impulsos por minuto, la velocidad lineal sería de 1 m/s.

SISTEMAS DE MEDICIÓN Y POSICIONAMIENTO CON ENCODER



Fuente: http://www.contaval.es/docs/Infocontaval/infocontaval245_posicionamiento_wachendorff.htm

2.3.6. Temperatura

Los sensores de temperatura que suministran una señal eléctrica pueden ser:

1. termistores,

2. termopares,
3. sensores de temperatura resistivos, y
4. sensores de temperatura semiconductores.

1) El termistor es un tipo de resistencia eléctrica cuyo valor depende de la temperatura, y puede ser de tipo PTC o NTC. El tipo PTC tiene un coeficiente de temperatura positivo, por lo que su resistencia eléctrica aumenta al aumentar la temperatura. El tipo NTC tiene un coeficiente de temperatura negativo, por lo que su resistencia eléctrica disminuye al aumentar la temperatura. Referencia: <http://www.omega.com/section/thermistor-elements-probes.html>

Es un semiconductor cuya resistencia eléctrica varía hiperbólicamente con la temperatura, por lo que requiere un circuito de corrección de la linealidad. Cuando la resistencia aumenta con la temperatura se dice que el coeficiente térmico es positivo y el tipo es PTC, y cuando disminuye con la temperatura se dice que el coeficiente térmico es negativo y el tipo es NTC. Su muy bajo coste los hace interesantes para aplicaciones con microprocesador donde el circuito de corrección puede sustituirse por software. Suele ser necesario escribir un software para cada PTC o NTC, ya que las calidades varían con cada suministrador. El fabricante Omega tiene un amplio surtido de termistores (<http://www.omega.com>) y también ofrece transmisores de señal de termistores con salida analógica de tensión o intensidad.

2) El termopar es una unión bimetálica en la que se produce un par galvánico por el efecto de la valencia de los materiales metálicos. El potencial electromotriz que se desarrolla en la unión bimetálica es directamente proporcional a la temperatura. Referencia: <http://www.omega.com/section/thermocouples.html>

Es una unión de dos tipos distintos de metal que genera una tensión eléctrica llamada “par galvánico” y que depende de la temperatura. Esta tensión es muy pequeña y está en el orden de una milésima de voltio, por lo que se requiere un amplificador para poder usarla. Además la sensibilidad a la temperatura de cada tipo de termopar no es constante ni se parece a la de los demás tipos, por lo que se requiere el uso de un circuito de acondicionamiento para obtener una señal que sea linealmente proporcional a la temperatura.

- El termopar de tipo K sirve para temperaturas desde -200 °C hasta 1250 °C.
- El termopar de tipo T sirve para temperaturas desde -200 °C hasta 350 °C.
- El termopar de tipo J sirve para temperaturas desde 0 °C hasta 750 °C.
- El termopar de tipo N sirve para temperaturas desde -200 °C hasta 1300 °C.
- El termopar de tipo E sirve para temperaturas desde -200 °C hasta 900 °C.
- El termopar de tipo R sirve para temperaturas desde 0 °C hasta 1450 °C.
- El termopar de tipo S sirve para temperaturas desde 0 °C hasta 1450 °C.
- El termopar de tipo B sirve para temperaturas desde 0 °C hasta 1700 °C.
- El termopar de tipo C sirve para temperaturas desde 0 °C hasta 2320 °C.
- El termopar de tipo aleado NiCrAu sirve para temperaturas desde 3 °K hasta 279 °K.

El fabricante Omega tiene un amplio surtido de termopares (<http://www.omega.com>) y también ofrece transmisores de señal de termopar con salida analógica de tensión o intensidad.

RTD (PT100) – Es una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de calibración de 0 °C que está fabricada con platino y que varía con la temperatura de manera proporcional por lo que no requiere un circuito de corrección de linealidad. Sirve para temperaturas desde -30 °C hasta 350 °C. El fabricante Omega tiene un amplio surtido de RTD(PT100) (<http://www.omega.com>) y también ofrece transmisores de señal de RTD(PT100) con salida analógica de tensión o intensidad.

RTD (PT500) – Es una resistencia eléctrica de 500 ohmios a una temperatura de calibración de 0 °C que está fabricada con platino y que varía con la temperatura de manera proporcional por lo que no requiere un circuito de corrección de linealidad. Sirve para temperaturas desde -30 °C hasta 350 °C. El fabricante Omega tiene un amplio surtido de RTD(PT500) (<http://www.omega.com>) y también ofrece transmisores de señal de RTD(PT500) con salida analógica de tensión o intensidad.

RTD (PT1000) – Es una resistencia eléctrica de 1000 ohmios a una temperatura de calibración de 0 °C que está fabricada con platino y que varía con la temperatura de manera proporcional por lo que no requiere un circuito de corrección de linealidad. Sirve para temperaturas desde -30 °C hasta 350 °C. El fabricante Omega tiene un amplio surtido de RTD(PT1000) (<http://www.omega.com>) y también ofrece transmisores de señal de RTD(PT1000) con salida analógica de tensión o intensidad.

3) El sensor de temperatura resistivo es una resistencia metálica que varía con la temperatura. El ejemplo más común es la resistencia de platino tipo PT100, que ofrece una resistencia eléctrica de 100 ohmios a una temperatura de referencia de cero grados centígrados. Referencia: <http://www.omega.com/section/rtd-pt100-probes-elements.html>

4) El sensor de temperatura semiconductor posee un diodo cuya tensión de polarización depende de la temperatura. Este efecto se emplea en un circuito amplificador para obtener una tensión eléctrica de salida que es proporcional a la temperatura. Los principales fabricantes de esta tecnología son: Analog Devices (<http://www.analog.com>), Microchip Technology (<http://www.microchip.com>), y Texas Instruments (<https://www.ti.com>).

2.3.7. Humedad ambiental

La humedad ambiental se mide con un higrómetro electrónico. Este sensor posee un componente electrónico que es un condensador cuyo material dieléctrico varía según la humedad, por lo que la capacidad del condensador es una función de la humedad. Un circuito electrónico mide dicha capacidad y calcula (mediante una determinada ley) el valor de la humedad. La señal de salida puede ser una tensión o una intensidad de la corriente eléctrica. El fabricante Omega (<http://www.omega.com>) tiene un amplio surtido de sensores de humedad con transmisores de señal con salida analógica de tensión o intensidad.



Fuente: <http://www.omega.com/pptst/HX93B.html>

2.3.8. Sonoridad

El nivel de presión acústica se mide con la ayuda de un sonómetro industrial que tenga un campo de medición desde 30 dB hasta 130 dB. El fabricante Omega (<http://www.omega.com>) tiene un amplio surtido de medidores de sonoridad con salida de puerto serie RS-232.



Fuente: <http://www.omega.com/pptst/HHSL402SD.html>

2.3.9. Viscosidad

La viscosidad se mide con un viscosímetro rotacional de alta sensibilidad. Cuando las palas del viscosímetro giran a una velocidad constante dentro del líquido viscoso, se produce un par de giro resistente que es proporcional a la viscosidad del líquido. El instrumento mide dicho par de giro con elevada precisión y determina la viscosidad del líquido. El fabricante Omega

(<http://www.omega.com>) tiene un amplio surtido de medidores de viscosidad con salida analógica o digital.



Fuente: http://www.omega.com/pptst/RVB_SERIES.html

2.3.10. Caudal de fluidos

El caudal de fluidos se mide con unas palas que giran al paso del fluido y generan una señal de salida que puede ser de impulsos de tensión eléctrica (la frecuencia de los impulsos es proporcional al caudal del fluido) o de intensidad. El fabricante Omega (<http://www.omega.com>) tiene un amplio surtido de medidores de caudal de fluidos con salida de impulsos y con transmisores de señal con salida analógica de intensidad.



Fuente: <http://www.omega.com/pptst/FPR200.html>

2.3.11. Iluminación

La iluminación se mide con un luxómetro, que tiene un sensor óptico que convierte la radiación luminosa incidente en una señal de salida. El fabricante Omega (<http://www.omega.com>) tiene un amplio surtido de medidores de iluminación.



Fuente: <http://www.omega.com/pptst/HHLM112SD.html>

2.3.12. Nivel de líquido en recipientes

El nivel de líquido se mide con un sensor de nivel con radar. Realiza mediciones sin contacto, de forma continua y con un margen de 0,254 m hasta 15,24 m de distancia entre el nivel y el sensor. El fabricante Omega (<http://www.omega.com>) tiene un amplio surtido de medidores de nivel de líquidos con transmisores de señal con salida analógica de intensidad.



Fuente: <http://www.omega.com/pptst/LVRD500.html>

4.3.13. Volumen/Cantidad de partículas sólidas en el aire

Las partículas suspendidas en el aire se miden con el analizador de partículas en el aire. Este analizador succiona el aire del ambiente y emplea sensores LASER semiconductores para determinar el tamaño y número de partículas (el diámetro mínimo es de 0,030 mm). La empresa OMRON (<https://www.ia.omron.com>) ofrece un analizador de partículas que puede conectarse a un PC para realizar la monitorización en continuo de la calidad del aire.



Fuente: <https://www.ia.omron.com/products/family/1830/>

2.3.13. Volumen/cantidad de partículas sólidas en líquidos

El medidor de turbidez sirve para determinar el nivel de sólidos suspendidos en el agua potable o en las aguas residuales. El fabricante Omega (<http://www.omega.com>) tiene un amplio surtido de medidores de turbidez con salida de puerto USB.



Fuente: <http://www.omega.com/pptst/TRH-2020.html>

2.3.14. Peso

Para medir el peso de una masa se necesita una báscula electrónica que se construye con células de carga. La célula de carga transforma el peso en una señal eléctrica que es directamente proporcional al peso. El fabricante Omega (<http://www.omega.com>) tiene un amplio surtido de básculas electrónicas disponibles con fondos de escala desde 1 N hasta 100.000 N y también ofrece transmisores de señal de células de carga (el elemento medidor dentro la báscula) con salida analógica de tensión o intensidad.



Fuente: http://www.omega.com/pptst/CS7500_CS7600.html

2.3.15. Posición

La posición lineal se mide directamente con un sensor de desplazamiento lineal. Este sensor está disponible con un potenciómetro lineal o también con un sensor de tipo LVDT (transformador diferencial variable lineal). El LVDT está disponible en un cilindro con un vástago accionado por un muelle que lo mantiene extendido. Al aplicar una fuerza hacia el interior, el vástago se retrae y varía la lectura de posición. Los hay con diversas carreras para todas las aplicaciones. El fabricante Omega (<http://www.omega.com>) tiene un amplio surtido de sensores de posición disponibles con fondos de escala desde 25 mm hasta 150 mm y también ofrece transmisores de señal de posición con salida analógica de tensión o intensidad.



Fuente: <http://www.omega.com/pptst/LDX-4.html>

2.4. Sensores Inteligentes

En los últimos años, el avance en la tecnología y un paso más allá en el proceso de manufacturación han hecho que el mercado se ha llenado de una gran variedad de propuestas comerciales de sensores. Entre ellos cabe destacar los llamados “Smart Sensors” (Sensores

Inteligentes), sensores con un sistema de comunicación integrado (o no dependiendo del modelo) y que puede procesar/comunicar información a través de alguna interfaz.

Cuando se aborda la implantación de este tipo de sensores (Smart) se pueden plantear soluciones:

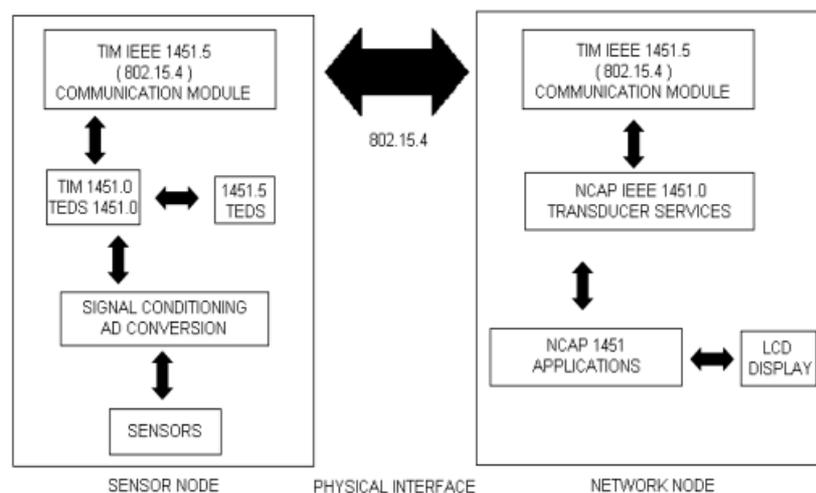
- Soluciones mediante un sensor estándar (TED) añadiéndole algún tipo de sistema embebido. En este caso al sensor estándar TED se le dota con una implementación del std IEEE 1451 [1].
- Un Sensor con interfaz de comunicaciones Ethernet o WiFi o Bluetooth integrado en un mismo componente. Esta es la solución más común y la que se van a encontrar más soluciones comerciales.
- Soluciones basadas en redes de sensores inalámbricos, en realidad esta es una generalización de cualquiera de los dos primeros casos.

A continuación se detalla una descripción de cada una de los dos primeros casos y las opciones comerciales en cada caso. Como se verá, muchas de las empresas ofrecen la solución integrada con Ethernet a un precio, en general, mayor.

2.4.1. Sensor estándar + Interfaz std IEEE 1451

En este caso se tratan de soluciones comerciales que ofrecen la implementación de la interfaz std IEEE 1451 [1]. En este caso se trata de adquirir el sensor TED y la implementación IEEE 1451 que se oferta. La solución aportada pasa por integrar un sensor TED con un sistema embebido o elemento computacional con el standard implementado.

En [3] puedes encontrar una lista completa de empresas que venden este tipo de interfaces para ser utilizadas con los sensores. La arquitectura general de este tipo de sensores en el contexto de una red sigue el siguiente esquema [6].



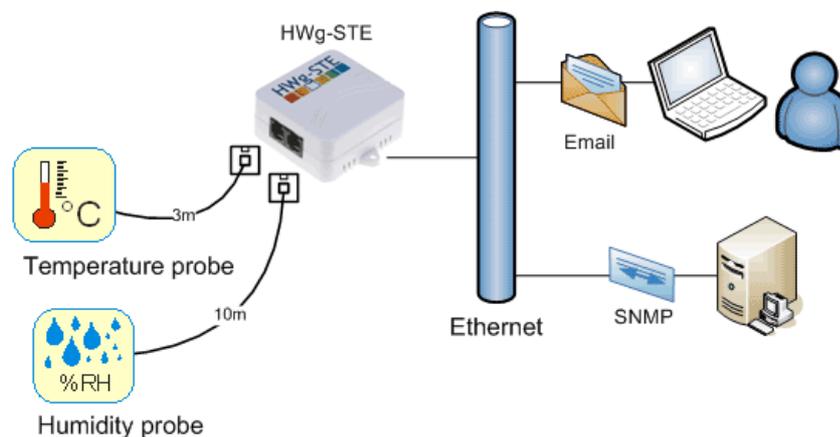
Estructura de un Sensor Inteligente basado en el std IEEE 1451 [6]

Como ejemplo de soluciones que se pueden encontrar a nivel comercial destacamos la ofrecida en [4]. En este caso lo que se ofrece es el Kit de interfaz que se puede adaptar a cualquier tipo de sensor TED.

En [7] se pueden encontrar dos opciones comerciales de esta interfaz preparada para ser utilizada junto con el sensor TED.

2.4.2. Sensores con Ethernet/Wifi/Bluetooth integrado

Esta segunda opción, la más común, ofrece la posibilidad de un sensor integrado con una interfaz de comunicaciones Ethernet, Wireless o Bluetooth, totalmente operativa para comenzar a capturar datos con poco esfuerzo previo de configuración. Como se observa en la siguiente figura [10], el sensor de captura datos de humedad y temperatura envía sus mediciones a la red.



Sensores inteligentes con interfaz de comunicaciones Ethernet integrado [10]

A continuación se listan un conjunto de soluciones comerciales que actualmente se pueden encontrar en el mercado. El listado sólo es un pequeño subconjunto de los más relevantes, ya que existen en el mercado una gran oferta de estos tipos de sensores tanto a nivel local como en el mercado exterior.

Sensores Temperatura y Humedad

A continuación se detalla un listado preliminar de sensores de temperatura y humedad con una interfaz de comunicaciones integrada. La mayoría de ellos proporcionan algún tipo de aplicación Web para poder acceder a los datos capturados, lo cual aumenta el precio de estos sensores. Algunos de ellos como ditecom design ofrecen la posibilidad de adquirir el dispositivo para la red de sensores que registre y gestione los datos capturados.

En general, casi todos ofrecen aparte del sensor, aplicaciones de acceso vía Web, aplicación para teléfono móvil y servicios de alarma para las gestiones de las alertas.

1. http://www.ditecom.com/monitorizacion_IP/control-temperatura-por-ip.shtml

2. <https://www.proges.com/es/plug-and-track/sondas-de-temperaturas-en-tiempo-real/sondas-de-temperatura.html>
3. <http://www.controltemp.es/productos/termopares-y-sondas-de-temperatura/sondas-y-sensores-ethernet/sondas-y-sensores-ethernet-controltemp-detail.html>
4. <http://www.darkaysolutions.com/sensores-de-temperatura-y-humedad-para-red-ethernet/>
5. <http://gridconnect.com/temperature-data-logger.html>
6. <http://www.cometsystem.com/products/reg-P8510>

Destacar la empresa ControlTemp, en la opción 3, que proporciona acceso a la Ethernet de la empresa sin software adicional.

También destacar la opción 4, Darkay solutions, que ofrece una conexión directa a Ethernet, donde las temperaturas pueden ser enviadas en formato ASCII vía TCP/IP.

Sensores de Vibraciones

En el caso de sensores de vibraciones con interfaz Ethernet, la oferta se reduce sensiblemente, hasta encontrar escasas opciones. La opción más interesante encontrada ha sido la siguiente:

1. <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-vibracion/sistema-inalambrico-vibracion-pce-vms-504.htm>
2. <http://www.idear.net/Especificaciones/Bluevib.pdf>

En el primer caso se oferta con interfaz de comunicaciones Ethernet, la opción 2 se oferta con Bluetooth.

Sensores Color

Al igual que en el caso anterior, existen en el mercado sensores con interfaz Ethernet pero su oferta está más restringida.

1. <http://www.premosys.com/products/color-detection/high-speed-color-sensor-pr0139-le/>
2. <http://www.keyence.com/products/vision/vision-sensor/iv/models/iv-500ca/index.jsp>

Sensor de detección y evaluación de objetos.

Incluimos en este apartado los sensores infrarrojos. A continuación proporcionamos un listado en la que el vendedor proporciona una interfaz Ethernet integrada. La lista en extensa, sólo incluimos aquí los más relevantes.

1. <http://www.chino.co.jp/english/products/thermometers/tp-I0260en.html>
2. <http://cuenta-personas.es/sensores/>, Cuenta personas

3. <http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumentos-de-medida/contador-personas-irc-3000.htm>

Como conclusión destacar que existen en el mercado soluciones bastante maduras para la implantación de sensores inteligentes en el proceso de manufacturación, especialmente cuando se trata de sensores de temperatura y humedad. La mayor desventaja en este caso es el uso de software de la propia empresa vendedora que hace que el coste de estos dispositivos suba. En otros casos se hace necesario la configuración y esfuerzo adicional para la implantación de la red de sensorización en el proceso de producción.

2.5. Conclusiones

El mercado de sensores para la industria ofrece una amplia gama de productos adecuados para cada necesidad industrial. El diseñador puede escoger la solución industrial más adecuada para conseguir el objetivo deseado al precio que más se ajuste a la economía del proyecto.

Se ha presentado un abanico de posibilidades y se ha reseñado suministradores industriales de estos componentes.

3. Nivel 2: Elementos de control industrial

3.1. Conceptos generales

Los procesos industriales requieren un cuadro de control que permita al operario la puesta en marcha del proceso, el seguimiento del correcto funcionamiento del proceso, la detección de fallos, la generación de alarmas en caso de fallos, el paro seguro del proceso ante fallos del sistema y la parada controlada del proceso.



Fuente: <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/Pages/Default.aspx>

Todas estas funciones se realizan actualmente con elementos de control electrónicos modernos, aunque todavía existen en funcionamiento máquinas más antiguas que funcionan con controles electromecánicos llamados cuadros de maniobra (dando testimonio de la solidez de su diseño intrínsecamente seguro). Pero los cuadros de maniobra no pueden ampliar sus prestaciones sin muy costosas modificaciones, por lo que suele ser más económico deshacerse del cuadro de maniobra para sustituirlo por un moderno sistema electrónico de control que tenga mejores prestaciones, ocupe menos espacio, sea más ligero y tenga todas las prestaciones que suelen ser de uso común (como por ejemplo poseer una pantalla táctil a colores y un puerto USB).

3.2. Controladores lógicos programables (PLC)

Los controladores lógicos programables (Programmable Logic Controllers en inglés) son una categoría industrial de ordenador de control de procesos también llamados autómatas programables. Su característica principal es que están diseñados para funcionar sin errores las veinticuatro horas del día, y todos los días del año. Para ello tienen componentes electrónicos industriales (hardware) de altas prestaciones que resisten condiciones medioambientales adversas, tanto de muy bajas temperaturas (-40 grados centígrados) como de muy altas temperaturas (85 grados centígrados). Y también tienen un software de sistema (no es propiamente dicho un sistema operativo de propósito general sino un software de control ejecutivo de propósito específico y exclusivo a la marca) muy robusto para asegurar un funcionamiento sin contratiempos.

Su lenguaje de programación está definido por Norma Internacional IEC61131-3. Existen dos variantes gráficas y dos variantes de texto. Las variantes gráficas son el lenguaje de escalera (que es muy fácil de aprender por los técnicos eléctricos de las fábricas y empresas industriales donde se emplea este tipo de control electrónico industrial) y el diagrama de bloques de funciones (las funciones son cajitas que tienen entradas y salidas que se conectan con otras cajitas mediante hilos de conexión). Las variantes de texto son texto de instrucciones (un lenguaje parecido al lenguaje C de alto nivel) y lista de instrucciones (un lenguaje parecido al lenguaje de ensamblador de microprocesadores). Adicionalmente existen bloques de función secuencial para permitir que el flujo de programación pueda ser secuencial (como normalmente se programa) o en paralelo (según los nuevos paradigmas de programación).

La característica principal dentro del autómatas programable es que el programa entero se ejecuta cíclicamente con una periodicidad de milésimas de segundo. Dentro de este ciclo, la primera cosa que se hace es la realización de una verificación del correcto funcionamiento de los componentes del autómatas, que incluye la detección de fallos en la memoria o en el microcontrolador industrial.

En el caso de detectarse un fallo, el autómatas entrará en un modo de paro de seguridad y se iluminará un LED indicando que ha habido un error. En principio el proceso que está bajo el control del autómatas programable se detendrá de manera segura para las personas y los bienes materiales.

La segunda cosa que hace el autómatas es realizar la lectura de las señales de entrada (digitales y analógicas) de los puertos de entrada. La tercera cosa que hace el autómatas ejecutar el programa, línea a línea, de cabo a rabo. La cuarta cosa que hace el autómatas es realizar la escritura de las señales de salida (digitales y analógicas) a los puertos de salida. Posteriormente se repite el ciclo nuevamente. Gracias a este método de comprobación continua, los autómatas programables se han ganado la confianza del mundo industrial que les confía el control de sus procesos industriales.



Fuente: <http://w3.siemens.com/mcms/programmable-logic-controller/en/basic-controller/Pages/Default.aspx>

3.3. Sistemas embebidos

Los sistemas embebidos son tarjetas electrónicas de control de producto que están dotadas de microcontroladores industriales que llevan consigo una aplicación informática que ha sido grabada en la memoria permanente del microcontrolador (hoy en día se usa la memoria FLASH para este propósito) durante la fase de fabricación. La tarjeta electrónica tiene que estar embebida dentro del producto para ser considerada como un sistema embebido. En algunos casos, la función del microcontrolador la sustituye un sistema FPGA que tiene mejores prestaciones que el microcontrolador, que también posee memoria FLASH y que se programa con el lenguaje VHDL. La aplicación informática grabada en la memoria FLASH lleva el nombre de FIRMWARE para diferenciarla del SOFTWARE de los ordenadores personales, en tanto que el FIRMWARE está firmemente permanentemente grabado en la memoria FLASH y el usuario no tiene ninguna manera de modificarlo (en algunos casos, los técnicos de mantenimiento y reparación llevan consigo herramientas informáticas especializadas que les permite la modificación del FIRMWARE, y en otros casos puede hacerse automáticamente con una conexión a Internet, pero en todo caso se trata de una cuestión reservada para los especialistas). Un ejemplo de sistema embebido es el teclado y el ratón de todos los ordenadores.

Dentro del teclado y del ratón hay un microcontrolador con FIRMWARE que realiza todas las funciones necesarias del producto y se comunica por un puerto serie (como por ejemplo el puerto USB) con un ordenador para pasarle los datos pertinentes. El usuario del teclado o del ratón ni es consciente que existe el microcontrolador ni mucho menos que tiene un FIRMWARE, pero el fabricante del producto encuentra que es la forma más económica de fabricar estos productos.

Otro ejemplo es el reloj despertador electrónico, que tiene un microcontrolador con FIRMWARE que se encarga de que todo funcione a la perfección. Para el usuario es absolutamente irrelevante lo que hay dentro del reloj despertador electrónico, lo que importa es que funcione bien. Dentro de un automóvil moderno hay centenares de dispositivos con un microcontrolador cargado con un FIRMWARE que desempeña su labor eficazmente y sin problemas. La ventaja del sistema embebido es que cumple su función a la perfección sin causarle problemas al usuario. Para lograr esto, los microcontroladores industriales llevan a bordo una función llamada perrito guardián.

Cada cierto tiempo el microcontrolador debe reponer el contador automático del perrito guardián para evitar que su cuenta llegue al límite y se produzca una alarma. En condiciones normales de funcionamiento, el FIRMWARE se ejecutará sin problemas y velará por el cumplimiento de la reposición del contador del perrito guardián antes de que se agote el plazo de tiempo previsto. Pero, si se encontrase un error de programación que desviase la ejecución normal del flujo de instrucciones, no se producirá la reposición del contador del perrito guardián y saltará la alarma del perrito guardián, produciéndose una reposición automática (un RESET o puesta a cero del sistema) de la aplicación informática del FIRMWARE para recuperar el control de manera automática. En el caso de que el FIRMWARE detectase una avería del sistema como la causante del fallo, el sistema embebido puede optar por entrar en un modo de paro protegido (un paro de emergencia) e iluminar una señal de fallo para que el usuario se ponga en contacto con el servicio técnico de mantenimiento y reparación.

La mayoría de sistemas embebidos se diseñan para lograr el mínimo coste posible del producto final. Esto implica una economía de hardware y software, por lo que suelen tener pocos componentes, un microcontrolador ajustado a las necesidades del producto y no suelen tener un sistema operativo (ya que el sistema operativo impone unos requisitos mínimos para su funcionamiento que suelen hacer que suba el precio del producto final). No obstante, hay casos en los que las elevadas especificaciones técnicas del producto hacen inviable la ausencia

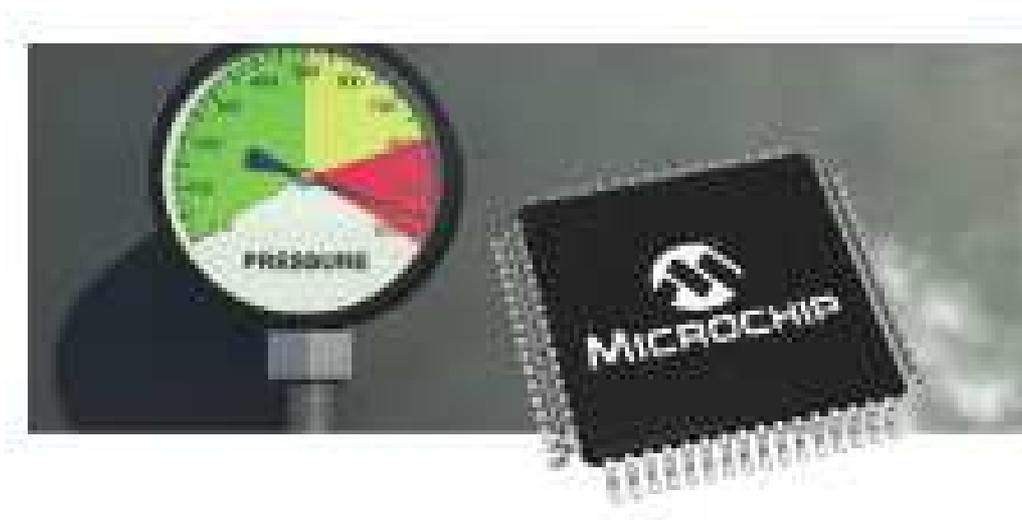
de un sistema operativo. Para estos casos los diseñadores disponen de diversas soluciones de mercado de sistemas operativos específicos para sistemas embebidos, muchos de los cuales son sistemas operativos en tiempo real. Como mención particular cabe mencionar la existencia de un sistema operativo de software libre para sistemas embebidos, cuyo enlace es:

http://www.openembedded.org/wiki/Main_Page

Cabe señalar que se trata de una versión de Linux para sistemas embebidos, por lo que solamente funciona en microcontroladores a partir de cierto nivel de prestaciones técnicas, y por supuesto no funcionaría en el microcontrolador del llavero de mando a distancia que abre la puerta de nuestro coche.

A título de ejemplo en la industria automotriz, el coche Lexus LS-460 tiene más de cien sistemas embebidos y, entre todos ellos, poseen unos siete millones de líneas de programación (fuente: <http://estc.dsr-company.com/images/b/b5/Automotive-embedded-systems.pdf>).

En resumen, los sistemas embebidos son más frecuentes de lo que nos imaginamos ya que todo producto eléctrico o electrónico es susceptible de contener un sistema embebido.



Fuente: <http://www.microchip.com/search/searchapp/searchhome.aspx?id=2&q=embedded>

3.4. Sistemas SCADA

Los sistemas SCADA son aplicaciones informáticas que residen en un ordenador de control localizado en un centro de control y que permiten a un operador humano conocer el estado de funcionamiento de una planta y le permiten llevar a cabo acciones para modificar dicho estado. El ordenador de control está conectado con la planta, que suele estar localizada en una estación remota, por algún medio de comunicación adecuado. La planta no dispone de un ordenador de control propiamente dicho pero sí dispone de sensores y actuadores que están conectados a un medio de comunicaciones con el centro de control. Gracias a este medio de comunicación el ordenador de control del centro de control puede obtener la lectura de los sensores de la planta para determinar el estado en el que se encuentra y llevar a cabo las acciones de control sobre los actuadores de la planta para modificar el estado de la planta. En este tipo de sistemas es de especial importancia que el medio de comunicaciones sea lo más

rápido posible para evitar que se produzca un retraso en la llegada de los datos de los sensores que causaría el entorpecimiento de la acción de control del ordenador del centro de control.

Como ejemplo de un sistema SCADA tenemos el sistema Sitrans RSC de SIEMENS (RailSCADA) que está ideado para controlar, supervisar, registrar y evaluar la red de distribución de energía eléctrica destinada a la tracción de las locomotoras de una red ferroviaria. En este caso la red consiste en un número de subestaciones eléctricas (las plantas en las estaciones remotas), cada una de las cuales suministra fuerza eléctrica a un tramo de la vía férrea, y cada una de las cuales está conectada con el sistema SCADA. El operador humano del sistema SCADA tiene un conjunto de pantallas de supervisión que le permiten observar el estado de la red en cada instante de tiempo. El software muestra las locomotoras en su posición en la vía férrea e indica el estado de funcionamiento de la alimentación eléctrica, señalando con alarmas cualquier desviación del normal funcionamiento de la red para que el operador pueda tomar las acciones correctoras oportunas para restablecer el funcionamiento normal.

Sitrans RSC



Fuente: <http://www.mobility.siemens.com/mobility/global/en/rail-solutions/rail-electrification/network-control-for-rail-electrification/Pages/railscada.aspx>

A menor escala, cualquier proceso productivo industrial puede ser supervisado y controlado con un sistema SCADA.

4. Niveles 3 y 4: Sistemas de gestión

Un sistema de gestión se podría definir como un esquema general de procesos y procedimientos que se emplean en una organización para garantizar que la misma realiza todas las tareas y actividades necesarias para alcanzar un objetivo.

En un sistema de gestión la organización puede controlar los efectos económicos y no económicos de la actividad de la empresa; por lo que conocer lo que está pasando en un momento dado, planificar lo que pasará en el futuro, así como medir el aprovechamiento real de los recursos para conseguir el logro de los objetivos propuestos son necesidades reales que se plantean en las organizaciones. Mediante la implantación de un sistema de gestión, las organizaciones cubren dichas necesidades.

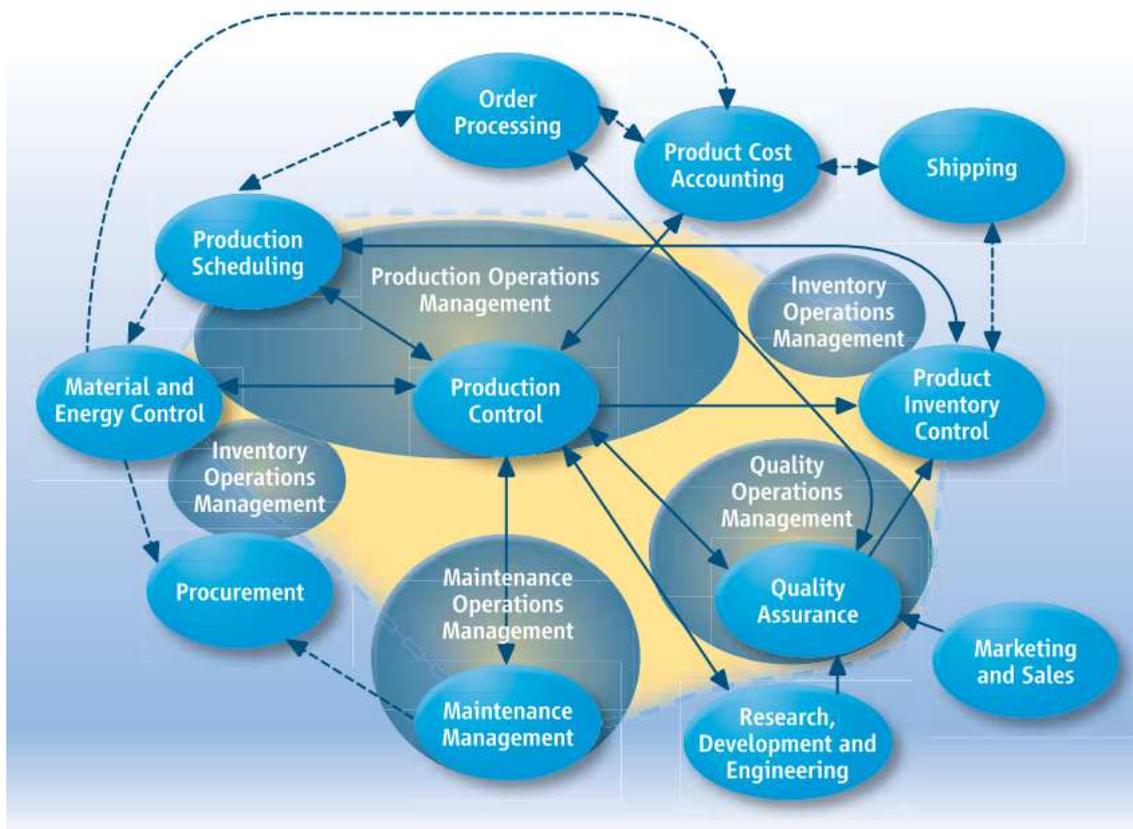
La implantación de un sistema de gestión en la organización permite:

- Realizar una planificación estratégica
- Reducir los riesgos de la organización
- Dirigir y cumplir los objetivos
- Controlar el grado de cumplimiento de objetivos estratégicos y operativos.
- Adaptar la estructura de la organización según resultados y propuestas estratégicas
- Revisar y adaptar los objetivos a largo plazo para hacerlos coherentes a nuevas circunstancias.

La implantación de sistemas de gestión junto con la evolución de los sistemas de la información son factores esenciales para que las organizaciones logren una mejora de su productividad y competitividad.

El nivel 3 está formado por la gestión de las operaciones de producción, la gestión de las operaciones de mantenimiento, gestión de las operaciones de calidad y la gestión de las operaciones de logística. Este nivel 3 representa el puente desde el nivel 4 correspondiente al sistema de gestión empresarial (ERP) hasta el nivel 1 y 2 que representaría el origen de los datos.

En el siguiente gráfico se muestra de color gris las partes correspondientes al nivel 3 y su relación con otras partes del sistema.



Relación entre los sistemas de nivel 3 y los elementos del sistema de gestión

Fuente: Manufacturing Execution Systems (MES). Industry specific Requirements and Solutions. ZVEI - German Electrical and Electronic Manufactures' Association

Los sistemas de nivel 3 pueden abarcar todo el control del proceso productivo:

- Control de tiempos, producción y mermas.
- Control de máquinas, líneas o puestos manuales en tiempo real.
- Trazabilidad de materias primas.
- Control de operarios.
- Control de incidencias, paros, rendimientos.
- Gestión de productos, semielaborados, fases y operaciones.

Inclusive sistemas más avanzados permiten también el control de la calidad en la producción:

- Plan de autocontrol de los operarios.
- Captura de datos de proceso: temperaturas, pesos, medidas, etc.
- Gestión de los defectos.
- Gestión de documentación y calibres.
- Gestión de parámetros de calidad: visuales, valores, SPC

Con respecto a la denominación de los sistemas que se encuentran en el nivel 3, inicialmente la norma VDI 5600 denominaba MES a todos los sistemas que se encontraban en dicho nivel. Posteriormente la aparición de la norma ISA 95.00.04 y la familia de normas EN 62264 ha cambiado la nomenclatura y actualmente se conocen como sistemas MOM (Manufacturing Operations Management).

La norma ISA 95-4/UNE EN 62264 define MOM como las actividades que se llevan a cabo en una planta industrial para la planificación y la fabricación de la producción requerida y proporciona transparencia en la producción. Los modelos MOM están actualmente siendo utilizados en el desarrollo de nuevas aplicaciones

4.1. Sistemas MES/MOM

El concepto MES (Manufacturing Execution System) se estableció por primera vez en Boston en 1992 por la AMR Research Inc. como el nivel de ejecución de las actividades de manufactura entre la empresa y el sistema de control de la misma. Más tarde en 1997 la asociación industrial MESA (Manufacturing Enterprise Systems Association) definió MES como:

"Los sistemas de ejecución de fabricación (MES) proporcionan información que permite la optimización de la producción desde el lanzamiento de pedidos hasta la entrega de productos terminados. Usando en todo momento datos actuales y concretos, los sistemas MES guían, responden e informa sobre el estado de las actividades que se llevan a cabo en la planta industrial. Dando una respuesta rápida a los cambios de las condiciones con el objetivo de reducir aquellas actividades sin valor añadido, llevando a cabo una dirección de operaciones eficaz. MES mejora el rendimiento de los activos operativos, así como la entrega a tiempo, el inventario, el margen bruto y rendimiento del flujo de efectivo. MES proporciona información de crítica sobre actividades productivas de la empresa y su cadena de suministro mediante comunicaciones bidireccionales". (White Paper number 6_MESA International)

Los Sistema MES son aplicaciones informáticas que permiten la gestión de los procesos operativos de las empresas manufactureras. Se podría considerar que los sistemas MES han sido desarrollados para completar el sistema de comunicación entre los sistemas de planificación de la producción como MRP y MRPII, los sistemas de planificación de los recursos empresariales ERP ya existentes en las empresas y los distintos sistemas de control de las operaciones de las plantas industriales (CAM, SPC, WMS, etc).

El alcance de un sistema MES es muy amplio y puede abarcar desde lo que podríamos llamar una sistemática para la planificación de las operaciones hasta la gestión y control de las siguientes características asociadas a la fabricación:

- Fabricación de productos
- Control de la puesta en marcha de los equipos productivos.
- Medición de piezas
- Cambio de las ordenes de fabricación
- Ajustar y leer medidas de control.
- Programación y reprogramación de las ordenes de las máquinas
- Asignación de inventario.
- Movimiento de inventario a las estaciones de trabajo
- Asignación y reasignación de personal
- Gestión del trabajo en curso
- Ajuste de señales de alarma de condiciones fuera de proceso

Los sistemas MES constituyen el puente natural entre los sistemas de gestión o ERPs (centrados en la transacción del negocio) y los sistemas de control de planta (PLC, sensores,

actuadores , etc), ya que se alimentan en tiempo real de datos provenientes de éstos últimos, y los convierten en información para la toma de decisiones.

Según la MESA (Manufacturing Enterprise Solutions Association), los Sistemas de Gestión de Planta del Futuro deberán estar preparados para responder a los requerimientos que la Industria 4.0 plantea para los procesos de fabricación. A un nivel técnico, la arquitectura de los sistemas MES basculará desde las actuales soluciones modulares hacia plataformas que incluirán un conjunto de funcionalidades base, como conectividad, seguridad o integración, y sobre las que se irán añadiendo las funcionalidades requeridas para las distintas áreas de gestión: producción, calidad, mantenimiento y logística. Siempre integradas con los restantes sistemas de gestión de la empresa.

Entre las funciones críticas que deben desarrollar dichos sistemas se encuentran las siguientes:

- Capturar, almacenar, tratar y gestionar los datos relativos a los procesos, máquinas y dispositivos inteligentes derivados de una mayor interconectividad y del despliegue de redes de sensórica avanzadas.
- Procesar los datos recogidos para facilitar la información necesaria y orientar a una óptima toma de decisiones que conduzca a fábricas ágiles y flexibles.
- Aseguramiento de la calidad de producto y proceso.
- Trazabilidad integral para los distintos procesos productivos, asociando igualmente las propias condiciones de fabricación correspondientes.
- Control y gestión del rendimiento de los procesos facilitando herramientas que permitan analizar todos los datos necesarios y deriven en acciones de mejora.

Algunos de los sistemas MES/MOM disponibles actualmente en el mercado son los siguientes:

- EDINN. <http://edinn.com/es/>
- MAPEX. <http://www.emapex.com/index.php/es/>
- SIMATIC IT MES de SIEMENS.
<http://w3.siemens.com/mcms/mes/en/industry/processindustry/pages/default.aspx>
- CAPTOR www.sisteplant.com
- MESbook <http://www.mesbook.com/>
- DOEET <http://doeet.es/>

4.2. Sistemas de gestión integral (ERP)

En el último nivel de los sistemas de control y gestión industrial (nivel 4) se encuentran los sistemas de gestión de negocio propiamente dichos. En sentido estricto, los procesos de negocio relacionados con el área de fabricación se limitan a la planificación de la producción, el uso de materiales y el proceso de entrega (ciclo logístico). En este sentido podría ser suficiente considerar el ERP como sistema de gestión de nivel 4.

No obstante, en el marco de la Industria 4.0 y considerando el concepto más amplio de digitalización de la empresa, también se pueden contemplar como procesos de negocio

implicados todos los que aportan o gestionan información relevante para el negocio, como puede ser el CRM u otros sistemas similares.

Los sistemas ERP integran los datos y procesos de las empresas en un sistema y base de datos únicos. Esta base de datos funciona como un concentrador que almacena, comparte y hace circular los datos a través de los distintos departamentos y áreas de la empresa. Este es uno de los sistemas más adoptados por las empresas.

En general, las empresas adoptan sistemas ERP para gestionar el gran volumen diario de operaciones e información que se genera dentro de éstas. Los sistemas ERP están altamente conectados, a diferencia de los sistemas tradicionales que normalmente residen en las empresas antes de la implantación de un ERP. Además del ahorro en costes, uno de los mayores impulsores de la adopción de un ERP sería la integración técnica y operacional de funciones de negocio que permite armonizar el flujo de información con el flujo material de bienes o servicios. Esto sucede mediante la integración de la cadena de valor interna de la empresa, y proporcionando una racionalización continua de los procesos de negocio, los cuales sostienen potencialmente la competitividad y la capacidad de respuesta del mercado de la firma. La competitividad de la empresa puede alcanzarse mediante el uso de sistemas ERP, pues estos pueden proporcionar la capacidad de generar informes para la gestión, con información sobre el coste y las operaciones necesarias para ayudar en la toma de decisiones estrategias relacionadas con la posición competitiva de la empresa.

Por otra parte, para que los directivos y empleados puedan sacar partido de la capacidad de los sistemas ERP, éstos deben tener un conocimiento básico de sus principios para que se le pueda extraer su máximo potencial. Debido a su considerable consumo de recursos, no es raro que los sistemas ERP hayan sido centro de atención tanto para investigadores como para otros profesionales. Además, los ERP requieren importantes cambios organizacionales que pueden implicar altos riesgos si las implantaciones no están planificadas a fondo, ejecutadas, y gestionadas, dadas las altas tasas de fracasos en la implementación que se pueden encontrar en las estadísticas. A lo largo de los años, cambios en las tecnologías de comunicación y cambios de la infraestructura se han producido, introduciéndose en los sistemas ERP, como son el acceso a web, la arquitectura orientada a servicios (SOA), la computación en la nube, etc.

Otro aspecto relevante a valorar es que los actuales sistemas de información, como los ERP, no están ni capacitados ni adaptados para manejar el volumen de datos que generan los dispositivos conectados a Internet o las redes de sensores que pudiesen llegar a desplegarse en la planta de fabricación, básicamente por dos motivos:

- Los ERP no tienen aplicaciones que puedan comunicarse con el firmware de estos dispositivos ni existen actualmente estándares de integración con estas plataformas IoT.
- Casi todos los sistemas ERP manejan datos estructurados (bases de datos relacionales), lo cual limita la adquisición y análisis de gran parte de la información que pueda generarse.

En lo referente a la **infraestructura**, los sistemas ERP normalmente se ejecutan en una infraestructura básica, la necesaria para tener su ERP activo y ejecutándose cubriendo las necesidades de la empresa. Por ejemplo, los ERP necesitan una capa de base de datos, una de aplicación y otra capa de usuario, formando la denominada arquitectura en n-capas.

Recientemente, las empresas han optado por tener sus ERP en la nube, migrando en ocasiones tanto la base de datos como la capa de aplicación a esta nube.

Las herramientas y técnicas de Business Intelligence (BI) se sitúan normalmente por encima de los sistemas ERP, para ayudar en la toma de decisiones haciendo que éstas sean de calidad. De hecho, la BI puede entrar en detalle para detectar patrones ocultos y sucesos desconocidos mediante el uso de técnicas de minería de datos.

Respecto a la **privacidad de los datos**, los sistemas ERP han sido utilizados durante décadas con un discreto control sobre la violación de la privacidad de los datos. Solo cuando la implantación implica sensores, surge el problema de la privacidad de los datos, como por ejemplo, el uso de RFID en tiendas.

En los últimos años, ha aumentado el uso de la **gestión de datos maestros** (MDM) para distintos objetivos de empresa mediante los sistemas ERP: para clientes, productos o vendedores entre otros.

Respecto al **descubrimiento de datos** (Data Discovery), los sistemas ERP, durante décadas, han delegado en sus datos internos para producir informes e información inteligente. Además, BI se ha centrado principalmente en datos estructurados. Debido al incremento en la disponibilidad de los datos semi, o no estructurados, los esfuerzos se deben centrar en obtener valor de tales “datos en reposo” hacia los sistemas ERP.

Los datos de los ERP muestran ciertas restricciones de calidad y acatan los procedimientos y medidas de calidad interna de la empresa. Sin embargo cuando juntamos estos datos con los de fuentes externas podemos encontrarnos con inconsistencias.

Estos datos necesitan un proceso de armonización, y mientras este proceso sucede, se han de establecer niveles de confianza de los datos sin procesar (*raw data*) y en las agregaciones.

4.2.1. Principales ERP sectoriales. Características.

Se ha realizado una búsqueda exhaustiva de todos los ERPs que tienen particularidades específicas para los sectores Madera-Mueble y Metalmecánico. Se han identificado los siguientes:

- **DISTRITOK.**
 - Producto para el sector del mueble desarrollado por la empresa sobre una base propia.
 - <http://www.districtok.com/aplicaciones/sectores/fabricas-muebles.php>
- **QUONEXT**
 - Solución desarrollada sobre Microsoft Dynamics NAV (Navision), AX (Axapta) o Sage X3
 - <http://www.quonext.com/software-gestion-erp-empresas-sector-fabricantes-muebles-microsoft-dynamics-nav-navision-ax-axapta>
- **NUBIT**
 - Solución para el mueble desarrollada sobre Microsoft Dynamics NAV (Navision)
 - <http://www.nubit.es/software-de-gestion-erp-sector-de-muebles/>
- **TECON**
 - Solución para el mueble desarrollada sobre Microsoft Dynamics NAV (Navision)
 - <http://www.tecon.es/gestion-fabricacion-mueble/>
- **DEISA**
 - Producto para el sector del mueble desarrollado por la empresa sobre una base propia.
 - <http://deisa.net/soluciones/programa-software-erp-fabricacion-muebles/23>
- **EXPERT-MUEBLE**
 - Desarrollo de DATADEC para el sector del mueble, plataforma web de desarrollo propio.
 - <http://www.erp-expert-mueble.es/>
- **TEOWIN ERP**
 - ERP desarrollado a partir de una solución de diseño con la que la empresa se introdujo en el mercado. La solución de diseño está bastante implantada en empresas de cocinas y de armarios.
 - <http://teowin.com/teowin-erp/?lang=es>
 - <http://www.simsa.es/software/teowin-erp/fabricas-de-muebles.html>
- **DAEMON PRODUCCION ERP**
 - Producto para el sector del mueble desarrollado por la empresa sobre una base propia.
 - <http://www.daemon4.com/software/d-production-erp/>
 - La empresa Daemon4 cuenta con una solución para puntos de venta.
 - <http://expowin.net/>
- **UNYBASE**
 - Producto para el sector del mueble desarrollado por la empresa sobre una base propia.
 - <http://www.unybase.com/erp-muebles/>
- **SIDDEX ERP**
 - Desarrollo a medida de las empresas.

- <https://siddex.com/>
- **GPD**
 - Producto especializado en el sector del mueble desarrollado por AIDIMME sobre una base propia.
 - <http://www.aidima.es/@tic-gdp>
- **SAGE MURANO FURNITURE ERP**
 - Producto especializado en el sector del mueble desarrollado por la empresa Ventura Espejo sobre la base de Sage Murano.
 - http://www.venturaespejo.com/index.php?option=com_content&view=article&id=94&Itemid=151
- **AQUA EMOBLE SUITE 2016**
 - Producto para el sector del mueble desarrollado por la empresa sobre una base propia desarrollado en colaboración con el Cetem.
 - http://www.aquaesolutions.com/SR/SS/SS_Software_Gestion_ERP_Sector_Mueble_AquaMoble
- **PROLOGIC**
 - Producto especializado en el sector del mueble desarrollado sobre una base propia.
 - <http://logicalrioja.com/prologic-muebles/>
- **PROSOLID3D**
 - Varias herramientas desarrolladas para el mueble (Topsolid, ardis, Darley)
 - <http://prosolid3d.com/erp/>
- **GEINFOR**
 - Producto implantado en varias empresas del sector Mueble y Metal
 - <http://geinfor.com/erp-produccion>
- **MARINO ERP**
 - Producto para el sector del mueble desarrollado por la empresa sobre una base propia
 - <http://www.marino-erp.com/empresas-fabricantes/madera-y-mueble>
- **ZGEST MUEBLE**
 - Producto para el sector del mueble desarrollado por la empresa sobre una base propia
 - <http://www.informakro.com/erp-mueble.aspx>
- **PRODMANAGER**
 - Producto para el sector del mueble desarrollado por la empresa sobre una base propia
 - <http://www.spi-software.com/es/produits/erp-prodmanager/>
- **NAVISON DYNAMICS**
 - Producto de uso general pero extendido entre empresas del mueble y del metal
 - www.navision.com
- **ABAS**
 - Producto de uso general pero extendido entre empresas del mueble y del metal
 - <http://abas-erp.com/>
- **SAP**
 - Producto de uso general pero extendido entre empresas del mueble y del metal

- <http://go.sap.com/>

Datos relevantes ubicados en el ERP

Los ERP generalmente tienen una estructura modular, adaptándose así a las características de diferentes empresas. En general los módulos básicos para una empresa que cuente con área de producción serían los siguientes:

Gestión de Compras
Gestión de la producción
Gestión de ventas
Logística y expedición
Oficina técnica: Configuración de producto
Gestión contable y financiera

Otros módulos que pueden incorporar los ERP son los indicados seguidamente. Algunos de ellos tienen un carácter muy personalizado y específico como pueden ser los relacionados con la conexión con herramientas de software o directamente con las máquinas.

Control de presencia
Gestión comercial (CRM)
Gestión de calidad
Gestión de recursos humanos.
Cuadro de mandos
Gestión de marketing
Gestión de proyectos
Inteligencia de negocio (BI)
SGA (caótico)
Comercio electrónico (tienda de venta online)
Soluciones de movilidad
TPV
Trazabilidad
Conexión con las máquinas de producción para enviarles información de los programas a ejecutar
Conexión con optimizador de corte (ARDIS)
Conexión con software CAD (inventor) y CAM (alfacam)
Conexión con software cad/cam (Topsolid)
Conexión con los sensores de las máquinas
Conexión con herramientas mes
Conexión con plataformas multiempresa

Seguidamente se hace una comparativa de los módulos que tiene cada ERP, de forma estándar:

MODULOS	DISTRITOK	QUONEXT	NUBIT	TECOM	DEISA
Gestión de Compras	X	X	X	X	X
Gestión de la producción	X	X	X	X	X
Gestión de ventas	X	X	X	X	X
Logística y expedición		X	X	X	X
Oficina técnica: Configuración de producto	X	X	X	X	X
Control de presencia					
Gestión comercial (CRM)	X	X	X	X	X
Gestión contable y financiera	X	X	X	X	X
Gestión de calidad		X			
Gestión de recursos humanos.	X		X	X	X
Cuadro de mandos					
Gestión de marketing			X	X	
Gestión de proyectos	X				X
Inteligencia de negocio (BI)			X	X	
SGA (caótico)					
Comercio electrónico (tienda de venta online)	X				X
Soluciones de movilidad					
TPV	X				
Trazabilidad	X				
Conexión con las máquinas de producción para enviarles información de los programas a ejecutar.					
Conexión con optimizador de corte (Ardis)					
Conexión con software cad (inventor) y cam (alfacam)					
Conexión con software cad/cam (Topsolid)					
Conexión con los sensores de las máquinas					
Conexión con herramientas MES					
Conexión con plataformas multiempresa					

MODULOS	EXPERT- MUEBLE	TEOWIN ERP	D.PRODUCCIO N ERP	UNYBASE	GDP
Gestión de Compras	X	X	X	X	X
Gestión de la producción	X	X	X	X	X
Gestión de ventas	X	X	X	X	X
Logística y expedición	X	X	X	X	X
Oficina técnica: Configuración de producto	X	X	X	X	X
Control de presencia		X	X		X
Gestión comercial (CRM)	X	X		X	X
Gestión contable y financiera	X	X	X	X	X
Gestión de calidad			X		X
Gestión de recursos humanos.	X				
Cuadro de mandos				X	X
Gestión de marketing					
Gestión de proyectos	X	X			
Inteligencia de negocio (BI)	X		X		
SGA (caótico)	X				
Comercio electrónico (tienda de venta online)	X		X		
Soluciones de movilidad	X				X
TPV					
Trazabilidad					
Conexión con las máquinas de producción para enviarles información de los programas a ejecutar.		X			
Conexión con optimizador de corte (Ardis)					
Conexión con software cad (inventor) y cam (alfacam)					X
Conexión con software cad/cam (Topsolid)					
Conexión con los sensores de las máquinas					
Conexión con herramientas MES					
Conexión con plataformas multiempresa					

MODULOS	SAGE MURANO FURNITURE	AQUA EMOBLE SUITE 2016	PROLOGIC	PROSOLID3D	GENFOR
Gestión de Compras	X	X	X	X	X
Gestión de la producción	X	X	X	X	X
Gestión de ventas	X	X	X	X	X
Logística y expedición	X	X	X	X	X
Oficina técnica: Configuración de producto	X	X	X	X	X
Control de presencia					
Gestión comercial (CRM)	X	X		X	X
Gestión contable y financiera	X	X		X	X
Gestión de calidad					X
Gestión de recursos humanos.					X
Cuadro de mandos					
Gestión de marketing					
Gestión de proyectos					
Inteligencia de negocio (BI)		X			X
SGA (caótico)					
Comercio electrónico (tienda de venta online)					
Soluciones de movilidad					
TPV					
Trazabilidad					
Conexión con las máquinas de producción para enviarles información de los programas a ejecutar.					
Conexión con optimizador de corte (Ardis)				X	
Conexión con software cad (inventor) y cam (alfacam)					
Conexión con software cad/cam (Topsolid)				X	
Conexión con los sensores de las máquinas					
Conexión con herramientas MES					
Conexión con plataformas multiempresa					

MODULOS	MARINO ERP	ZGEST MUEBLE	ABAS	SAP	NAVISION
Gestión de Compras	X	X	X	X	X
Gestión de la producción	X	X	X	X	X
Gestión de ventas	X	X	X	X	X
Logística y expedición	X	X	X	X	X
Oficina técnica: Configuración de producto	X	X	X	X	X
Control de presencia		X			
Gestión comercial (CRM)	X	X	X		
Gestión contable y financiera	X	X	X	X	X
Gestión de calidad	X			X	
Gestión de recursos humanos.		X		X	X
Cuadro de mandos		X			
Gestión de marketing				X	X
Gestión de proyectos				X	X
Inteligencia de negocio (BI)	X				
SGA (caótico)		X	X		
Comercio electrónico (tienda de venta online)					
Soluciones de movilidad		X			
TPV		X			
Trazabilidad			X		
Conexión con las máquinas de producción para enviarles información de los programas a ejecutar.					
Conexión con optimizador de corte (Ardis)					
Conexión con software cad (inventor) y cam (alfacam)					
Conexión con software cad/cam (Topsolid)					
Conexión con los sensores de las máquinas					
Conexión con herramientas MES					
Conexión con plataformas multiempresa					

4.3. Bases de datos

4.3.1. Sistemas de gestión de bases de datos

Una base de datos es una agrupación estructurada de datos cuyo fin último es el de satisfacer un requisito de información de una organización ya sea una empresa o cualesquier tipo de organismo público o privado.

Los sistemas de gestión de bases de datos son la evolución natural de los sistemas de ficheros. Estos sistemas de ficheros eran independientes unos de otros y estaban íntimamente relacionado con unos programas específicos. Era cada uno de los programas los que sabían la estructura interna de los ficheros y las relaciones entre ellos. El uso de sistemas de ficheros conlleva la inconsistencia de datos (duplicidad de información) y dificultad en el acceso a los mismos. Los datos tampoco están agrupados y resulta dificultoso el acceso a relaciones entre los mismos. Este problema, tan característico de los sistemas de ficheros, se le denomina falta de independencia de datos lógica-física.

Para evitar las dificultades anteriormente mencionadas surgen las bases de datos. Una base de datos es una agrupación de datos que se crea una sola vez y que permite el acceso simultáneo por varios usuarios o departamentos. Al estar los datos agrupados se evitan las redundancias y duplicidades de la información. Junto a los datos se mantiene la descripción de los datos (metadata) que permite la independencia de datos lógica-física.

Las bases de datos se gestionan mediante una o varias aplicaciones de gestión denominadas Sistema de gestión de la base de datos (SGBD). Este entorno permite las siguientes operaciones:

- Creación y mantenimiento de las bases de datos mediante un lenguaje de definición de datos que permite definir estructura y tipo de datos así como las restricciones que les aplican.
- Operaciones de inserción, actualización, eliminación y consulta de datos mediante un lenguaje de manejo de datos. Típicamente el lenguaje de manejo de datos proporcionado es el lenguaje procedural SQL (Structured Query Language).
- Gestión de seguridad de los datos.
- Accesos autorizados,
- Integridad y consistencia de los datos.
- Acceso concurrente de los datos.
- Recuperación ante fallos.
- Creación de vistas o subconjuntos de los datos.

Base de datos relacional (RDBMS).

El modelo relacional se puede resumir en que los datos se organizan mediante tablas pudiéndose crear relaciones o dependencias entre ellas mediante el uso de campos clave.

Base de datos orientada a objetos (ODBMS).

Surgen para satisfacer los requisitos en el manejo de la información que tienen campos como la fabricación o ingeniería con estructuras de datos más complejas y transacciones de larga duración. Este tipo de base de datos permite almacenar imágenes y textos, y definir operaciones específicas para cada aplicación. Además se integran mejor con los lenguajes de programación orientados a objetos.

Normalmente implementan la versión de SQL, SQL:1999, que incluye algunas de las características de la orientación a objetos.

Los fabricantes de este tipo de bases de datos han formado un grupo de trabajo para su estandarización llamado ODMG (Object Database Management Group), que ha propuesto varios estándares hasta llegar a la última versión ODMG 3.0. El uso de estándares proporciona portabilidad e interoperabilidad y facilitan la comparación de distintos fabricantes al analizar el cumplimiento de los mismos.

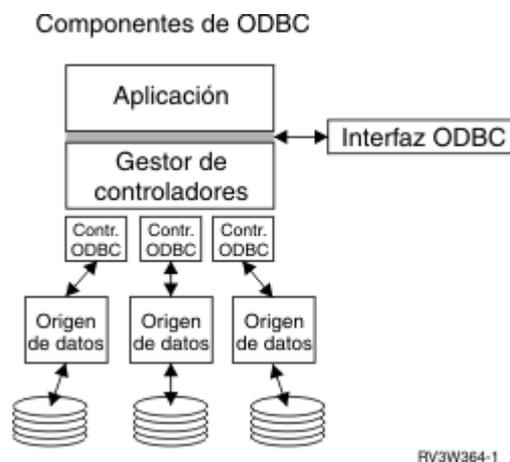
4.3.2. 6.3.2. Acceso a los datos

ODBC

Open Database Connectivity (ODBC) es una interfaz de programación de aplicaciones (API) para el acceso a la base de datos. Se basa en las especificaciones de interfaz de nivel de llamada (CLI) de Open Group e ISO/IEC para las API de base de datos y utiliza el lenguaje de consulta estructurado (SQL) como su lenguaje de acceso a bases de datos.

El motor ODBC necesita de drivers específicos para el acceso a las bases de datos de cada fabricante. Estos drivers se enlazan en tiempo de ejecución no teniendo que modificar las aplicaciones. Las aplicaciones por otra parte pueden acceder a distintas bases de datos simplemente cargando su driver correspondiente.

Arquitectura ODBC



Componentes de ODBC

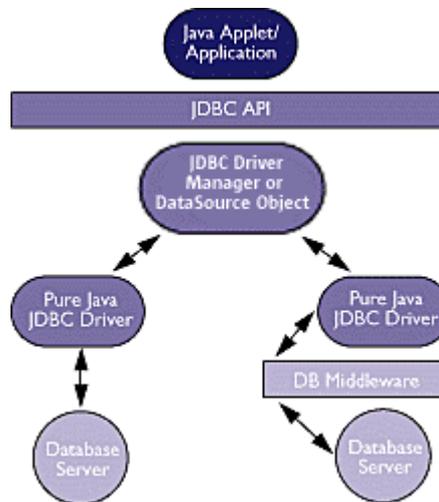
Fuente: http://www.ibm.com/support/knowledgecenter/es/ssw_ibm_i_72/rzaii/rv3w364.gif

JDBC

El API JDBC es el estándar de la industria para el acceso a las bases de datos a través del lenguaje de programación Java.

Arquitectura JDBC

El API JDBC contiene dos grandes grupos de interfaces: la primera es la API JDBC para los programadores de aplicaciones, y la segunda es la de menor nivel API JDBC controlador para los escritores de controladores.



Estructura de la API JDBC para programar aplicaciones

(Fuente: <http://www.oracle.com/ocom/groups/public/@otn/documents/digitalasset/145869.gif>)

Pure Java Driver: El API JDBC utiliza acceso directo a los servidores de bases de datos.

Database Middleware: El API JDBC utiliza un protocolo intermedio (middleware) antes de acceder al motor de bases de dtos. El middleware proporciona conectividad a bases de datos de diferentes fabricantes.

Ventajas de la tecnología JDBC

- Independencia de arquitecturas propietarias de las bases de datos de distintos fabricantes.
- Facilita el desarrollo de aplicaciones al simplificar la programación mediante el ocultamiento de las llamadas de acceso a los datos de los sistemas propietarios.
- Facilidad de aprendizaje del API JDBC.
- Facilidad de mantenimiento del software al incluir en las URL de conexión toda la información necesaria para establecer la conexión con las bases de datos.
- Total acceso a los metadatos sin necesidad de programación propietaria.
- Facilidad de instalación al descargarse JDBC como parte del Applet Java.
- Conexión de base de datos identificado por la URL.
- Permitir la agrupación de conexiones y la realización de transacciones distribuidas.
- Incluido por defecto en la plataforma Java.

ADO, ADO .NET y .NET Framework Programming.

Microsoft introduce ADO.NET junto al entorno de programación .NET. ADO.NET es la evolución de la tecnología de acceso a datos mediante objetos denominada Microsoft ActiveX Data Objects (ADO). Este API amplía ADO mediante el uso de XML.

Integración con XML mejorada.

XML se utiliza cada vez más en el diseño de aplicaciones. ADO.NET fue diseñado desde cero para integrarse con XML. El uso de XML permite:

- La persistencia de objetos.
- La carga de objetos junto a su estructura relacional.
- La comunicación entre objetos a través de la red.
- Validación de consultas, consultas y transformaciones de datos relacionales.

Integración con .NET Framework.

El acceso a la estructura de los datos o a la información se realiza a través de estructuras de .NET Framework proporcionando un acceso a los datos homogéneo al trabajar con datos y relaciones.

Soporte mejorado para el modelo de negocio desconectado.

ADO.NET mejora ADO al no tener que mantener ninguna conexión permanente. Facilitando el empaquetado, intercambio, almacenamiento en caché, persistencia y la carga de datos.

Control explícito de los comportamientos de acceso a datos.

ADO.NET proporciona componentes bien definidos, tiene un comportamiento predecible, mejor rendimiento, y una semántica que permite enfrentar situaciones comunes con métodos altamente optimizados.

Mejorado el soporte en tiempo de diseño.

ADO.NET aprovecha al máximo los metadatos conocidos en tiempo de diseño para poder proporcionar un mejor rendimiento y un comportamiento más constante al evitar los retrasos en el acceso a los metadatos que en tiempo de ejecución son muy costosos de obtener.

SQLXML

El lenguaje de marcas extensible, XML - eXtensible Markup Language-, ha sido ampliamente adoptado como un formato independiente de plataforma para la representación de datos. Este lenguaje nos facilita:

- el intercambio de información entre diferentes sistemas,
- para el modelado de documentos sin estructura o semiestructurados,
- en la recuperación de documentos en función de su contenido.

¿Por qué utilizar bases de datos relacionales para los datos XML?

Las capacidades de los servidores de bases de datos se amplían para proporcionar potentes capacidades de consulta y modificación de datos XML.

Los datos XML pueden integrarse con aplicaciones de datos relacionales y SQL existentes.

En las operaciones de bases de datos siguientes: copia de seguridad, recuperación y replicación de datos.

El soporte XML de los sistemas de gestión de bases de datos puede clasificarse en dos ámbitos diferentes.

- En el servidor: El servidor genera a partir de las tablas o consultas los resultados con formato XML. Esto se consigue mediante la cláusula FOR XML en las sentencias SELECT del SQL. También se puede hacer la operación inversa mediante la tecnología OpenXML; esta tecnología extrae en registros y columnas los valores de los datos XML mediante la evaluación expresiones XPath.
- En el cliente: Mediante el uso de vistas XML que permiten realizar consultas con XPath o bien a través de plantillas XML que contengan secciones dinámicas y en las que se incrusten consultas FOR XML y XPath. En este último caso al ejecutar la plantilla se reemplaza la consulta con sus resultados pudiendo simultanear la generación de contenido estático y dinámico dirigido por los datos.

Formas de acceso a la funcionalidad SQLXML.

- SQLXMLEDB, es un proveedor OLE DB que ofrece la funcionalidad SQLXML a través de ADO.
- Usando el filtro SQLXML ISAPI en el servidor web IIS de Microsoft. Este filtro nos permitirá usar el protocolo HTTP para recibir peticiones de ejecución de plantillas XML y el uso de sentencias FOR XML y XPath.

SQL Native Client Programming

SQL Server Native Client combina el proveedor OLE DB de SQL y el controlador ODBC de SQL en una biblioteca de vínculos dinámicos (DLL) nativa.

Introducen las siguientes características:

- Compatibilidad con conjuntos de resultados activos múltiples (MARS),
- tipos de datos definidos por el usuario (UDT),
- notificaciones de consulta,
- aislamiento de instantánea
- tipo de datos XML.

¿Cuándo usar SQL Server Native Client?

Si se necesita desarrollar una aplicación basada en COM que requiere de las nuevas características introducidas en SQL Server.

5. Protocolos de comunicación industrial

5.1. Introducción

Las máquinas son las grandes impulsoras de la industria, siendo su aparición la gran causante de su creación.

Con la llegada de la electricidad y la electrónica se aportan nuevas mejoras a las máquinas iniciales y se les añaden nuevas características, entre ellas se aportan funcionalidades de automatización.

Pasamos de tener al inicio de la era industrial, máquinas simples, a tener máquinas controladas por relés electromecánicos. Esto evoluciona durante las siguientes décadas a los autómatas programables actuales.

Todos estos avances repercuten, en la industria, en incrementos en la producción, mejoras de procesos y productos, optimización de recursos, disminución de costes, etc...

Poco a poco se establece la necesidad de que estos dispositivos y estas máquinas se puedan comunicar entre sí y con otros elementos de la industria, de cara a optimizar, organizar y gestionar la producción y los procesos de la misma. Todos los elementos de una industria precisan estar interconectados.

Esto evoluciona hasta las actuales redes de comunicaciones y los protocolos actuales y a los sistemas SCADA.



5.2. Protocolos de comunicación

La función de los protocolos de comunicación que se utilizan en la industria es posibilitar la comunicación entre los diversos elementos que se encuentra en su red (desde los PLC, al resto de dispositivos electrónicos).

Esta información puede ser remitida a un centro de control que se encarga de procesarla, un sistema Scada, o intercambiarse entre los dispositivos, comunicación a nivel de campo.

Según las características de la red y de los objetivos buscados, la comunicación debería de tener ciertas características, como por ejemplo que fuese lo suficientemente rápida para posibilitar una comunicación en tiempo real, lo cual es más importante si cabe en el caso de la comunicación a nivel de campo.

También han que tener en cuenta que estas comunicaciones deben de darse en un ambiente industrial, por lo que deben de soportar unas condiciones bastantes adversas. Tanto las redes industriales como los protocolos de comunicación deben de estar preparados para este tipo de condiciones.

Dependiendo de su entorno, el tipo de redes en la industria, según la bibliografía consultada, se puede clasificar en:

5.2.1. Redes de Factoría

Son las redes que se utilizan en las oficinas de la empresa. Son las redes habituales en los despachos y oficinas, las que suelen emplear en la mayor parte de los escenarios, encargadas de conectar pequeños dispositivos y ordenadores. La cantidad de datos que pasa por ellas es bastante elevado, pero en cambio la latencia de la misma no es necesario que sea excesivamente baja.

5.2.2. Red de Planta

Estas redes son las encargadas de conectar los sistemas de fabricación en la factoría entre sí. También posibilita la comunicación con otros elementos de control (ordenadores en oficinas técnicas y de mantenimiento, sistemas de control, etc...).

Deben de permitir el envío de información con gran cantidad de datos, en algunos casos estar preparadas para una comunicación a gran distancia, deben de ser robustas a elementos externos (p.e. interferencias electromagnéticas), etc...

5.2.3. Red de Célula

Son las redes que posibilitan la interconexión entre dispositivos que operan conjuntamente, y que colaboran en el mismo proceso. Por ejemplo en la fabricación, los PLC, con el CNC, con los robots, etc...

Este tipo de redes suelen precisar poco ancho de banda (no se transmiten una elevada cantidad de datos), pero su latencia tiene que ser muy baja. Aparte, debe de disponer de otras características adicionales que posibiliten una mayor fiabilidad del sistema.

5.2.4. Bus de Campo

Se trata de un bus único, bidireccional, que posibilita la comunicación en serie entre los distintos dispositivos de la red (normalmente controladores, sensores y dispositivos).

Gracias a este bus se elimina cableado punto a punto entre dispositivos y hace que la conexión de nuevos elementos sea bastante sencilla.

Se trata de una comunicación en serie pero con una latencia muy baja.

5.3. Bus de campo

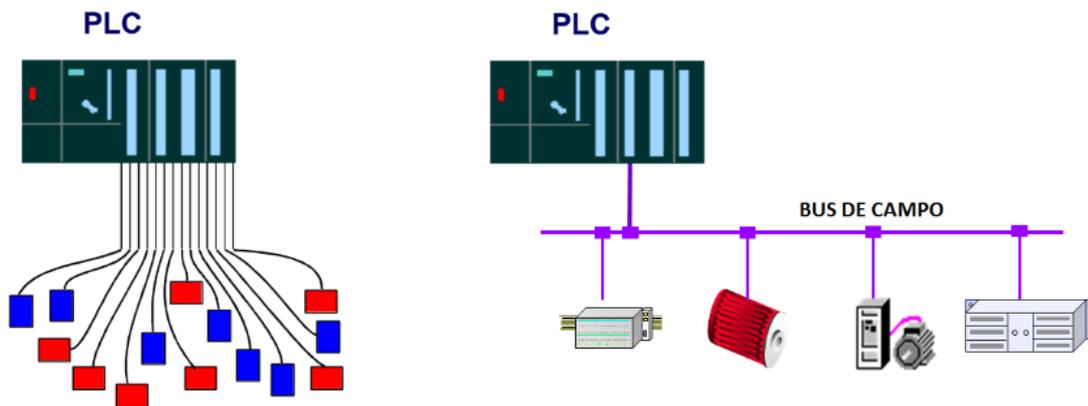
Un bus de campo es un sistema de transmisión de información que permite la comunicación a través de un único bus, lo que facilita considerablemente la instalación y la operación de la maquinaria y los dispositivos y equipos industriales empleados en la industria.

Un bus de campo sustituye las conexiones punto a punto entre los dispositivos de campo y el equipo que se encarga del control.

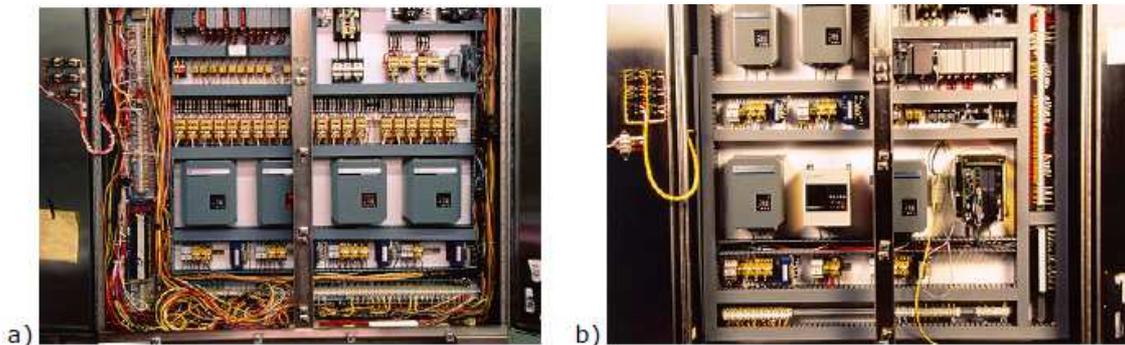
El bus de campo comprende tanto el cableado único, como la familia de protocolos de red industriales que se utilizan para gestionar el sistema.

Se trata de redes digitales, multipunto, bidireccionales, que están enlazadas sobre un bus serie. Estas redes se encargan de conectar dispositivos de campo como los autómatas (PLCs), sensores, actuadores, transductores y unidades de control.

Una de las ventajas de este sistema es que permite la sustitución de grandes cantidades de cables, que se utilizan para conectar punto a punto los dispositivos de campo, por un único cable, común para todos los dispositivos. Lo que repercute en un ahorro de coste y una mayor simplicidad y flexibilidad.



Sistema de cableado convencional versus Bus de Campo



Instalación industrial: a) sin buses de campo, b) con buses de campo (Fuente: http://homepage.cem.itesm.mx/vlopez/buses_de_campo.htm)

El problema con el que nos encontramos es que no existe ningún estándar, que permita tener un bus de campo universal. Existen distintos protocolos, promovidos por distintos proveedores.

5.3.1. Ventajas

Reducción de costos. Una de las consecuencias de la utilización de los buses de campos es una disminución en el coste de mantenimiento y en el coste de instalación. Bajo coste de instalación y de conexión por nodo.

Mayor flexibilidad. Con los buses de campo, los algoritmos y sistemas de control pasan a estar incluidos en los propios dispositivos. Esto hace mucho más sencillo el sistema de control y lo hace más escalable, permitiendo una sencilla interconexión entre nuevos dispositivos.

Transmisión de información. Solucionan uno de los requisitos de este tipo de red industrial que es la gestión eficiente de la comunicación de mensajes cortos y permiten el uso de información de eventos, además de poseer sistemas de control y corrección, y de poder enviar mensajes que requieran mayor prioridad. Todo esto permite que la red pueda tener una comunicación en tiempo real entre sus dispositivos.

Simplicidad del sistema, que permite una simplificación en la puesta en servicio.

Reducción masiva de cables, con distancias superiores al cableado tradicional.

5.3.2. Clasificación

Buses de baja latencia con comunicaciones poco complejas

Se trata de buses que se encuentran cercanos a la máquina y que la conecta con pequeños dispositivos de control (relés, fotocélulas, etc...). La comunicación tiene que ser en tiempo real y la información que se transmite es muy simple, con mensajes muy cortos.

Como ejemplos más destacados, podemos tener el bus **CAN**, que fue creado para su utilización en los vehículos, o el **SDS**, que se basa en CAN, pero que permite añadir actuadores y sensores. También tenemos el bus **ASI**, que fue creado por Siemens y, al igual que el ASI, también permite la utilización de actuadores y sensores.

Buses de baja latencia con comunicaciones de complejidad intermedia

En estas redes los mensajes que se transmiten son de un tamaño un poco superior. Además permiten mensajes de control, configuración, programación, etc...

Con estas redes se permite la interacción de software o de ordenadores conectados a la misma.

Como ejemplo tenemos la red **DeviceNet**, que está basada en CAN, y que se utiliza para conectar dispositivos simples (pulsadores, sensores, etc.) con otros más complejos (autómatas, controladores, ordenadores, pantallas, entre otros).

También tenemos la red **MODBUS**, que permite la comunicación de datos de control punto a punto entre los controladores y los sensores a través del puerto serie.

Buses de altas Prestaciones

Permiten la comunicación por toda factoría. Aunque también se basan en sistemas de baja latencia, la latencia puede ser más alta debido a la utilización de la red.

Como ejemplos de estas redes tenemos el **Profibus DP**, que está pensado para conectar actuadores y sensores con PLCs (autómatas) o sistemas de control. También tenemos el **FOUNDATION FIELDBUS**, que se utiliza en sistemas de control distribuido.

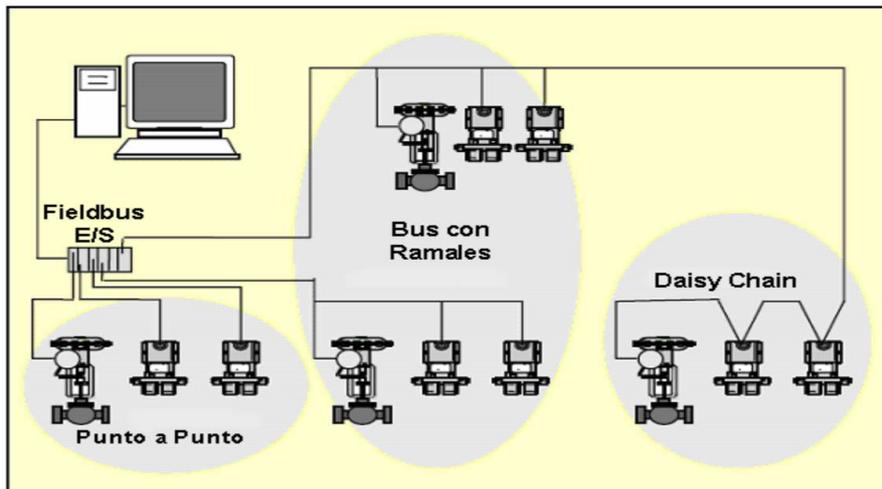


Figura 4.13 Combinación de Topologías. Tomado de: The Foundation Fieldbus Primer

Buses para áreas de seguridad intrínsecas

Se utilizan en zonas peligrosas, donde pueda existir alguna explosión, cortocircuito, etc... o la probabilidad de mal funcionamiento pueda ser alta.

Dentro de esto tipo tenemos el **PROFIBUS-PA**, que está pensado para su utilización en zonas donde existe un riesgo de explosión. También tenemos el bus **HART**.

Tabla 1. Comparación de características entre algunos buses y protocolos

Nombre	Topología	Soporte	Máx dispositivos	Rate transm.bps	Distancia máx Km	Comunicación
Profibus DP	línea, estrella y anillo	par trenzado fibra óptica	127/segm	Hasta 1.5M y 12M	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus PA	línea, estrella y anillo	par trenzado fibra óptica	14400 /segm	31.5K	0.1 segm 24 fibra	Master/Slave peer to peer
Profibus FMS		par trenzado fibra óptica	127/segm	500K		Master/Slave peer to peer
Foundation Fieldbus HSE	estrella	par trenzado fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	100M	0.1 par 2 fibra	Single/multi master
Foundation Fieldbus H1	estrella o bus	par trenzado fibra óptica	240 p/segm 32.768 sist	31.25K	1.9 cable	Single/multi master
LonWorks	bus, anillo, lazo, estrella	par trenzado fibra óptica coaxial radio	32768 /dom	500K	2	Master/Slave peer to peer

Interbus-S	segmentado	par trenzado fibra óptica	256 nodos	500K	400/segm 12.8 total	Master/Slave
DeviceNet	troncal/puntual c/bifurcación	par trenzado fibra óptica	2048 nodos	500K	0.5 6 c/repetid	Master/Slave, multi-master, peer to peer
AS-I	bus, anillo, arbol, estrella	par trenzado	31 p/red	167K	0.1, 0.3 c/rep	Master/Slave
Modbus RTU	línea, estrella, árbol, red con segmentos	par trenzado coaxial radio	250 p/segm	1.2 a 115.2K	0.35	Master/Slave
Ethernet Industrial	bus, estrella, malla- cadena	par trenzado coaxial fibra óptica	400 p/segm	10, 100M	0.1 100 mono c/switch	Master/Slave peer to peer
HART		par trenzado	15 p/segm	1.2K		Master/Slave

5.4. Protocolos industriales Ethernet

Uno de los grandes retos a afrontar en el marco de la Industria 4.0 es la interoperabilidad de la información entre los dispositivos y las aplicaciones que hacen uso de dicha información. La principal razón es el crecimiento exponencial de dispositivos, sensores y elementos de monitorización que van a estar presentes en el proceso industrial. Esta nueva red recibe el nombre de *Industrial Internet of Things* (IIoT), para destacar la necesidad de definir nuevos mecanismos de comunicación que garanticen la interoperabilidad entre distintos dispositivos y fabricante. El reto de la interoperabilidad puede descomponerse en dos componentes a abordar: protocolos de comunicación y modelos de información.

Respecto a los protocolos, tradicionalmente se han utilizado protocolos propietarios definidos por el fabricante del dispositivo industrial, escenario que conlleva multitud de problemas de interoperabilidad y que resulta insostenible en los escenarios industriales actuales. Ante dicha situación la industria ha comenzado a utilizar protocolos abiertos y basados en tecnologías estándar, como la pila *Ethernet*, a la hora de intercambiar información. Tres de los ejemplos más relevantes son PROFINET IO, Modbus TCP-IP (variante *Ethernet* del Modbus original que utilizaba comunicaciones en serie) y EtherCAT. Estos protocolos especifican un formato de trama de datos con la información relevante que es redireccionada convenientemente utilizando TCP. Sin embargo, estas tramas deben ser interpretadas por una aplicación específica e implica trabajar al nivel de Bytes para obtener la información transmitida. Este proceso conlleva un importante esfuerzo de desarrollo a la hora de intercambiar información.

Este hecho pone de manifiesto otro de los problemas habituales en la interoperabilidad industrial: la ausencia de modelos de información que describen de forma precisa la semántica de la información transmitida. Dichos protocolos se encargan de transmitir la información, pero no de definir qué se está transmitiendo exactamente. Por ejemplo, una trama puede enviar un valor de temperatura, pero es necesario saber en qué escala está definido el valor o las características del sensor que la originó. Muchas veces esta tarea es delegada al desarrollador. En consecuencia, para conseguir la interoperabilidad también debe ser estandarizada la información transmitida.

Para introducir con mayor detalle el estado actual de la industria en esta materia, en primer lugar, presentamos tres de los protocolos más habituales para el intercambio de información sobre *Industrial Ethernet*, y que todavía siguen vigentes en el marco de la Industria 4.0 para realizar interacciones en tiempo real.

5.4.1. Protocolos field bus basados en Ethernet

Modbus TCP

Modbus es un protocolo, inicialmente desarrollado en 1979, para la comunicación entre sistemas de automatización industrial y PLCs. Desde entonces se ha convertido en uno de los métodos más populares para transferir información discreta o analógica de I/O a dispositivos de monitorización o captación de datos. Modbus se define como un protocolo a nivel de aplicación en el marco OSI, ya que especifica reglas para organizar e interpretar los datos a partir de la estructura de un mensaje, pero de forma independiente de la capa física subyacente. Modbus TCP es una versión del protocolo que asume que la comunicación se produce mediante TCP en una capa física basada en Ethernet.

Modbus se implementa como un protocolo básico de petición/respuesta: un dispositivo maestro inicia la petición y un dispositivo esclavo responde bien con un error o con los datos

solicitados. Las peticiones consisten en un ID para determinar el dispositivo destino de la misma, un código de función para determinar que se está solicitando y los propios datos. Independientemente de la variante del protocolo, las estructuras de datos utilizadas son idénticas: entradas discretas, salidas discretas, registros de entrada y registros de acumulación. Estas estructuras son incluidas dentro de un *data frame* TCP en nuestro caso.

Ya que Modbus TCP es de libre acceso y soportado por múltiples fabricantes de equipamiento industrial ha alcanzado una amplia aceptación. Si a esto unimos la popularidad de las redes Ethernet en entornos industriales, se convierte en una aproximación habitual para la comunicación M2M y como base para definir estándares de comunicación industrial.

Profinet IO

Profinet (*Process Field Net*) es un estándar de comunicación sobre Industrial Ethernet diseñado tanto para la recopilación de datos como el control de sistemas industriales. PROFINET IO es una de las dos visiones definidas por el responsable del estándar Profibus International: mientras que PROFINET IO se centra en el intercambio de datos entre PLCs, PROFINET CBA está pensado para sistemas de automatización distribuidos.

PROFINET define tres posibles canales de comunicación para el intercambio de información con PLCs y otros dispositivos. El canal TCP/IP se utiliza para parametrización, comunicación y operaciones de lectura/escritura acíclicas. El canal en tiempo real (PROFINET RT) se utiliza para la transferencia cíclica de datos con PLCs de forma más eficiente, omitiendo el protocolo TCP para alcanzar un rendimiento en torno a los 1-10 milisegundos. Por último, el canal asíncrono en tiempo real (PROFINET IRT) proporciona una amplia velocidad de transferencia, inferior al milisegundo, para aplicaciones como el control de movimiento de un brazo robótico.

Una red de PROFINET se compone de tres tipos de dispositivos: IO-Controllers, dispositivos físicos que ejecutan un programa de automatización, IO-Devices, que representan dispositivos como sensores y actuadores que intercambian datos con un IO-Controller a través de la red, y IO-Supervisors, que son HMI o PCs para realizar tareas de monitorización, diagnóstico o análisis.

Todos los datos provenientes de un IO-Device son mapeados directamente al IO-Controller correspondiente para que estén a disposición del programa de control especificado. En concreto los servicios que proporciona un controlador son el intercambio cíclico de los datos, el intercambio acíclico de información de diagnóstico y configuración, intercambio de alarmas y la gestión de la conexión. Por otro lado, los IO-Supervisor son utilizados para la recopilación de información de diagnóstico y mostrar dicha información al usuario a través de un HMI. Un IO-Supervisor es opcional, ya que para configurar una red PROFINET IO son únicamente necesarios un dispositivo y un controlador.

PROFINET también es compatible con el Ethernet estándar de tal forma que es posible integrarlo con MES y ERPs para la visualización de información en tiempo real.

EtherCAT

EtherCAT (Ethernet for Control Automation Technology) es un bus de campo basado en Ethernet desarrollado por la compañía Beckhoff. El objetivo de EtherCAT era resolver las limitaciones que ofrecía Ethernet a la hora de establecer comunicaciones con tiempos de respuesta del orden de 10 microsegundos. Utilizando Ethercat, el *frame* de datos de un mensaje/paquete contiene información de varios dispositivos tanto de envío como de

recepción, que es transmitido a través de un anillo de nodos “gobernado” por un nodo maestro. De esta forma, un único mensaje es generado por el dispositivo maestro para que sea recibido por todos los nodos mediante sucesivos reenvíos nodo a nodo de forma lineal. Cuando un dispositivo esclavo recibe el mensaje, extrae los datos dirigidos a él e inserta los datos que debe enviar a otro dispositivo. Esta aproximación es una ventaja diferenciadora ya que un nodo Ethercat no procesa en el sentido estricto los mensajes que le llegan antes de reenviarlo. Mediante este procedimiento el retraso introducido para reenviar el mensaje es del orden de nanosegundos. Gracias a esta aproximación, EtherCAT es capaz de alcanzar 1000 operaciones de I/O en 30 microsegundos.

Ya que EtherCAT utiliza el estándar IEEE 802.3 como capa física de comunicaciones, no es necesario ningún tipo de hardware especial para implementar una red Ethercat. Por lo tanto, su implantación resulta económica ya que es suficiente con utilizar tarjetas Ethernet estándar y cableado de red normal. Tampoco se requieren *switches*, ya que cada dispositivo solo necesita dos puertos de red RJ45, uno conectado al nodo previo y otro conectado al siguiente nodo. Por sus características EtherCAT está especialmente indicado para aplicaciones basadas en Ethernet que requieran un alto rendimiento con un bajo coste de implementación.

5.4.2. Protocolos IIOT y Modelos de Información

OPC-UA

Actualmente OPC-UA es el estándar de interoperabilidad, creado por la *OPC Foundation*, para la comunicación de los datos provenientes de sensores y dispositivos de campo a los sistemas de control y planificación industrial. A la hora de diseñarse, se ha tenido en cuenta el soporte al mayor número de dispositivos posibles, desde PLCs hasta servidores empresariales. OPC-UA ha sido diseñado para ser totalmente independiente del fabricante, lenguaje de programación o cualquier tecnología propietaria con lo que se considera un estándar totalmente abierto. Además, es la aproximación elegida para la implementación de la capa de comunicación en el modelo RAMI 4.0. Por su amplio respaldo se considera un estándar “de facto”, de tal forma que muchos de los protocolos y modelos de información propuestos por otras organizaciones buscan alinearse con OPC-UA.

En el marco de la Industria 4.0 existe una clara tendencia en la inclusión de la semántica a la hora de definir el proceso de estandarización. Algunos ejemplos son los estándares ISA 88, para definir procesos industriales por lotes, o el ISA 95, para definir la información gestionada por un MES (*Manufacturing Execution System*). Siguiendo estas pautas OPC-UA, también publicado como estándar IEC 62542, permite el intercambio de modelos de información independientemente de su grado de complejidad. Por lo tanto, complementa a los estándares anteriores incluyendo la interoperabilidad en el nivel semántico. OPC-UA cuenta con un amplio respaldo por parte de la industria de la producción, con empresas como National Instruments o General Electric, y empresas tecnológicas, como Microsoft o SAP

Podemos dividir el estándar en tres grandes bloques:

- **Meta-modelo y modelo de información:** especifica las reglas, tipos y componentes que debe cumplir un modelo de información siguiendo el estándar OPC-UA.
- **Servicios:** define la interfaz entre un servidor que provee la información y los usuarios que consumen dicha información.
- **Comunicaciones y transporte:** OPC-UA incorpora diferentes protocolos para el intercambio de información como son TCP, cuando se necesita un mayor rendimiento, y HTTP + SOAP, para favorecer la integración entre aplicaciones.

A continuación, detallamos estos tres componentes,

El modelo de información de OPC UA

Este modelo describe un conjunto de entidades, en la terminología OPC-UA nodos, y tipos estándar que pueden ser utilizados para describir objetos del mundo físico en base a un espacio de direccionamiento, del inglés *Address Space*, común. El modelo representa los objetos con sus propiedades o variables, métodos, eventos y relaciones con otros objetos de forma similar a un modelo entidad-relación. De esta forma es posible definir datos de producción, alarmas, eventos etc. de un proceso industrial y soportar dicha información mediante un servidor OPC-UA. Por ejemplo, un sensor de temperatura es representado como un objeto con un valor que mide la temperatura y un conjunto de alarmas si la temperatura rebasa unos límites establecidos. Tanto el concepto de “temperatura” como de “límites” vienen definidos por el modelo de información de OPC-UA. De esta forma, las aplicaciones que utilicen OPC-UA conocen de antemano la información que está representada y como recuperarla. El modelo se estructura de forma jerárquica por lo que las entidades de los niveles superiores son comunes a cualquier aplicación OPC-UA y, a partir de ellas, es posible crear entidades especializadas.

Las propiedades de cada nodo o entidad del modelo son descritas mediante atributos definidos por OPC-UA. Los atributos son los únicos elementos del servidor que pueden contener valores conformes a un tipo simple o complejo. OPC UA permite modelar cualquier objeto, tipo o relación necesaria, mientras que la semántica es definida en el servidor y seleccionada por los clientes. Los tipos pueden ser estándar o específicos de un fabricante, siendo en este caso una organización la responsable de su definición.

El estándar proporciona un conjunto de modelos genéricos para soportar el intercambio de la información industrial más habitual. No obstante, es posible definir modelos más especializados para soportar una tecnología o estándar concreto. Algunos ejemplos son el modelo para soportar los sistemas de control basados en el estándar ISA 95 o para la conectividad entre máquinas (MTConnect que se describe en la siguiente sección). Sin embargo, debe tenerse en cuenta que habitualmente los clientes se encuentran programados para consumir los modelos genéricos, con lo cual no son capaces de procesar la totalidad de un modelo especializado. A continuación, se presentan brevemente los modelos genéricos ofrecidos por el estándar:

- **Data Access:** permite modelar datos en tiempo real, o de forma más concreta, datos que representan el estado actual de un proceso industrial o de negocio. Por ejemplo, incluye la definición de variables análogas o discretas, unidades de medición o códigos de calidad. También incluye la definición de fuentes de datos que representan sensores, monitores de posición etc. que se encuentran conectados directamente a un dispositivo o mediante buses de campo.
- **Alarms and Conditions:** este modelo define como se gestionan los cambios de estado a través de alarmas. Los clientes pueden registrarse para recibir el evento que se produce cuando cambia un estado y recibir información al respecto.
- **Historical Access:** este modelo permite a un cliente recuperar información histórica sobre valores de variables y eventos. La información puede encontrarse en distintos medios de almacenamiento y el servidor proporciona funciones de agregación para su pre-procesamiento.

- **Programs:** Un programa representa una tarea compleja, como la gestión de un proceso por lotes. Cada programa se representa como una máquina de transición de estados, en la que cada transición envía un mensaje al cliente.

Servicios

OPC-UA define un conjunto de servicios para navegar a través de los modelos, leer o escribir variables o subscribirse a eventos. Los servicios se implementan como un conjunto de mensajes que son intercambiados entre el servidor el cliente. Los servicios se encuentran agrupados de forma lógica a través de 9 *Service Sets* que se describen a continuación:

- **Security Channel:** estos servicios determinan la configuración de seguridad del servidor para establecer un canal de comunicación que garantice la confidencialidad e integridad de los mensajes intercambiados.
- **Session:** estos servicios definen una conexión con la capa de aplicación que representa a un usuario específico.
- **View:** permiten explorar las entidades definidas en el modelo, así como navegar a través de la jerarquía definida y las relaciones.
- **Node Management:** permiten configurar el servidor añadiendo, modificando o borrando los nodos que componen el modelo.
- **Attribute:** permiten leer y escribir valores de los atributos del modelo.
- **Method:** los métodos representan llamadas a funciones definidas en los objetos. Estos servicios definen los protocolos para realizar las invocaciones pertinentes.
- **Monitored Item:** mediante estos servicios se define que atributos deben ser monitorizados o en cuales eventos está interesado un cliente.
- **Subscription:** estos servicios están relacionados con los anteriores permitiendo generar, modificar o eliminar los mensajes de monitorización generados.
- **Query:** mediante estos servicios un cliente puede seleccionar los nodos o entidades del modelo utilizando criterios de filtrado.

Transporte

Los servicios definidos mediante OPC-UA pueden ser implementados mediante dos aproximaciones. Mediante UA-TCP se garantiza un mayor rendimiento aprovechando la pila de tecnologías de Ethernet. Por otro parte, mediante HTTPS + SOAP se simplifica tanto la integración de la información como la invocación desde distintas plataformas tecnológicas (.NET, Java, etc.). Cabe destacar que, independientemente de la aproximación utilizada, los servicios han sido diseñados para proporcionar un rendimiento alto, por ejemplo, una única lectura puede acceder a miles de valores.

Además del modelo de comunicación cliente-servidor, el estándar ha incorporado recientemente la implementación del patrón de comunicación *Publish/Subscribe*. Mediante este patrón es posible distribuir datos y eventos a todos aquellos dispositivos suscritos dentro de un entorno de producción industrial. Actualmente, se hace uso del protocolo ISO/IEC AMQP 1.0 utilizando JSON para la codificación de la información, de tal forma que se habilita el soporte a sistemas de *Analytics* para el proceso masivo de información. En un futuro se espera incorporar conectividad con plataformas Cloud, como Microsoft Azure.

MTConnect

MTConnect es un conjunto de protocolos estándar diseñados para soportar las comunicaciones de una fábrica de producción. MTConnect se centra en definir una solución a nivel de planta, proporcionando un diccionario de datos específico para los procesos de manufacturación. A diferencia de otros protocolos de comunicación, donde los datos son realmente creados en la aplicación, MTConnect genera la información en el propio dispositivo o equipamiento industrial. De esta forma la información se envía utilizando un formato consistente a cualquier cliente que la necesite: un ERP, un MES o un sistema de control de la producción.

MTConnect se basa en tecnologías estándar de Internet como son HTTP, Ethernet y XML. Ya que no es factible definir con antelación cualquier tipo de datos necesario en el marco de una planta de producción, MTConnect es extensible permitiendo añadir tipos específicos para soportar un equipamiento o dispositivo industrial concreto. Desde el punto de vista arquitectónico MTConnect se compone de:

- **Dispositivo:** un sensor, equipamiento o maquinaria que actúa como una fuente de datos
- **Adaptador:** un programa software que convierte los datos de un dispositivo acorde con el modelo de datos propuesto por MTConnect. El adaptador es opcional en aquellos dispositivos que utilicen MTConnect como lenguaje nativo.
- **Agente:** un programa software que recopila, organiza y almacena información de los dispositivos. El agente recibe peticiones de aplicaciones, procesa las peticiones y retorna la información solicitada
- **Red:** representa la conexión física entre el dispositivo y el cliente, que es el consumidor de la información. Habitualmente, se usa una red *Ethernet* y se realizan peticiones HTTP. No obstante, MTConnect puede adaptarse para soportar otras posibles aproximaciones de conexión de red.
- **Cliente:** un cliente es quien inicia las peticiones de datos que siguen el modelo de MTConnect. Habitualmente, el cliente forma parte de una aplicación realizando las peticiones necesarias a un agente determinado.

El protocolo de comunicación sigue la semántica REST, mediante la cual el cliente de la aplicación realiza una petición GET y el agente contesta con una petición HTTP que contiene un XML con la información solicitada. Al igual que OPC-UA, MTConnect no proporciona únicamente un protocolo sino también un modelo de datos (*Information Model*). Este modelo se construye como un documento XML acorde con un XML Schema definido en el estándar. Se definen cuatro posibles documentos XML a la hora de definir una especificación de la información:

- **MTConnectDevices:** proporciona la estructura lógica de un dispositivo compuesta de *Components* y *Data Items*. Un *Component* describe un elemento presente en el dispositivo a partir de una terminología estándar (controlador, brazo rotatorio, etc.) mientras que los *Data Items*, describen los valores que puede caracterizar un *Component* (temperatura, posición etc.). Este documento describe un esquema lógico, similar al de una base de datos, de los metadatos y no contiene los valores específicos. Los *Data Items* pueden ser de tres tipos: 1) *Eventos*, que representan el estado en el que se encuentra un *Data Item*, 2) *Samples*, que representan una variable que es muestreada con una frecuencia determinada, y 3) *Condition*, que representan reglas

para determinar si el estado actual de un componente no excede los valores considerados habituales.

- **MTConnectStreams:** Este documento define los valores actuales para cada elemento definido mediante un documento *MTConnectedDevices*. Permite conocer el histórico de todos los valores de un *Data Item* ya que almacena el *timestamp* en el que fueron generados.
- **MTConnectAssets:** Permite definir modelos de dominio de uso industrial que permitan caracterizar un recurso concreto como herramientas de corte, un sistema de coordenada, procedimientos de inspección, etc. Se almacenan siguiendo una aproximación *Key-Value*, en donde el valor es un documento XML que caracteriza al *Asset* determinado y la *Key* permite la identificación unívoca en un entorno industrial.
- **MTConnectError:** Define los errores de comunicación que pueden darse utilizando un conjunto de códigos de error predefinidos (dispositivo no encontrado, acceso no autorizado, petición incorrecta etc.).

MTConnect está fundamentalmente soportado por el MTConnect Institute y la empresa Systems Insight, que proporciona una herramienta Vimana, para la monitorización de una planta industrial. Además, existen un amplio número de organizaciones adheridos como usuarios del mismo.

Data Distribution Service

El *Data Distribution Service for Real-Time Systems* (DDS) es un estándar de comunicación basado en el patrón Publicar/Suscribir soportado por la OMG. Su área de aplicación es la distribución de grandes volúmenes de información con baja latencia en dominios como la Telemetría, el control del tráfico aéreo o sistemas de supervisión a gran escala. Actualmente diversas empresas están introduciéndolo en el marco de la Industria 4.0 alineándolo con el modelo RAMI 4.0 y complementándolo con OPC-UA.

La base de la implementación del DDS es la definición de un *Global Data Space* (GDS) completamente distribuido. Publicadores y suscriptores pueden unirse o separarse de un GDS en cualquier momento ya que el descubrimiento de los mismos se hace de forma dinámica. Dicho descubrimiento se realiza sin necesidad de un registro centralizado, mediante tecnologías como JMS, además también implica el descubrimiento de tipos de datos específicos que haya definido una aplicación.

En DDS los datos son modelados como un *Topic*: una unidad de información que puede ser consumida o producida compuesta de un tipo, un nombre único y conjunto de políticas de QoS. Los posibles tipos de un *Topic* se definen a partir de subconjunto del estándar OMG IDL, que permite la especificación de tipos estructurados con una notación similar a la de lenguajes como C o entornos CORBA. Cada tipo tiene un atributo que actúa como identificador y que en tiempo de ejecución identifica de forma unívoca un flujo de datos permitiendo realizar operaciones de ordenación. Una vez definido el tipo de un *Topic* este es registrado a través de la API de DDS.

A partir de la definición de un *Topic*, DDS genera un conjunto de rutinas de codificación y decodificación junto con un conjunto de *DataReaders* y *DataWriters*. Un *DataWriter* escribe la información en un *Publisher* para que publique la información en un GDS concreto, que será recibida por los suscriptores acorde con el QoS que hayan definido. Por otra parte, un *DataReader* recupera la información que ha sido publicada en *Subscriber* concreto. La lectura puede realizarse mediante la implementación de una rutina que se invoca tan pronto como se

reciben datos, o mediante la consulta directa al *Data Reader* para determinar si se han recibido nuevos datos. Otra opción es utilizar un “*WaitSet*” para que la lectura no se produzca hasta que se cumpla una condición determinada.

Mediante estas clases es posible implementar de forma directa clientes que produzcan y consuman los datos de forma transparente sin preocuparse del proceso de comunicación subyacente.

MQTT

Message Queue Telemetry Transport (MQTT) es un protocolo M2M para IoT estandarizado por OASIS. El diseño de MQTT se centra en crear un protocolo simple y eficiente en el consumo de ancho de banda que sea independiente de los datos a transmitir y que soporte distintos niveles de QoS. Por estas razones está especialmente indicado su uso para la monitorización remota y cuando existen restricciones en la capacidad de la red.

MQTT sigue un patrón Publicar/Suscribir en el cual los dispositivos conectados a la red publican a un *Broker*. Los clientes se conectan a dicho *Broker* que actúa como mediador en la comunicación entre ambos dispositivos. A través del *Broker* los clientes pueden publicar o suscribirse a un *Topic* para recibir la información conforme se produzca. MQTT tiene soporte al estado de sesión, de tal forma que si uno de los clientes se desconecta de la red el resto es notificado automáticamente.

MQTT es especialmente eficiente para sistemas HMI/SCADA que necesitan comunicación bidireccional y actualmente, se encuentra entre uno de los protocolos más habitualmente integrados dentro del OPC-UA. Fundamentalmente cuenta con el soporte de IBM como tecnología de mensajería para sus soluciones IoT en la “industria conectada”, si bien también cuenta con el apoyo de compañías como Schneider Electric.

AMQP

De forma similar a los sistemas de mensajes anteriormente reseñado, *Advanced Message Queing Protocol* (AMQP) es un protocolo que utiliza un *broker* para el intercambio de mensajes entre publicadores y suscriptores. AMQP incluye especificaciones de cómo debe producirse la comunicación y como deben ser implementados los *brokers* de mensajes. En concreto, define un conjunto de operaciones que debe soportar un *broker* para enrutar y almacenar mensajes junto con las reglas que determinan como se relacionan los componentes involucrados. También define un protocolo de comunicación punto a punto que describe la comunicación entre *brokers* y clientes.

En AMQP los mensajes son publicado en *Exchanges*, que pueden compararse con la función que desempeña un buzón de correo. Los *Exchanges* distribuyen copias de los mensajes a distintas colas utilizando unas reglas denominadas *Bindings*. A continuación, los *brokers* envían los mensajes a los clientes suscritos a las respectivas colas, o bien los clientes recuperan los mensajes. AMQP soportar la definición de meta-atributos en el mensaje para ser usados por el *broker*, mientras que el resto del mensaje es completamente irrelevante para el proceso de comunicación. Ya que las redes no suelen ser fiables, AMQP incluye el concepto de confirmación de recepción (*message acknowledgement*) para que el *broker* reciba una notificación si el mensaje ha sido correctamente entregado o no.

A diferencia de otros protocolos, AMQP soporta distintos tipos de comunicación a la hora de entregar los mensajes: por defecto, si todos los mensajes recibidos por el *Exchange* son

redirigidos a la misma cola, directa, si los mensajes son enrutados en función de una clave que puede estar asociada a una o varias colas, fanout, todos los mensajes son enviados a todas las colas que se encuentra asociadas al *Exchange* y *topic*, similar a la aproximación anteriormente descrita para MQTT.

Actualmente AMQP cuenta con un importante soporte por parte de Microsoft en el marco de su plataforma de IoT industrial basada en Azure, y cuenta con diversas implementaciones de *brokers* como RabbitMQ de Pivotal o Apache QPid. Además, AMQP es una tecnología “estándar” el mundo financiero, con lo que cuenta como un amplio apoyo fuera del marco industrial.

COAP

CoAP es el acrónimo de *Constrained Application Protocol* siendo un protocolo especialmente diseñado para ser usado sobre hardware simple como micro-controladores o sensores de baja potencia. El protocolo ha sido recientemente estandarizado a través del *Internet Engineering Task Force* (IETF). CoAP proporciona un modelo de interacción petición/respuesta entre aplicaciones, soporta el descubrimiento de servicios e incluye conceptos del mundo Web como URIs para facilitar la integración con HTTP. De hecho, CoAP puede considerarse como una redefinición de HTTP, para proporcionar un protocolo más compacto y óptimo para el desarrollo de aplicaciones M2M.

CoAP utiliza UDP, que al ser menos fiable que TCP, implica el envío de mensajes de forma repetitiva para garantizar la fiabilidad. Como consecuencia, por ejemplo, un sensor de temperatura tiene que enviar datos cada segundo, aunque no haya habido un cambio apreciable para que no existan clientes que no reciban el valor. La ventaja de usar UDP es que se reduce el tiempo de reactivación de un dispositivo, los ciclos de comunicación son más cortos y los paquetes de red de menor tamaño. Gracias a esta aproximación un dispositivo puede estar en un estado de suspensión durante un mayor tiempo y se reduce también el ancho de banda consumido.

CoAP es una opción interesante cuando por restricciones del hardware no es posible utilizar HTTP o no son necesarios mecanismos de suscripción. También es una opción a considerar sobre protocolos basados en TCP cuando el dispositivo utiliza una batería, ya que el uso de UDP es más eficiente desde el punto de vista energético por los motivos expuestos con anterioridad. Debido a que es un protocolo recientemente aprobado, todavía no existen ejemplos destacables de despliegue a nivel industrial. A pesar de todo, se considera una tecnología que puede jugar un papel importante en el IIoT en el medio plazo.

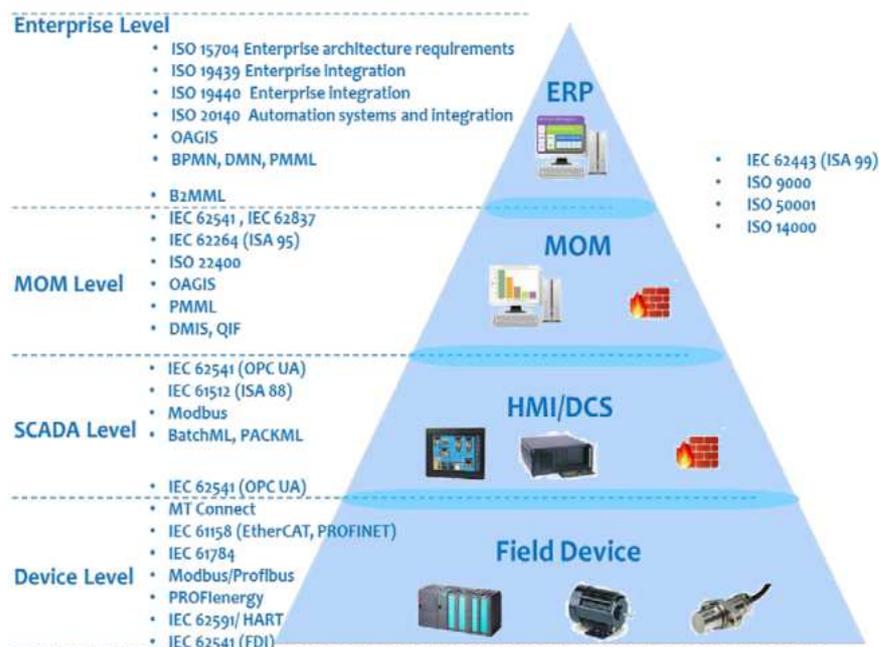
6. Referencias normativas asociadas

Seguidamente se detallan una serie de referencias legislativas relacionadas con la integración de sistemas de control empresarial:

- UNE EN 62264. Integración de sistemas de control empresarial. Define la jerarquía de fabricación y define las actividades y el alcance de la gestión de las operaciones de fabricación (MOM), así como el contenido y las transacciones con el nivel 4 y con el propio nivel 3. Esta norma está basada en la norma ANSI/ISA-95. Esta familia de normas tiene una serie de partes:
 - Parte 1. Modelos y terminología.
 - Parte 2. Objetos y atributos para la integración de sistemas de control empresarial.

- Parte 3. Modelos de actividad de gestión de operaciones de fabricación
 - Parte 4. Objetos y atributos para la integración de la gestión de las operaciones de fabricación
 - Parte 5: Transacciones de negocio a fabricación
- ANSI/ISA-95. Es una norma internacional de la sociedad internacional de automatización, inicialmente publicada en el año 2000, que a lo largo de los años se ha ido adaptando al avance de la tecnología. Los objetivos de dicha norma son proporcionar una terminología consistente que sea una base para las comunicaciones de proveedores y fabricantes, proporcionar modelos de información consistentes y proporcionar modelos de operaciones consistentes que sirvan de base para aclarar la funcionalidad de la aplicación y cómo se va a utilizar la información. (Dichas referencias se basan en la guía VDI 5600 desarrollada por la Asociación de Ingenieros alemanes).
 - ISO 22400. Sistemas de automatización e integración. Indicadores claves de rendimiento (KPIs) para la gestión de las operaciones de fabricación.
 - Parte 1. Conceptos y terminología
 - Parte 2. Definiciones y descripciones
 - UNE EN 62541. OPC Unified Architecture. Se trata de un protocolo de interoperabilidad y comunicación industrial M2M desarrollado por OPC Foundation.
 - IEC/TR 62837:2013 proporciona a los comités técnicos un escenario para el desarrollo y adaptación de documentos de cara a mejorar la eficiencia energética en la fabricación, el control de los procesos y la gestión de las instalaciones industriales.

En el siguiente esquema se encuentra algunas de las referencias principales aplicables a cada nivel.



Normas alineadas con la referencia ISA 95

7. Fuentes y bibliografía:

7.1. Referencias Arquitectura ISA 95

Industria inteligente/digital (4.0), IoT, Big Data, ... y los actuales ERP. Sergio Martínez. Mundo.erp. <http://mundoerp.com/blog/industria-inteligentedigital-4-0-iot-big-data-y-los-actuales-erp/>. 17 Enero 2016 [Consulta: 6 Julio 2016]

ERP and Big Data: The Inept Couple. Ahmed Elragal. DOI: 10.1016/j.protcy.2014.10.089. December 2014. [Consulta: 8 Julio 2016]

- Capítulo III. Sistemas integrados de gestión. Ministerio de fomento. Año 2005
- Análisis de la Integración de los Sistemas MES – ERP en industrias de manufactura. Año 2009.
- Work Process Management for Adaptive Manufacturing. White paper 36 Mesa International.
- <http://www.elara.es/noticias/el-papel-de-los-sistemas-de-gestion-de-planta-en-la-industria-4-0/>
- <http://www.emb.cl/electroindustria/articulo.mvc?xid=166&tip=7>
- <http://www.elara.es/>. Pagina web con diferentes webinar sobre industria 4.0
- <http://www.mesa.org/en/index.asp> Manufacturing Enterprise Solutions Association
- www.sisteplant.com. Tecnoiplant de Sisteplant
- <http://revistadigital.inesem.es/gestion-integrada/claves-diferencia-mes-erp/> Diferencias entre ERP y MES
- <http://www.automationworld.com/mes-mom/mes-vs-mom-whats-name>. MOM vs MES
- Análisis sectorial de implantación de las TIC en la pyme española: <http://observatorio.aimme.es/informes/ficha.asp?id=10053&area=197&area2=0&area3=0>
- Applying Manufacturing Execution Systems. Michael McClellan
- <https://law.resource.org/pub/in/bis/S05/is.iec.62264.1.2003.pdf>
- The Concept of a Real-Time Enterprise in Manufacturing: Design and ...
- Pag. Web de interés: <http://www.manufacturing-operations-management.com/manufacturing/2014/02/mes-versus-mom-terminology-confusion-helping-cross-the-chasm-not.html>
- Manufacturing Execution System - MES editado por Jürgen Kletti
- Norma isa 95-00.04 <http://download.csdn.net/detail/windwind120/5082575>
- <http://www.aptean.com/es/assets/pdfs/resources/documents/APTMESGBWPDesbancandoelMitoES.pdf> (artículo que diferencia mes and mom)

7.2. Referencias Bases de Datos

2013. Bases de datos avanzadas. María José Aramburu Cabo e Ismael Sanz Blasco. Colección Sapientia, 73. UJI.

2011. Bases de datos. Mercedes Marqués. Col·lecció Sapientia, 18. UJI.

2002. Diseño de Sistemas de Bases de Datos. Merche Marqués.

ODBC

[https://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms714591\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms714591(v=vs.85).aspx)

[https://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms714587\(v=vs.85\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms714587(v=vs.85).aspx)

JDBC

<http://www.oracle.com/technetwork/java/overview-141217.html>

<http://www.oracle.com/technetwork/java/javase/tech/index-jsp-136101.html>

ADO .NET

[https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms973217\(d=printer\).aspx](https://msdn.microsoft.com/en-us/library/ms973217(d=printer).aspx)

SQLXML

[https://technet.microsoft.com/es-es/library/ms345117\(v=sql.90\).aspx](https://technet.microsoft.com/es-es/library/ms345117(v=sql.90).aspx)

SQL Native Client Programming

[https://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms130892\(v=sql.120\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms130892(v=sql.120).aspx)

[https://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms130828\(v=sql.120\).aspx](https://msdn.microsoft.com/es-es/library/ms130828(v=sql.120).aspx)

7.3. Referencias Sensores Inteligentes

7.3.1. Referencias opción TED + Std 1451

[1] https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_1451

[2] <http://www.automation.com/library/articles-white-papers/sensors-sensing-technologies/the-status-of-ieee-1451.4-plug-and-play>

[3] http://www.sensorsportal.com/HTML/SENSORS/TEDS_SensManuf.htm

[4] http://www.modalshop.com/industrial.asp?P=TEDS_Sensor_Interface_Kit&ID=20

[5] <http://www.pcb.com/ShopSensors>

[6] <http://www.eletrica.ufpr.br/anais/cba/2012/Artigos/100096.pdf>

[7] <http://eesensors.com/products/ieee-1451.html>

[8] <https://www.hbm.com/en/3214/plug-and-play-in-production-monitoring-intelligent-sensors-ensure-rapid-setup-times-and-drastic-cost-savings/>

[9] <http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/5143C57CB50089C886256C8B00596A4B>

7.3.2. Referencias Opciones comerciales Sensores + Ethernet

[10] http://www.hw-group.com/products/HWg-STE/STE_ip_temperature_sensor_es.html

<https://www.hbm.com/en/3214/plug-and-play-in-production-monitoring-intelligent-sensors-ensure-rapid-setup-times-and-drastic-cost-savings/>

<http://www.automation.com/library/articles-white-papers/sensors-sensing-technologies/the-status-of-ieee-1451.4-plug-and-play>
http://www.sensorsportal.com/HTML/SENSORS/TEDS_Sensors.htm
<https://ec.europa.eu/programmes/horizon2020/en/news/how-plug-and-produce-concepts-can-revolutionise-factory-floor>
http://www.sensorsportal.com/HTML/SENSORS/TEDS_SensManuf.htm
https://en.wikipedia.org/wiki/IEEE_1451
<https://www.proges.com/es/plug-and-track/sondas-de-temperaturas-en-tiempo-real/sondas-de-temperatura.html>
<http://www.controltemp.es/productos/termopares-y-sondas-de-temperatura/sondas-y-sensores-ethernet/sondas-y-sensores-ethernet-controltemp-detail.html>
<http://www.darkaysolutions.com/sensores-de-temperatura-y-humedad-para-red-ethernet/>
<https://www.proges.com/es/plug-and-track-es/monitoring-en-tiempo-real/sensor-net-connect.html>
<https://www.proges.com/en/plug-and-track-en/live-monitoring/ethernet-sensors.html>
http://www.ditecom.com/monitorizacion_IP/control-temperatura-por-ip.shtml
http://www.hw-group.com/products/HWg-STE/STE_ip_temperature_sensor_es.html
<http://www.pce-iberica.es/medidor-detalles-tecnicos/instrumento-de-vibracion/sistema-inalambrico-vibracion-pce-vms-504.htm>
<http://internetofthingsagenda.techtarget.com/tip/Smart-sensors-are-changing-the-world-for-manufacturers>
<http://internetofthingsagenda.techtarget.com/feature/IoT-sensor-selection-Find-the-best-sensor-for-your-apps-needs>
<https://electrocrea.com/pages/faq>
<http://www.cometsystem.com/products/reg-P8510>
<http://gridconnect.com/temperature-data-logger.html>
<http://gridconnect.com/sensors-i-o/remote-io.html>
<https://web.ua.es/es/smart/smart-sensors.html>
<http://es.slideshare.net/PranayMondal/introduction-to-smart-sensors-its-application>
<http://es.slideshare.net/nitigga92/11-27158204>
<http://digital.ni.com/public.nsf/allkb/5143C57CB50089C886256C8B00596A4B>
<http://www.cuenta-personas.es/sensores/>
<https://hackaday.io/project/3380-iot-ethernet-sensor-using-power-over-ethernet>
<http://www.pce-iberica.es/hoja-datos/hoja-datos-pce-wms-1.pdf>
http://www.ni.com/dataacquisition/sensor_measurements.htm
<http://gridconnect.com/sensors-i-o.html>
<https://www.minicircuits.com/pdfs/PWR-8GHS-RC.pdf>
<https://www.hbm.com/en/3868/data-recorder-gen3i-and-transient-recorder/>