



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



UNIVERSITAT POLITÈCNICA DE VALÈNCIA

Escuela Técnica Superior de Ingeniería Industrial

TRANSFORMACIÓN HACIA LA INDUSTRIA 4.0 DE UNA
FACTORÍA DE AISLADORES ELECTROCERÁMICOS

Trabajo Fin de Máster

Máster Universitario en Ingeniería Avanzada de Producción,
Logística y Cadena de Suministro

AUTOR/A: Carbó Martínez, Víctor

Tutor/a: Boza García, Andrés

CURSO ACADÉMICO: 2022/2023



UNIVERSITAT
POLITÈCNICA
DE VALÈNCIA



ESCOLA TÈCNICA
SUPERIOR ENGINYERIA
INDUSTRIAL VALÈNCIA

Escola Tècnica Superior d'Enginyeria Industrial
Universitat Politècnica de València

TRANSFORMACIÓN HACIA LA INDUSTRIA 4.0 DE UNA FACTORÍA
TIPO DE AISLADORES ELECTROCERÁMICOS

Trabajo Fin de Máster

**Máster Universitario en Ingeniería Avanzada de
producción Logística y Cadena de Suministro**

Autor: Víctor Carbó Martínez

Tutor: Andrés Boza García

Haga clic aquí para escribir texto.

Resumen

La necesidad de mejorar tanto en los procesos productivos como en el servicio de una empresa que se dedica a la fabricación y comercialización de aisladores electrocerámicos será el objeto de este trabajo. Para ello se encuentra con una fábrica cuya problemática principal es la falta de automatización en sus procesos productivos, lo cual le limita el ser competitivo en un mercado cada vez más exigente.

El objetivo que se persigue es, por lo tanto, dar una propuesta de automatización para los procesos productivos de dicha fábrica.

Para conseguir dicho objetivo hay que centrarse en la implementación de las primeras etapas de la Industria 4.0 que son la informatización, conectividad y visualización. Con ello se están dando los primeros pasos para alcanzar una empresa totalmente digitalizada inteligente y con capacidad predictiva, que sea además capaz de generar autónomamente decisiones que puedan adoptarse ágilmente. Con ellos se está creando una industria inteligente y adaptable, en tiempo real, a los cambios.

Se puede afirmar que, en parte, las tecnologías en las que se apoya el desarrollo de la Industria 4.0 son utilizadas ya por las grandes empresas. No obstante, las PYMEs (las pequeñas y medianas empresas) se encuentran en general muy desfasadas con respecto a éstas. Se llega a la conclusión por lo tanto que cada vez es un hecho más imperativo que las empresas PYMEs como la que se está estudiando en dicho trabajo deben adoptar este tipo de medidas y de implementación de Industria 4.0 para ser cada vez más competitivas.



Abstract

The need to improve the production processes and the service of a company dedicated to the manufacture and sale of electroceramic insulators will be the object of this work. The main problem of the factory it is the lack of automation in the production processes, which limits the competitiveness of the factory in an increasingly demanding market.

The objective pursued is, therefore, to give an automation proposal for the production processes of the factory.

To achieve this objective, it is necessary to focus on the implementation of the first stages of Industry 4.0, which are computerization, connectivity and visualization. With this, the first steps are being taken to achieve a fully digitized company that is intelligent and with predictive capacity, which is also capable of autonomously generating decisions that can be adopted quickly. With this, an intelligent and adaptable industry is being created, in real time, to changes.

It can be said that, in part, the technologies on which the development of Industry 4.0 is based are already used by large companies. However, SMEs (small and medium-sized enterprises) are generally far behind them. Therefore, it is concluded that it is increasingly imperative that SMEs such as the one being studied in this work, must adopt this type of measure and the implementation of Industry 4.0 in order to be increasingly competitive.

Contenido

1.- INTRODUCCIÓN	9
1.1.- OBJETIVOS.....	10
1.2.- METODOLOGÍA DE TRABAJO	11
2.- ESTADO DEL ARTE DE LA INDUSTRIA 4.0	13
2.1.- EL CONCEPTO DE INDUSTRIA 4.0.....	13
2.2.- TECNOLOGÍAS EN LAS QUE SE APOYA SU DESARROLLO.....	15
2.3.- RETOS E IMPACTOS DE LA IMPLANTACIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0 EN ESPAÑA	21
2.4.- ETAPAS DE DESARROLLO HACIA LA INDUSTRIA 4.0.....	25
2.4.1.- Informatización	27
2.4.2.- Conectividad	27
2.4.3.- Visualización.....	28
2.4.4.- Transparencia	29
2.4.5.- Capacidad Predictiva	30
2.4.6.- Adaptabilidad	30
2.4.7.- Evolución de las “Entidades” de la Empresa en su transición hacia la Industria 4.0.....	31
2.5.- INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIONES ASOCIADA A LA INDUSTRIA 4.0.....	33
2.5.1.- Control de los Procesos de Producción Industrial: Tipología y Niveles de Automatización y de Integración.	33
2.5.2.- Redes de Comunicación Industrial.....	42
2.5.3.- Visualización de los procesos: El Gemelo Digital.	71
2.5.4.- Big Data, Inteligencia Artificial (I.A.) y Machine Learning (M.L.).....	76
3.- PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS ETAPAS DE INFORMATIZACIÓN, CONECTIVIDAD Y VISUALIZACIÓN EN UNA FACTORÍA DE AISLADORES ELECTROCERÁMICOS.	80
3.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN ACTUAL EN UNA FACTORÍA TIPO DE AISLADORES CERÁMICOS.....	80
3.2.- PROPUESTA DE MEJORA DE LA INFORMATIZACIÓN, CONECTIVIDAD Y VISUALIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN.....	84
3.2.1.- Metodología a emplear.....	85
3.2.2.- Ámbitos de información básica del Nivel 0 de la Pirámide CIM a cubrir en cada sección del Proceso de Fabricación.	87



3.2.3.- Redes de Comunicación para la Integración de los Niveles de la Pirámide CIM.....	98
4.- CONCLUSIONES.....	107
BIBLIOGRAFÍA.....	110
RECOPIACIÓN DE SIGLAS.....	113

LISTA DE TABLAS

- TABLA 1: Datos mínimos requeridos por la sección de Preparación de Composiciones, para sentar las bases del Gemelo Digital del Proceso Global de Fabricación Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020. Elaboración propia.
- TABLA 2: Datos mínimos requeridos por la sección de Prensado, para sentar las bases del Gemelo Digital del Proceso Global de Fabricación Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020. Elaboración propia.
- TABLA 3: Datos mínimos requeridos por la sección de Extrusionado, para sentar las bases del Gemelo Digital del Proceso Global de Fabricación Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020. Elaboración propia.
- TABLA 4: Datos mínimos requeridos por la sección de Conformado, para sentar las bases del Gemelo Digital del Proceso Global de Fabricación Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020. Elaboración propia.
- TABLA 5: Datos mínimos requeridos por la sección de Barnizado, para sentar las bases del Gemelo Digital del Proceso Global de Fabricación Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020. Elaboración propia.
- TABLA 6: Datos mínimos requeridos por la sección de Cocción, para sentar las bases del Gemelo Digital del Proceso Global de Fabricación Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020. Elaboración propia.
- TABLA 7: Datos mínimos requeridos por la sección de “Controles, Ensamblaje y preparación para su Almacenado”, para sentar las bases del Gemelo Digital del Proceso Global de Fabricación Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020. Elaboración propia.



LISTA DE FIGURAS

- FIGURA 1: Cronología de las Revoluciones industriales. Fuente: DFKI (Centro Alemán de Investigación de Inteligencia Artificial).
- FIGURA 2: Modificación de las relaciones en la Producción Industrial. Fuente: BCG (The Boston Consulting Group).
- FIGURA 3: Las nueve Tecnologías que transforman la Producción Industrial. Fuente: BCG (The Boston Consulting Group).
- FIGURA 4: Reacción de una Compañía Convencional ante un evento no planificado. Fuente: European 4.0 Transformation Center-RWTH Aachen Campus.
- FIGURA 5: Reacción de una Compañía Ágil ante un evento no planificado. Fuente: European 4.0 Transformation Center-RWTH Aachen Campus.
- FIGURA 6: Pasado y futuro de los retos industriales. Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo (2014).
- FIGURA 7: Valoración de determinadas afirmaciones sobre el impacto que puede tener la implementación de la Industria 4.0. Fuente: Cámara de Comercio de Barcelona e IDESCAT (Instituto de Estadística de Cataluña). CLEM (Encuesta del Clima Empresarial) (2017).
- FIGURA 8: Etapas en el desarrollo de la Industria 4.0. Fuente: European 4.0 Transformation Center-RWTH Aachen Campus.
- FIGURA 9: Incidencia de las etapas de desarrollo de la Industria 4.0 en las Factorías Virtual y Smart. Fuente: Zakoldaev, D.A. y otros, 2019.
- FIGURA 10: Niveles de automatización de los procesos industriales. Fuente: Mallol, J.G., 2006.
- FIGURA 11: Pirámide CIM de Automatización. Fuente: Lozano, M. y Zamora R., 2008.
- FIGURA 12: Concepto RAMI. Fuente: Tecnológico de Monterrey, 2015.
- FIGURA 13: Tipologías más comunes de medio guiado. Fuente: ABB Electrification en España.
- FIGURA 14: Topologías de red de comunicaciones.
- FIGURA 15: Algunos tipos de conectores utilizados en las redes industriales: HDC (High Density Connector), FC (Ferrule Connector), SC (Subscriber Connector).
- FIGURA 16: Pasarela o Gateway.
- FIGURA 17: Tipologías de Protocolo más comunes. Fuente: ABB Electrification en España.
- FIGURA 18: Niveles de Comunicación Industrial. Fuente: Caler, R., 2015.
- FIGURA 19: Protocolos más habitualmente utilizados. Fuente: Caler, R., 2015.
- FIGURA 20: Esquema de funcionamiento Sensor-Controlador-Actuador. Fuente: Universidad Carlos III, Actuadores.
- FIGURA 21: Esquema de la disposición de los elementos de medida en un molino continuo industrial. 1: Densímetro/Caudalímetro; 2: Viscosímetro . Fuente: Mallol, J.G., 2006.
- FIGURA 22: Densímetro de efecto Coriolis. Fuente: Mallol, J.G., 2006.
- FIGURA 23: Cableado convencional frente a Bus de Campo. Fuente: Hurtado, J.M., 2015.
- FIGURA 24: Ejemplo de Bus de Campo AS-i. Fuente: Hurtado, J.M., 2015.

- FIGURA 25: Ejemplo de Red de Comunicaciones CAN en un automóvil. Fuente: Caler, R., 2015.
- FIGURA 26: Arquitectura del MODBUS/TCP. Fuente: Hurtado, J. M., 2015.
- FIGURA 27: Diferentes versiones PROFIBUS y principales características. Fuente: Hurtado, J. M., 2015.
- FIGURA 28: Los hitos en la evolución de las comunicaciones industriales y los marcos tecnológicos relacionados. Fuente: Wollschlaeger, M. y otros, 2017.
- FIGURA 29: Módulos habitualmente disponibles en una solución ERP para la gestión de recursos.
- FIGURA 30: Esquema de automatización e integración de un proceso industrial tipo, según los niveles de la pirámide CIM. Fuente: Siemens, 2013.
- FIGURA 31: Modelo del Gemelo Digital de un proceso físico de fabricación. Fuente: Deloitte University Press.
- FIGURA 32: Grados de integración entre los procesos físico y digital en el camino hacia el Gemelo Digital. Fuente: Mallol, J,G. y otros,2020.
- FIGURA 33: Arquitectura conceptual del Gemelo Digital. Fuente: Deloitte University Press.
- FIGURA 34: Relación entre la IA, ML y DL. Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020.
- FIGURA 35: Esquema de las fases de fabricación de una Factoría Tipo actual de aisladores eléctricos porcelánicos Fuente: Porcelanas Industriales, S.A. (POINSA).
- FIGURA 36: Filtro Prensa Hidráulico.
- FIGURA 37: Extrusión de soportes para aisladores eléctricos porcelánicos.
- FIGURA 38: Operación de torneado de los soportes.
- FIGURA 39: Fase de barnizado de los soportes torneados.
- FIGURA 40: Cocción de los soportes.
- FIGURA 41: Esquema del funcionamiento del Sistema de Trazabilidad. Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020.
- FIGURA 42: Redes de Comunicación para la integración de los Niveles CIM de la Factoría tipo de aisladores electocerámicos. Elaboración propia.



1.- INTRODUCCIÓN

El concepto de Industria 4.0 aparece al comienzo de la última década. El término fue inicialmente establecido por el Gobierno Alemán, englobando una serie de iniciativas encaminadas a mantener la competitividad de la Industria Alemana. Su denominación expresa la idea de que se está en el umbral de la Cuarta Revolución Industrial. Se trata de superar así el marco de la Tercera Revolución Industrial, iniciada en la segunda mitad del Siglo XX y caracterizada por la aplicación de “nuevas tecnologías” en la producción industrial, representadas fundamentalmente por la electrónica, la informática y las energías renovables.

Los términos que, en cambio, se asocian ahora al camino a recorrer para alcanzar el nuevo paradigma que supone la Industria 4.0 son diferentes: digitalización, conectividad, visualización, transparencia, capacidad predictiva.... Estos conceptos son factibles de ser implantados en toda su amplitud en las empresas actuales, gracias al progreso que muestran hoy en día nociones muy potentes desde el punto de vista tecnológico: Big Data, Robótica, Ciberseguridad, Internet Industrial de las Cosas, la Nube, Realidad Aumentada,... Todo ello abre unas expectativas inmensas en cuanto a las capacidades del Sector Industrial, que alcanzan a toda su cadena de valor y al ciclo completo de vida de los productos.

No obstante, la acuñación relativamente reciente del término Industria 4.0, hace que en muchos casos éste sea desconocido para las empresas, muy especialmente las pequeñas y medianas empresas. En lo que se refiere a la situación de estas últimas en España, hay que reconocer que el proceso de transformación hacia ese objetivo se encuentra todavía dando, tímidamente, sus primeros pasos. En ello tienen mucho que ver un par de carencias y algún temor que se dan en el tejido industrial actual de las PYMEs, con respecto a ese proceso de transformación. Una de las carencias tiene que ver con la falta de perfiles profesionales en las empresas, adaptados a las necesidades tecnológicas ligadas a los cambios a introducir, incluso en las primeras etapas del camino hacia la Industria 4.0. La segunda carencia es la relacionada con la inversión a realizar, generalmente excesivamente alta para las capacidades reales de las PYMEs. Ambos aspectos negativos llevan a la conclusión del rol determinante que deben desempeñar las Administraciones Públicas para facilitar esa transición, especialmente en el marco de las pequeñas y medianas empresas industriales.

Otro efecto que puede llevar a controversia es el de la incidencia que tendrá la implantación de la Industria 4.0 sobre el empleo. Si bien, en este aspecto, hay que pensar que ocurrirá como en las anteriores revoluciones industriales. Puede que se produzca una cierta pérdida de puestos de trabajo a corto plazo, debida a la automatización de procesos. Pero, como en las anteriores, esta cuarta revolución industrial supondrá un aumento cualitativo de rentas a largo plazo, con la creación de nuevos puestos de mayor nivel técnico. Por lo cual se deberá velar por la formación continua del personal en todos los niveles.

La adaptación al nuevo paradigma de la Industria 4.0 va a llevar implícita, inevitablemente, una mejora en los parámetros vinculados a la competitividad de las empresas: eficiencia, costes, calidad y seguridad. Parece claro, pues, que la propia supervivencia futura de las empresas industriales va a estar condicionada por su capacidad de adaptación a ese nuevo paradigma. Procede, no obstante, no marcarse plazos excesivamente cortos e inalcanzables para las empresas que conforman el actual tejido industrial de las PYMEs. Se impone, además, una estrategia de aproximación paso a paso en ese camino de transformación hacia la Industria 4.0. Ese proceso, además, debe afectar lo menos posible a la buena marcha de las compañías. Términos básicos en una empresa como crecimiento y rentabilidad no deben verse afectados.

De acuerdo con estas premisas, se aborda aquí el caso de una PYME convencional dedicada a la fabricación de aisladores electrocerámicos. Se plantea en el marco del presente TFM una propuesta para avanzar en las primeras etapas de su transición hacia la Industria 4.0: informatización, conectividad y visualización.

1.1.- OBJETIVOS

No se conocen casos documentados, a los que se haya podido tener acceso, de proyectos concretos para PYMEs que contemplen mejoras en las etapas de digitalización y visualización, dirigidas explícitamente a avanzar en el desarrollo de la Industria 4.0.

Bien es cierto que la informatización o computerización se encuentra ya, en una mayor o menor medida, presente en la mayor parte de las compañías industriales. Hoy se pueden encontrar ya incluso en pequeñas empresas máquinas con interfaz digital. También puede afirmarse que, en ese entorno de las PYMEs industriales, los procesos pueden disponer en algunas etapas de monitorización y control ya automatizados. Si bien, en estos casos, el ámbito de la conexión permanece en el entorno de la máquina o pequeños grupos de máquinas. Es lo que se viene en llamar “Islas de Automatización”.

No obstante, incluso en estos casos, no tiene presencia el concepto de integración global que se persigue, en primer lugar, con la Industria 4.0. Además, esa interconexión ó integración parcial se queda meramente en variables referidas al funcionamiento directo de las propias máquinas, a través de dispositivos tipo PID (Controlador Proporcional, Integral y Derivativo) ó bien de autómatas programables como PLCs (Programmable Logic Controller).

Dicha integración global que se persigue debe contemplar, también, lo que se denominarán más adelante “variables de producto ó manipuladas”. Éstas son las que tienen incidencia en etapas sucesivas del proceso de fabricación. Una vez identificadas, pueden ser incorporadas a formulaciones complejas que permitan determinar las características idóneas a exigir a los productos intermedios y finales, del proceso de fabricación. Hoy por hoy, si alguna de estas variables viene ya incorporada en el control de alguna máquina, los datos que se toman de las mismas quedan como meros registros en aquella. Sin que sean utilizados posteriormente, precisamente por la falta de programas de integración en las empresas.



Con estas premisas, el presente TFM contempla, como objetivo, realizar un planteamiento de cuáles son los primeros pasos que debería dar una Compañía convencional mediana del sector industrial, en su largo camino de transformación hacia la Industria 4.0.

Entre las iniciativas oficiales concretas de ayuda a las PYMEs en ese camino destaca, como podrá comprobarse más adelante, la elaboración reciente de una guía de recomendaciones, destinada a las industrias del cluster del sector cerámico existente en la Provincia de Castellón.

Ésta es la razón por la que se ha elegido, para el desarrollo de este trabajo, el caso concreto de una Factoría tipo de fabricación de aisladores eléctricos cerámicos.

Se trata de plantear, a partir de la situación actual de la Factoría una propuesta que contemple avanzar, en esta fase, en la integración digitalizada de su producción. Sin perder de vista que el objetivo final es el de alcanzar un día la creación de una empresa totalmente digitalizada, inteligente y con capacidad predictiva, que sea además capaz de generar autónomamente decisiones que puedan adoptarse ágilmente. Por esta razón, ya en estos primeros pasos que suponen las mejoras a plantear en el ámbito del presente trabajo, se ha tenido en cuenta que la información de base a captar en máquinas y equipos de producción, vaya dirigida a la obtención de datos tanto de “variables de máquina” como, sobre todo, de “variables de producto ó manipuladas”.

1.2.- METODOLOGÍA DE TRABAJO

El TFM se estructura en dos partes diferenciadas:

- a) Síntesis de los conceptos relacionados con la Industria 4.0 y de los instrumentos tecnológicos necesarios para su implementación en las empresas.
- b) Propuesta para el establecimiento de las etapas de información, conectividad y visualización en una Factoría tipo convencional de aisladores electrocerámicos.

Con respecto a la primera parte, se comenzará con una breve reseña histórica de las tecnologías en las que se apoya el desarrollo de la Industria 4.0. Se continuará con las expectativas que genera y su situación actual dentro del sector industrial español. Se entrará después a analizar las diferentes etapas, reconocidas comúnmente, que se han de ir superando en el desarrollo de las empresas hacia la Industria 4.0.

El siguiente paso será abordar la infraestructura de comunicaciones asociada a su implementación. Comenzando con el control de los procesos industriales: tipología y niveles de automatización e integración de los sistemas de control.

Con respecto a la integración de los sistemas de control, se analizará con detenimiento el marco conceptual de la Pirámide CIM (Computer Integrated Manufacturing).

Posteriormente, se revisarán en detalle las redes de comunicación industrial: sensores y actuadores, redes de control de máquinas y equipos, así como los niveles de supervisión, de fábrica y de empresa.

Finalmente se hará reseña de conceptos muy ligados a la Industria 4.0, como es el caso del “Gemelo Digital”. Para terminar realizando una breve introducción a los que representan los estadios más avanzados en ese camino: Big Data, Inteligencia Artificial y Machine Learning.

Con respecto al segundo punto, se partirá de una descripción del proceso actual de producción, en el que se identificarán las etapas o secciones en que éste puede ser subdividido.

La propuesta de mejora a introducir en la Factoría, comenzará con la definición de ámbitos de información a cubrir, en el Nivel 0 de la Pirámide CIM, en la toma de datos de las diferentes secciones. Se identificarán aquellos que van a ser necesarios para ir avanzando en la automatización de las etapas del proceso de producción, así como en la capacidad de predicción autónoma de incidencias y de toma de soluciones en el mismo.

Se pasará posteriormente a plantear un esquema de red de comunicaciones para la integración de los diferentes niveles de la Pirámide CIM. Lo cual permitirá disponer ya de una imagen virtual completa del proceso físico de fabricación , que constituye el “Modelo Digital” con el que concluirá el objeto del presente trabajo.



2.- ESTADO DEL ARTE DE LA INDUSTRIA 4.0

En este apartado se define por una parte el concepto de la industria 4.0 en detalle y cuáles son los retos e impactos de la implantación de dicha industria en las PYMEs hoy en día en España.

Por otra parte se va a hablar de las diferentes etapas en las que consiste el desarrollo de la Industria 4.0, centrándose en su mayor medida en la infraestructura utilizada para la comunicación y conexión entre los diferentes niveles de la pirámide CIM. Todos los elementos definidos durante este apartado de redes de comunicación, serán los que se utilicen posteriormente para la medición, control e integración de los diferentes niveles de automatización de la pirámide CIM que están presentes en la factoría electrocerámica que aquí se contempla. Con ello se estará diseñando un esquema para la implantación de las primeras etapas del desarrollo de la industria 4.0 (informatización, conectividad y visualización) con el fin de obtener un modelo digital que será el objetivo de este TFM.

2.1.- EL CONCEPTO DE INDUSTRIA 4.0

El concepto de Industria 4.0, también conocida en España como “**Industria Conectada**” (Ministerio de Industria, 2014), está estrechamente ligado al de Cuarta Revolución Industrial.

La Figura 1 muestra las cuatro fases que, de forma comúnmente reconocida, conforman la evolución histórica de la industria.

Desde la segunda mitad del Siglo XVIII se han venido produciendo determinados hitos, ligados principalmente a avances tecnológicos de la actividad industrial, que han tenido como consecuencia cambios fundamentales tanto a nivel económico como social.

El primero de ellos se provoca en el Reino Unido con la invención de la máquina de vapor, que supuso el comienzo de la producción propiamente industrial. Este hecho cambió los paradigmas del trabajo manual o con aparatos rudimentarios, así como el de la tracción animal en el transporte. Los cuales habían estado siempre presentes hasta ese momento.

La incorporación de la máquina de vapor multiplicó la producción de bienes y facilitó de manera decisiva su transporte hasta los lugares de consumo.

La Segunda Revolución Industrial comienza hacia la segunda mitad del Siglo XIX con la aparición de nuevas fuentes de energía como el gas, el petróleo y, muy especialmente, la electricidad.

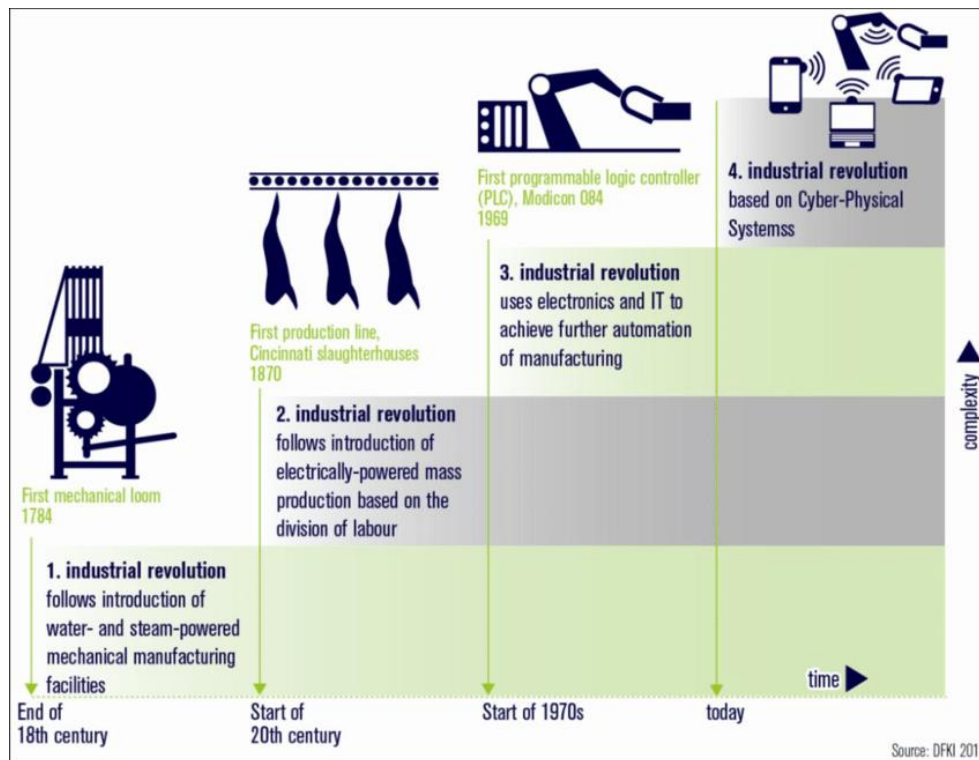


FIGURA 1 : Cronología de las revoluciones Industriales. Fuente : DFKI (Centro Alemán de Investigación de Inteligencia Artificial – 2011

Se prolonga durante la primera mitad del Siglo XX. Período en el que se incorporan nuevos sistemas de transporte (automóvil y avión) y de comunicaciones (teléfono y radio).

Este período se caracteriza principalmente por la gran difusión que experimenta la producción en cadena, así como por la definitiva internacionalización de la economía.

A partir de la segunda mitad del Siglo XX, hasta prácticamente ahora, se puede hablar de la Tercera Revolución Industrial. Sus características son bien conocidas: aplicación de nuevas tecnologías en la producción industrial (electrónica e informática) y empleo de energías renovables. A principios de la presente década aparece por primera vez el concepto de Industria 4.0, que expresa la idea de que nos encontramos en ciernes de la Cuarta Revolución Industrial.

El término Industria 4.0 fue inicialmente acuñado por el Gobierno Alemán. Describe y enmarca un conjunto de cambios tecnológicos en los procesos industriales. También establece las prioridades de una coherente Política Marco con el objetivo de mantener la competitividad en la Industria Alemana (ámbito Institucional).



2.2.- TECNOLOGÍAS EN LAS QUE SE APOYA SU DESARROLLO

Hoy puede afirmarse que, en parte, las tecnologías en las que se apoya el desarrollo de la Industria 4.0 están siendo ya utilizadas por las grandes empresas. Las pequeñas y medianas empresas se encuentran en general muy desfasadas actualmente respecto a ellas. En todo caso, el uso de esas tecnologías se reduce normalmente a células aisladas dentro de los procesos de producción de las empresas. Es misión de la Industria 4.0 integrar completamente esos procesos, automatizándolos y optimizándolos, con el objeto de incrementar su eficiencia.

Consecuencia de todo ello es que se transformarán seguro las relaciones existentes en la industria convencional entre suministradores, productores y clientes. Así mismo, esa transformación llegará a las relaciones existentes entre máquina y hombre (Figura 2)

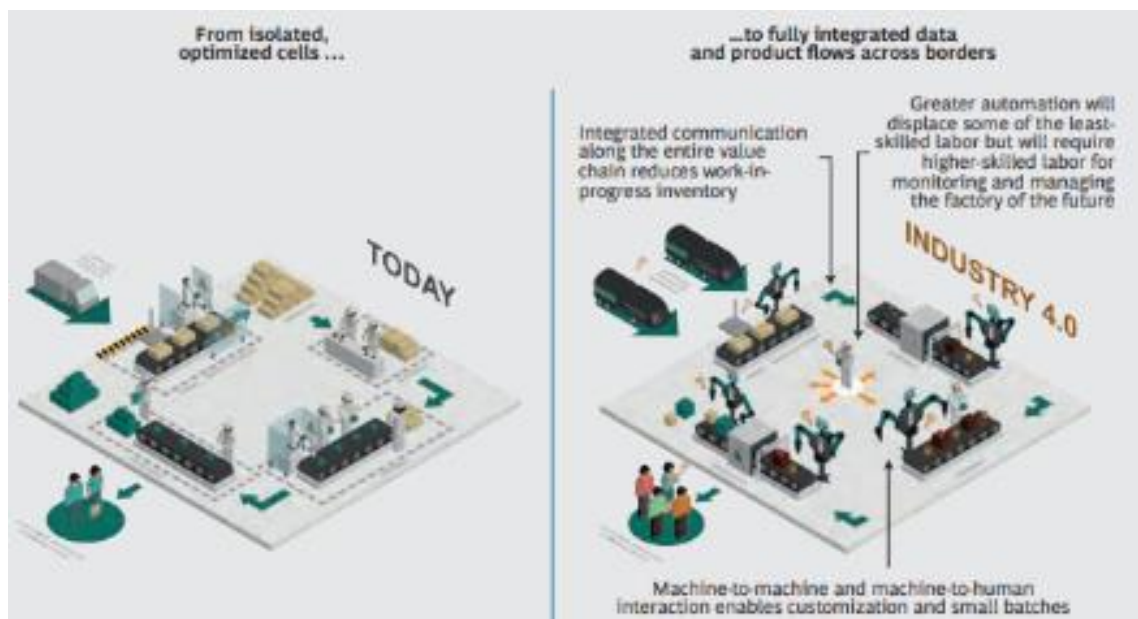


FIGURA 2: Modificación de las relaciones en la Producción Industrial. Fuente: BCG (The Boston Consulting Group)

Nueve son los pilares sobre los que se fundamenta el progreso tecnológico hacia la **Industria 4.0** (Ruessmann, M y otros, 2015), (Figura 3).

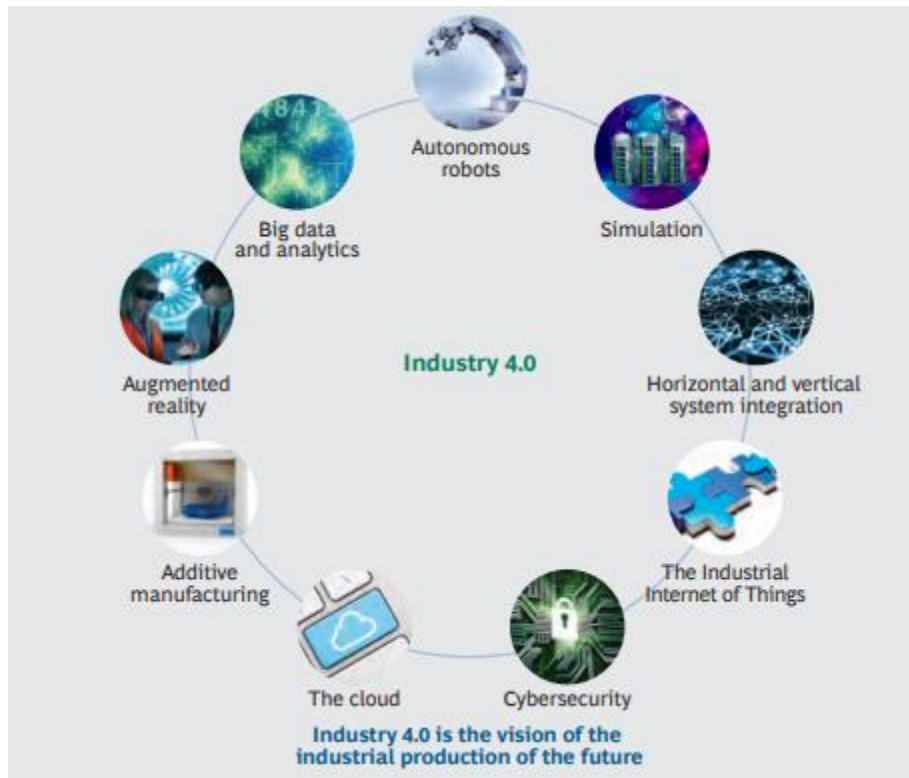


FIGURA 3: Las nueve Tecnologías que transforman la Producción Industrial. Fuente: **BCG** (The Boston Consulting Group).

1.- Big data and analytics:

El análisis apoyado en el manejo de un gran volumen de datos se está incorporando recientemente en los procesos productivos. Cuando esto ocurre se observa una mejora en la calidad de los productos, ahorro de energía y mejora en el servicio al cliente.

En el contexto de la Industria 4.0, la obtención y análisis de un gran número de datos, procedentes de diferentes fuentes (equipos de producción y sistemas de gestión de proveedores y de clientes), se convertirán en elementos imprescindibles para la toma de decisiones en tiempo real.

2.-Robots autónomos:

En la actividad de muchas industrias existe ya la tradición de utilización de robots para realizar operaciones que exigen cada vez mayor precisión. El mundo de la robotización progresa constantemente. Los robots mejoran en su autonomía, flexibilidad, en su trabajo integrado con otros robots y en su interacción con los humanos. La expectativa futura es que el coste de los robots se reducirá y se ampliarán sus capacidades actuales. Se estima que en la próxima década el precio tanto del hardware (robot físico), como del software, caiga alrededor de un 20% (Sirkin, H. y otros, 2015). Así mismo, en ese período, el crecimiento actual en número de unidades instaladas, cifrado en el 2-3% anual, pase a ser del 10% anual. Por su parte, el incremento anual de prestaciones de la robótica en el conjunto de los procesos industriales está alrededor del 5%. Lo que implica que este sistema de producción comience a ser pronto relevante también en las PYMEs.

3.- Simulación:

A nivel de ingeniería, las simulaciones 3-D de productos, materiales y procesos de producción son ya utilizadas actualmente. En un futuro cercano las simulaciones serán también extensamente utilizadas a la hora de ejecutar las propias operaciones físicas de una Planta de Fabricación. Permitirán además reproducir, en tiempo real, las actividades físicas del mundo real en un modelo virtual, que incluya tanto máquinas, productos y personas. Los operadores dispondrán de la posibilidad de elaborar pruebas y optimizar el funcionamiento de las máquinas en el mundo virtual, para la obtención de productos de mayor calidad en los procesos físicos.

4.-Integración horizontal y vertical de sistemas:

En la industria de hoy, la mayor parte de los sistemas de tecnología informática no se hallan totalmente integrados. Lo mismo ocurre con los diferentes departamentos de una Compañía: Ingeniería, Producción y Servicios. Tampoco las actividades básicas de las empresas se encuentran totalmente integradas. Siendo esto así, incluso, entre las propias de ingeniería.

Con la implantación de la Industria 4.0 tanto compañías y departamentos, como procesos de fabricación, actuarán con mucha mayor cohesión a todos los niveles. Las redes de integración global de datos permitirán la existencia de una verdadera cadena de valor automatizada.

5.- El Internet Industrial de las Cosas (IIoT):

En el momento actual, en lo que a los procesos de fabricación se refiere, puede afirmarse que solo algunos sensores y máquinas están conectados a las redes de datos integrados informáticamente. Con la implantación del "IIoT" y el uso de estándares tecnológicos puede asegurarse que, un mayor número de elementos y productos elaborados o semielaborados, mejorarán su calidad notablemente. Esta nueva infraestructura permite a los dispositivos de campo comunicarse e interactuar entre ellos, por un lado, y con sistemas de control centralizados por otro. Lo cual permite realizar análisis de cada fase de los procesos de producción, facilitando la toma de decisiones y, con ello, dar las respuestas oportunas en tiempo real.

6.- Ciberseguridad:

Muchas compañías confían todavía en sistemas de gestión y de producción no suficientemente protegidos. Pero el incremento de la conectividad y el uso de los protocolos de comunicación, que se utilizan en la Industria 4.0, obligan necesariamente a extremar la

Por lo tanto, asegurar y hacer más fiables las comunicaciones, con mejores sistemas de identificación y de gestión informática de máquinas y de usuarios, se convierte en esencial en el proceso de implantación de la Industria 4.0.

7.- La Nube:

Las compañías utilizan ya la “Nube” en algunas aplicaciones analíticas y de empresa. La Industria 4.0 supone, no obstante, un incremento importante de las interrelaciones entre los elementos de la empresa. Lo que requiere compartir un mayor volumen de datos, interna y externamente a la empresa.

Las tecnologías basadas en la Nube se hallan permanentemente en fase de mejora. Esto es fundamental a la hora de reducir tiempos de reacción ante cualquier evento. Hoy pueden cifrarse estos en algunos milisegundos. Resultado de ello será que las tareas informáticas se irán traspasando progresivamente a la Nube, lo que agilizará notablemente los procesos productivos.

Cabe pensar incluso que, a medio plazo, los sistemas de monitorización y de control de esos procesos puedan ubicarse directamente en la Nube.

8.- Fabricación aditiva:

Algunas pocas industrias han adoptado recientemente este concepto de fabricación aditiva, básicamente la impresión 3-D, para la fabricación de prototipos y de algunos componentes individuales de los procesos de producción.

Con la llegada de la Industria 4.0, estos métodos de fabricación aditiva se extenderán también a la ejecución de pequeños lotes de productos personalizados con diseños ligeros. La generación de estos métodos de fabricación permitirá reducir los costes de stockage y transporte, principalmente.

9.- Realidad Aumentada:

Los sistemas de Realidad Aumentada se encuentran en estos momentos en fase muy inicial. Permiten en cambio prestar una amplia variedad de servicios como, por ejemplo, actuando desde dispositivos móviles seleccionar cualquier tipo de elemento en un determinado almacén, o enviar instrucciones de reparación.

Así, por ejemplo, los trabajadores podrán recibir instrucciones de reparación, o de cómo reemplazar un determinado elemento, en su propio puesto de trabajo. Coincidiendo, además, con el punto preciso del proceso de producción en el que se produzca la necesidad de reparación. Para ello se utilizarán dispositivos tales como, por ejemplo, gafas de aumento de la realidad.



La **Industria 4.0** viene a describir, en definitiva, una organización de los procesos de producción basada en la tecnología y en dispositivos, que se comunican autónomamente entre ellos a lo largo de toda la cadena de valor (ámbito conceptual) (Smit, J. y otros, 2016).

En esta nueva etapa, la conectividad abarcaría a todos los elementos de la cadena de valor, superando los límites de cada empresa individual.

El objetivo final es que los sistemas conectados puedan interactuar entre ellos autónomamente, utilizando protocolos estándar basados en Internet, capaces de realizar análisis complejos de datos. De manera que permitan prever errores en los procesos, ser capaces de autoconfigurarse ellos mismos y adaptarse a posibles cambios (Blanco, R. y otros, 2017).

En otros términos, con la implantación de este nuevo concepto se pretende vincular el mundo físico (sensores, dispositivos, materiales, productos, maquinaria e instalaciones) con el mundo digital (sistemas). Con esta conexión y colaboración entre dispositivos y sistemas se habilita la creación de una Industria Inteligente, con producción descentralizada y adaptable, en tiempo real, a los cambios.

Si este desarrollo tecnológico se apoya además en una estructura organizativa adecuada de las empresas, la Industria 4.0 va a permitir a éstas responder con rapidez a las demandas de unos mercados cada vez más dinámicos. Se reducirán los tiempos de desarrollo de los productos, los cuales estarán a su vez más adaptados a las necesidades de los clientes (Schuh, G. y otros, 2017).

El aumento en la agilidad de respuesta ante cualquier eventualidad, va a estar en clara correspondencia directa con el beneficio o valor aportado por la adaptación. Una vez se ha producido el evento, la disminución de los plazos de percepción, análisis, decisión de la respuesta a tomar y puesta en ejecución de la misma, será una medida clara de ese beneficio (Figura 4).

Los eventos que ocurran pueden ser de múltiples características y tener una mayor o menor incidencia sobre la propia marcha de la planta o de la empresa. Puede estar hablándose por ejemplo de una avería, en cuyo caso se trataría de un evento a corto plazo. Pero también puede tratarse de modificaciones a incorporar en los productos, lo que podría afectar a su diseño, proceso de fabricación, suministros, calidad o servicios. Se trataría en este caso de eventos de medio o largo alcance.

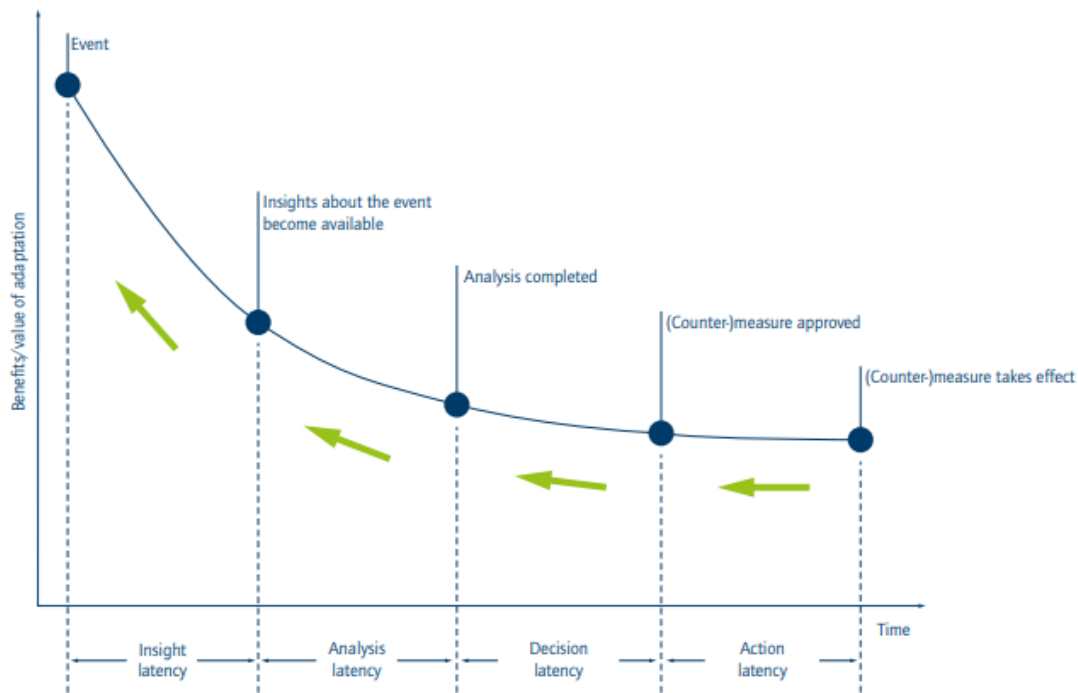


FIGURA 4: Reacción de una Compañía Convencional ante un evento no planificado. Fuente: European 4.0 Transformation Center-RWTH Aachen Campus.

A día de hoy, cuando se produce un evento, aparecen inevitablemente una serie de retrasos en su detección, análisis y aplicación de medidas correctoras. Esto es así ya que la información generada no se trata de manera suficientemente integrada. Lo que no permite automatizar los procesos de reacción a poner en marcha en cada una de las fases señaladas.

Los potenciales ligados a la Industria 4.0 pueden ayudar a reducir decisivamente el tiempo de latencia entre esas fases (Figura 5).

La comparación de ambas figuras permite observar el significativo incremento del beneficio, que aporta la adaptación de una empresa manufacturera a la Industria 4.0, frente a una empresa convencional, ante la aparición de un evento no planificado.



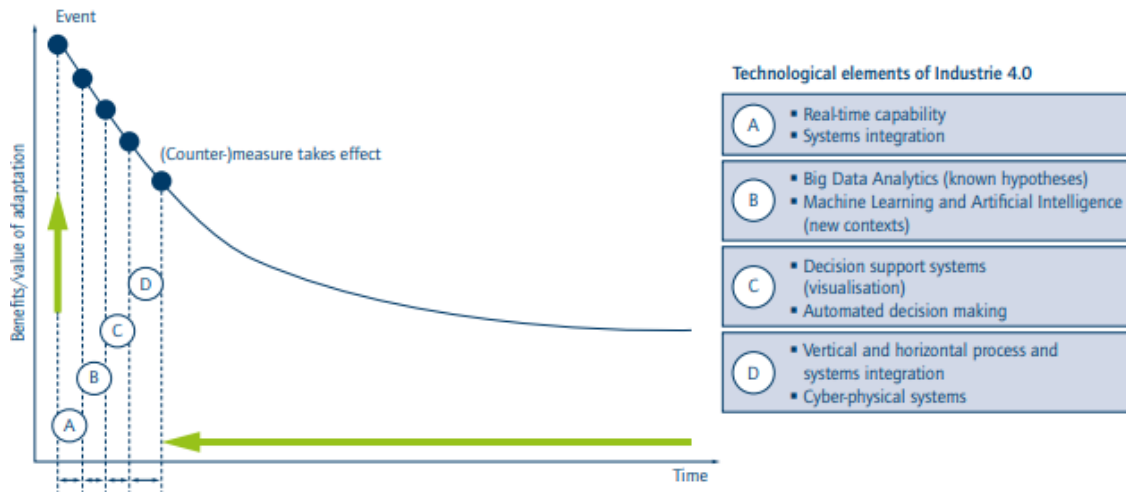


FIGURA 5: Reacción de una Compañía Ágil ante un evento no planificado. Fuente: European 4.0 Transformation Center-RWTH Aachen Campus.

2.3.- RETOS E IMPACTOS DE LA IMPLANTACIÓN DE LA INDUSTRIA 4.0 EN ESPAÑA

Los retos actuales de la industria en España inciden en el Proceso (diseño, fabricación, logística distribución, atención al público y servicios post-venta), en el Producto (en lo referente a su adaptación a las nuevas tendencias) y, finalmente, la combinación de ambos puede llevar a que se generen nuevos Modelos de Negocio (Ministerio de Industria, 2014).

A la hora de implantar la Industria 4.0 pueden concretarse una serie de retos de Proceso y de Producto. En la Figura 6 se recogen éstos, así como los puntos de partida en la situación actual y los objetivos que se pretenden alcanzar para cada uno de ellos.

Entre los retos reflejados aparecen de forma clara los conceptos de digitalización, conectividad-trazabilidad, agilidad y flexibilidad en las respuestas, adaptación al cliente, mejora continua,... En el cuadro se reconoce que se parte de situaciones bastante precarias en la actualidad, en la práctica totalidad de los retos. Reflejo del largo camino que necesitan recorrer en general las empresas para alcanzar los objetivos trazados.

Un plazo comúnmente aceptado para consolidar esta implantación en las PYMEs es el de cinco años. Parece lógico pensar que las herramientas y conceptos propios de la Industria 4.0 son más sencillos de aplicar en empresas que arrancan ahora, con nuevos modelos de negocio, que en las ya existentes. Pero la situación más común es ésta última. En el sector de las PYMEs nos encontramos a menudo con modelos de negocio consolidados, que atienden a su vez a mercados también muy concretos. Parece lógico pensar que en estos casos la transformación hacia la Industria 4.0 debe hacerse de manera gradual, progresiva y planificada.

Por otra parte, pasando ahora al terreno de las ventajas e inconvenientes que tiene el camino hacia la Industria 4.0, se establece un debate intenso acerca de los efectos positivos y negativos que la digitalización genera en la industria.

En la Figura 7 se sintetiza la respuesta que han dado las empresas catalanas consultadas, acerca del impacto que la implantación de la Industria 4.0 tiene sobre determinadas variables relevantes a tener en cuenta durante ese proceso.

	De...	Hacia...
1 Usar métodos colaborativos para potenciar la innovación	...innovación individual y continuista	...innovación involucrando varias empresas y clientes y disruptiva
2 Combinar flexibilidad y eficiencia en los medios productivos	... medios productivos no siempre eficientes y poco flexibles	... medios productivos eficientes, flexibles e incorporando inteligencia
3 Gestionar tamaños de series y tiempos de respuesta más cortos	... fabricación en serie con tiempos de respuesta largos	... tiradas y tiempos cada vez más cortos
4 Adoptar modelos logísticos inteligentes	... gestión logística reactiva	... gestión logística integrada e inteligente
5 Adaptarse a la transformación de canales (digitalización y omnicanalidad)	... canales tradicionales inconexos	... digitalización de canales y gestión omnicanal
6 Aprovechar la información para anticipar las necesidades del cliente	... reactividad frente a la demanda	... análisis predictivo de las necesidades del cliente
7 Adaptarse a la hiperconectividad del cliente	... información limitada y poco difundida	... información exhaustiva con valor
8 Gestionar la trazabilidad multidimensional extremo a extremo	... poco o ningún seguimiento y visibilidad sobre la elaboración del producto	... transparencia en la trazabilidad multidimensional de todo el proceso productivo
9 Gestionar la especialización mediante la coordinación de ecosistemas industriales de valor	... cadenas de valor lineales	... especialización y ecosistemas de valor
10 Garantizar la sostenibilidad a largo plazo	... poca sensibilización en sostenibilidad	... impacto ambiental del proceso productivo y producto minimizado
11 Ofrecer productos personalizados	... productos estándares	... personalización masiva de productos
12 Adaptar el portfolio de productos al mundo digital	... producto industrial tradicional	... evolución digital del portfolio de productos

■ Reto de proceso ■ Reto de producto

FIGURA 6: Pasado y futuro de los retos industriales. Fuente: Ministerio de Industria, Energía y Turismo (2014).

La falta de perfiles adaptados a las necesidades tecnológicas es la afirmación que ha supuesto mayor consenso en la Encuesta. Concretamente el 93% de las empresas consultadas están total o parcialmente de acuerdo con ella.

La segunda más apoyada es la de que la inversión requerida es demasiado alta para las capacidades reales de las PYMEs. Un 91% está total o parcialmente de acuerdo con esta afirmación.



Finalmente puede corroborarse que las respuestas dadas a las cuatro últimas afirmaciones, que tienen que ver con aspectos positivos de la implantación de la Industria 4.0, son total ó parcialmente en más del 85% de los encuestados.

A modo de conclusiones se puede destacar (Blanco, R. y otros, 2017):

- La Industria 4.0 generará una transformación tanto de oferta como de demanda.
- Las empresas industriales deberán disponer de recursos propios, o de acceso a financiación suficiente, para realizar las inversiones necesarias. Además deberán ser flexibles a los cambios.

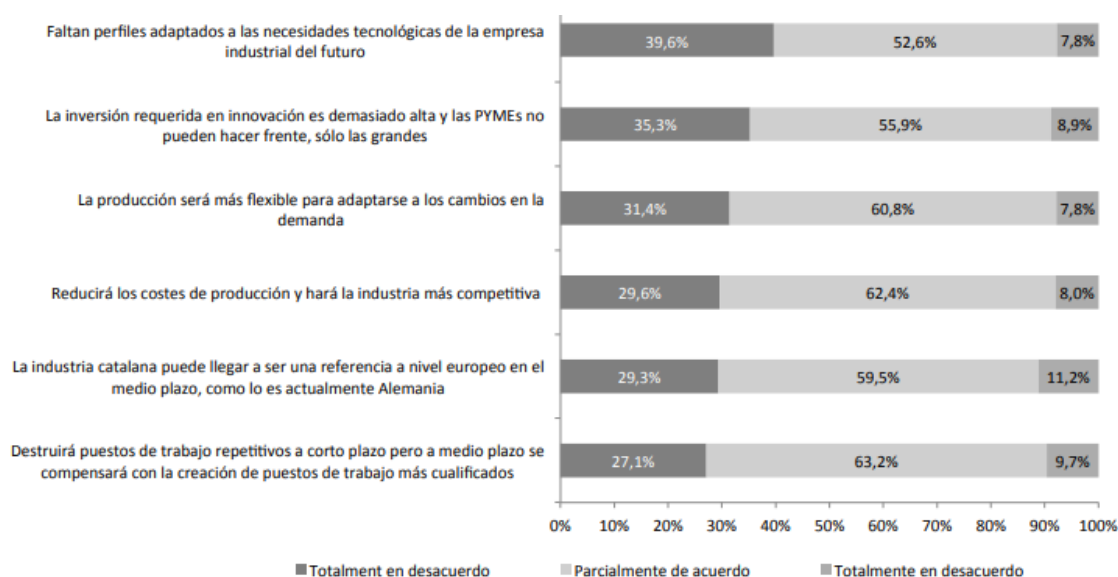


FIGURA 7: Valoración de determinadas afirmaciones sobre el impacto que puede tener la implementación de la Industria 4.0. Fuente: Cámara de Comercio de Barcelona e IDESCAT (Instituto de Estadística de Cataluña). CLEM (Encuesta del Clima Empresarial) (2017).

-Estas dos condiciones se relacionan directamente con el tamaño de la empresa. De ahí que el rol de la política pública deba ser facilitar la transición de las empresas pequeñas y medianas hacia la Industria 4.0.

-Otro efecto muy debatido de la Industria 4.0 es su incidencia sobre el empleo. Hay que pensar que con ésta ocurrirá como con las anteriores revoluciones industriales. Todas ellas supusieron un crecimiento económico y comparten un aumento cualitativo de rentas a largo plazo. En cuanto al empleo cabe, a corto plazo, una pérdida de puestos de trabajo para los que la automatización provoca un efecto de sustitución. Pero también existen otros puestos en los que la automatización complementa el trabajo humano. Procede, por lo tanto, hacer frente a las consecuencias de la digitalización con la formación continua del personal, tanto a nivel profesional como universitario.

Si se analiza el grado actual de implementación de la Industria 4.0 en España habría que reconocer que, especialmente en los que se refiere a las PYMEs, el proceso de transformación hacia ese objetivo se encuentra todavía en sus primeros pasos.

Además de las recomendaciones de tipo general, que se vienen impulsando desde las Instituciones Públicas para que las empresas adopten este nuevo paradigma, cabe destacar la existencia de iniciativas concretas en este sentido en los últimos años.

Una de ellas la constituye el diseño, desarrollo y aplicación de una Estrategia Industrial de Base denominada CEBRA+ (“Ceramic Brain”), promovida por actores tanto públicos como privados.

En este sentido, dentro de la “Agenda Industria 4.0” lanzada en 2017 el IVACE (Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial), Organismo de la Generalitat Valenciana, sugiere la necesidad de facilitar la digitalización en un área de alto potencial para su desarrollo: el **“Distrito Industrial de la Cerámica” en la Provincia de Castellón**. Se trata de un área industrial suficientemente significativa en la que existe un amplio cluster de empresas complementarias, pertenecientes a los diferentes escalones de la escala de valor de la producción cerámica (Hervás-Oliver, JL y otros, 2019).

El IVACE, a través de Fondos FEDER (Fondo Europeo de Desarrollo Regional), promovió la puesta en marcha de un grupo de trabajo compuesto por actores o agentes públicos y privados, procedentes del propio cluster industrial existente. El objetivo de CEBRA+ es el diseño de una nueva tecnología predominante que promueva y catalice la digitalización en ese Distrito Industrial.

Se distinguen tres tipos de agentes en esta iniciativa:

- 1.- El colectivo de actores que cooperan con IVACE en ese objeto de cambiar la tecnología y las instituciones. Se trata por un lado de ASCER (Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos), cuyas empresas asociadas representan más del 98% de la producción del sector. Por otra parte se encuentra ITC (Instituto de Tecnología Cerámica), organismo público de investigación, cuyo objetivo es promover actividades de Investigación y Desarrollo del cluster industrial implantado en esta Área.
- 2.- Firmas de diseño digital emergente (IT), creadas para dar soporte a la digitalización de los procesos.
- 3.- El propio Cluster de Empresas que potencialmente pueden acceder al conocimiento a medida que éste vaya desarrollándose.

El ITC diseñó y puso en marcha una plataforma de demostración de los avances reales de la digitalización, con el objetivo de favorecer la difusión de las nuevas tecnologías de producción en la industria cerámica. Para ello se apoyó y se hizo el seguimiento de la actividad en una de las empresas punteras del sector en el Distrito (COLORKER, S.A.).

Se puede decir que en estos momentos aún se está en el primer estadio del programa. Se está intentando llegar a un diseño predominante basado en la tecnología digital. El segundo escalón consistirá en difundir la arquitectura tecnológica que permita la digitalización de la Industria Cerámica.



Más recientemente, en 2020, la Generalitat Valenciana a través también del IVACE, e igualmente con Fondos Europeos FEDER de Desarrollo Regional, ha financiado vía ITC-AIC (Instituto de Tecnología Cerámica-Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas) la elaboración de una guía que facilite la transferencia de tecnologías de alto valor añadido a las plantas cerámicas, en cada fase del proceso de transformación en Industria 4.0.

Esta iniciativa se ha realizado conjuntamente por ASEBEC (Asociación de Fabricantes de Maquinaria y Bienes de Equipo para la Industria Azulejera). Es conocida como la **GUÍA ASEBEC 4.0.**

2.4.- ETAPAS DE DESARROLLO HACIA LA INDUSTRIA 4.0.

El camino hacia la Industria 4.0 implica habitualmente introducir una mejora significativa en las capacidades digitales de una compañía manufacturera. Entraña, además, la adopción de cambios organizativos en buena parte de la misma.

Hay que tener en cuenta además que, al tratarse de una transformación compleja, su implantación se prolongará normalmente durante varios años.

Con el objeto de que el proceso afecte lo menos posible a la buena marcha de la compañía, éste debe ser cuidadosamente planificado. Hay que asegurar que, durante todas las etapas de su implantación, se mantienen en la empresa los términos de crecimiento, eficiencia y rentabilidad. De hecho, las ventajas derivadas del proceso deberían ser bien visibles en todo momento, hasta conseguir el objetivo de transformación global.

Se impone una estrategia de aproximación paso a paso, hasta alcanzar el desarrollo completo de los parámetros que caracterizan a la Industria 4.0. El camino comprende seis etapas (Schuh, G. y otros, 2017) (Figura 8) que se analizarán en los siguientes apartados.

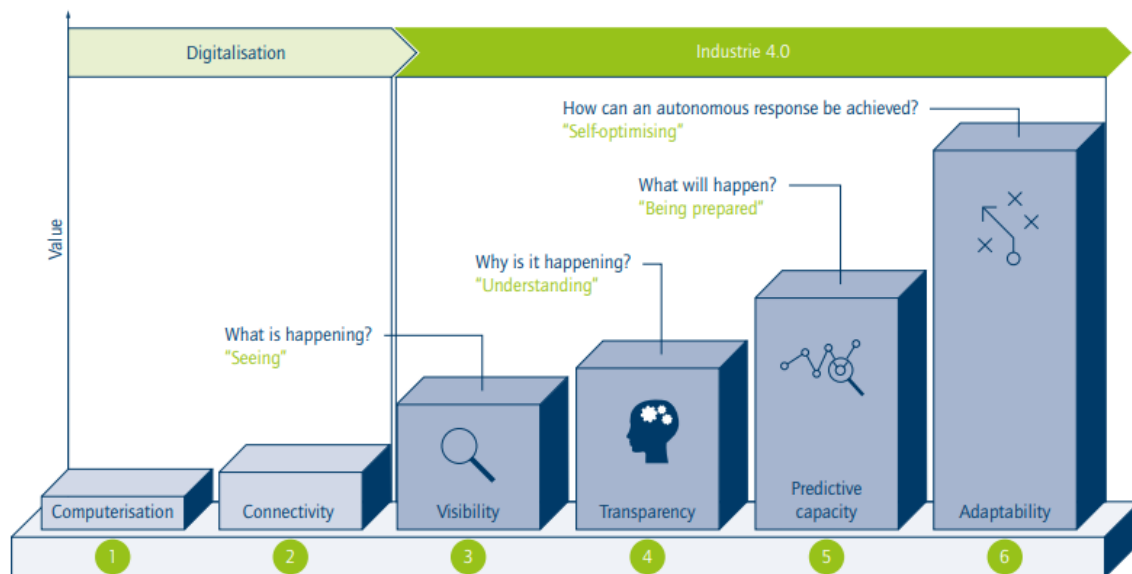


FIGURA 8: Etapas en el desarrollo de la Industria 4.0. Fuente: European 4.0 Transformation Center- RWTH Aachen Campus.

El proceso de transformación consta pues de un viaje de sucesivas etapas. Éstas pueden no encontrarse perfectamente sincronizadas en todos los elementos o departamentos de la Compañía: organización, plantas, líneas y células.

Resulta misión de la propia Compañía seleccionar, en cada momento, qué desarrollo concreto adoptar para optimizar el balance entre costes y beneficios. Hay que acompañar los pasos a dar a los recursos que se vayan disponiendo, así como marcar los propios objetivos temporales en cuanto a la culminación de cada etapa.

Hay que tener en cuenta que en España este proceso de transformación se halla en estado incipiente. Muchas compañías bien no lo han iniciado o se encuentran en fases iniciales de informatización. De hecho, en el camino presentado aquí las dos primeras etapas, Informatización y Conectividad, se consideran previas a las propiamente dichas de la Industria 4.0.

2.4.1.- Informatización

En esta etapa la tecnología de la información se utiliza en las máquinas, o en los procesos elementales de fabricación, de forma aislada. Es decir, no existe interrelación entre los dispositivos instalados, ni entre ellos ni con los del conjunto de la Compañía.

La informatización o computarización se encuentra ya presente en la mayor parte de las compañías. Resulta ser la forma de obtener máxima eficiencia en los trabajos elementales y repetitivos de los procesos de fabricación. Consiguiendo así abaratar los productos y alcanzando los estándares de calidad que hoy son exigidos.

No obstante, es aún posible encontrar hoy muchas máquinas sin interfaz digital. Esto es especialmente significativo en grandes máquinas de ciclo de vida útil largo, o en aquellas que son operadas hoy manualmente.

En estos casos pueden incorporarse terminales que provean la conexión entre estas máquinas y las aplicaciones de Planta o de Empresa.

Un caso de esta etapa de computarización lo representaría una máquina fresadora con CNC (control numérico computarizado). Puede hacer su trabajo con gran precisión; pero, al no estar conectada, cualquier nuevo diseño de corte a introducirle (CAD - Computer-Aided Design) debe hacerse manualmente.

Otro ejemplo lo representan aquellas aplicaciones de procesos que no se hallan conectadas con los sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) de la Compañía. Lo que lleva a que, por ejemplo, el control de calidad del producto que sale de la máquina se tenga que realizar con ensayos. Cuyos resultados deben ser introducidos manualmente para asociarlos a las correspondientes órdenes de fabricación. Lo que dificulta mucho hacer una trazabilidad correcta y garantizada de las mismas.

2.4.2.- Conectividad

En esta etapa la tecnología de información desplegada de forma aislada, es reemplazada por componentes conectados. Los diferentes dispositivos están conectados entre sí y trabajan siguiendo las instrucciones procedentes del cuadro de mando central de la Planta, o de la célula a la que pertenece la máquina.

Una parte de los sistemas de Tecnología Operacional (OT) proveen conexión e interoperatividad. No obstante, en esta fase la integración completa entre los sistemas de Tecnología de la Información (IT) y los diferentes estratos de OT no se ha producido todavía.

El Protocolo de Internet (IP) es ampliamente utilizado, incluso en los procesos elementales de base. Esto es así dado que la versión IPv6 permite obtener muchas más direcciones IP que la predecesora IPv4. Todos los componentes del proceso de fabricación pueden ahora ser conectados sin necesidad de acudir a traductores de Direcciones de Red (NAT -Network Address Translation). Lo que supone un paso esencial para el Internet de las Cosas (IoT).

La conectividad garantiza que, por ejemplo, una vez se ha diseñado un proceso (CAD), sus datos se trasladan automáticamente a producción (CAM - Computer-Aided Manufacturing). Con lo que se ejecuta inmediatamente el proceso de fabricación (CAD/CAM processes). Una vez elaborado el producto final, o el producto intermedio, llega una confirmación automática en tiempo real al software de control de la Planta (MES: Manufacturing Execution System).

Esto permite también realizar un seguimiento en remoto de los productos en mano de los clientes, a través de herramientas informáticas en manos de los productores. Ello gracias a la disponibilidad que existe hoy en día de conexiones a precios asequibles.

2.4.3.- Visualización

Los sensores están hoy muy extendidos en todos los procesos de fabricación industrial. Lo que permite disponer de una amplia cantidad de datos en todo punto y momento. Los precios hoy asequibles de sensores, microchips y redes tecnológicas facilitan que puedan registrarse en tiempo real todos los sucesos y estados del proceso productivo. Esto supone un salto cualitativo respecto a las fases de informatización y conectividad, en las que el registro de datos se realiza por máquinas aisladas o grupos limitados de ellas.

Ello hace posible disponer de **un modelo digital**, actualizado en todo momento, de todo el proceso de fabricación. Llegamos con ello a lo que viene en denominarse **“Gemelo Digital” o “Sombra Digital”** del proceso físico de fabricación.

Disponer de un Gemelo Digital es un importante reto que tienen muchas PYMEs en su camino hacia la Industria 4.0. Ayuda a mostrar qué es lo que está ocurriendo en el proceso físico en cualquier momento dado. Las decisiones de gestión de planta que se adopten pueden estar así basadas en datos reales y actualizados. Lo que resulta también fundamental para el resto de etapas del mencionado camino.

Un problema que se da no obstante a este nivel es que no existe normalmente una sola fuente de información, encontrándose por otra parte los datos derivados de ésta almacenados de forma descentralizada, en diferentes islas o archivos informáticos.

Además hay que tener en cuenta que, actualmente, en las diferentes áreas de muchas empresas (producción, administración, servicios,...) se recogen todavía relativamente pocos datos, y la visibilidad de éstos se reduce a un pequeño número de personal, ligado en cada caso al área o célula de la empresa circunscrito a su actividad. Lo cual es una traba en el proceso de transformación hacia una empresa ágil. Hacer extensiva transversalmente la accesibilidad de estos datos a lo amplio de la empresa, resulta esencial para el acierto en las decisiones a tomar, por parte de las distintas áreas de la misma, acerca del conjunto de operaciones que deben ser abordadas.

Sería posible así detectar y transmitir con rapidez las anomalías provocadas en los datos, por un problema o situación inesperada. Lo que permitiría, a su vez, planificar con agilidad la respuesta a dar y comunicarla inmediatamente a las áreas afectadas: centros de producción, servicios de la empresa, clientes, proveedores,...

Ésta etapa entraña el mayor cambio conceptual que han de realizar las PYMEs en su camino hacia la Industria 4.0. Se pasa de la mera captura de datos para incidir en una determinada operación, a la creación de un completo modelo digital de funcionamiento en tiempo real y continuo, de la planta de fabricación o incluso del global de la empresa.

La combinación de las actuales fuentes de datos existentes con sensores estratégicamente instalados en cada elemento de producción, así como con los softwares de gestión adecuados, en correspondencia con cada ámbito de análisis, PLM (Product Lifecycle Management – producto), MES (Planta), ERP (global empresa), permitirá visibilizar de forma integrada el estado global en cada momento.

2.4.4.- Transparencia

Tal como se ha comentado, la Etapa Tres implica la creación de un Gemelo Digital que reproduzca la actividad física de la empresa en tiempo real. El siguiente paso a dar por la empresa en su camino hacia la Industria 4.0, implica comprender por qué ocurre un evento y utilizar esta comprensión para realizar un análisis de sus causas, que amplíe el conocimiento del proceso de producción en todos sus componentes.

Con el objeto de identificar e interpretar correctamente las interacciones en el Gemelo Digital, los datos capturados deben someterse a las técnicas adecuadas de Ingeniería de Procesos. La conexión y contextualización de los datos, así obtenida tras el análisis, contribuirá a la formación del conocimiento necesario para abordar ágilmente complejas decisiones, referidas a los procesos de fabricación o de funcionamiento de la empresa.

Se comprende que, en esta fase, las nuevas tecnologías que se apoyan en el manejo de amplios volúmenes de datos, van a resultar extremadamente útiles. El “**Big Data**” es un concepto clave en este contexto.

El Big Data es utilizado para indicar que su análisis desborda los procedimientos convencionales. El término se identifica con aquellas tecnologías y aplicaciones que son capaces de procesar y combinar un enorme espectro y cantidad de datos heterogéneos.

En general, las aplicaciones Big Data se despliegan en paralelo a las aplicaciones de los sistemas de negocio, tales como MES y ERP. Además van a proveer de una plataforma común que manejará un ingente volumen de datos estadísticos, con el objeto de revelar las interacciones dentro del Gemelo Digital.

La transparencia del proceso de fabricación, derivada de estas interacciones, puede por ejemplo ser utilizada para monitorizar maquinaria, equipamientos y procesos.

Mantener un histórico importante de datos y parámetros resultará muy oportuno para, ante determinados eventos, establecer dependencias y escenarios que reproduzcan las condiciones que los mismos tienen sobre máquinas y equipamientos.

Esta fase de Transparencia crea la situación adecuada, igualmente, para abordar el mantenimiento preventivo de las instalaciones de la Planta.

2.4.5.- Capacidad Predictiva

Una vez construida la etapa de Transparencia, el siguiente paso a desarrollar es la Capacidad Predictiva. Tras alcanzar éste la Compañía va a ser capaz de simular futuros escenarios y estimar el más probable de ellos.

Esto implica proyectar el Gemelo Digital hacia el futuro, valorando los diferentes escenarios creados en función de las probabilidades que tienen de producirse. Con ello la Compañía puede anticiparse al futuro, por lo que puede abordar la toma de decisiones de forma documentada y a tiempo.

La posibilidad de generar escenarios posibles, en función de la probabilidad de que se produzcan, facilita así mismo la prevención de sucesos y, por lo tanto, se reduce el número de los que pueden darse de forma inesperada. Un ejemplo de esto último, sería la anticipación a interrupciones bruscas o desviaciones sobrevenidas de la planificación.

Teniendo éstos previstos, se pueden acortar también los tiempos de respuesta. Anticipar el fallo de un operador de la cadena de producción es, pues, uno de los objetivos a alcanzar en esta fase predictiva. Se trata con ello de que el elemento causante del problema sea cambiado antes de que la avería aparezca.

La capacidad predictiva de una Compañía depende pues de forma decisiva del trabajo previo que se haya hecho. Disponer por ello de un completo Gemelo Digital, combinado con el conocimiento de las interrelaciones relevantes, ayudará a asegurar que las previsiones y recomendaciones a realizar en materia de mantenimiento preventivo sean lo más acertadas posible.

2.4.6.- Adaptabilidad

Disponer de la capacidad predictiva es un requisito fundamental para **automatizar las decisiones y acciones a tomar**. La adaptación continua permite a una Compañía delegar ciertas decisiones a los sistemas de Tecnología de la Información (IT). Con ello se pueden abordar cambios lo más rápidamente posible en cualquier entorno de la línea de negocio o de producción.

El grado de adaptabilidad que puede adoptar una Compañía depende de la complejidad de las decisiones que se vea obligada a adoptar. También ésta se subordina a la relación coste-beneficio que implica su avance.

De hecho, a menudo puede resultar ventajoso automatizar únicamente procesos individuales. En todo caso, adoptar la automatización directa de los procesos repetitivos, debe estar ligado a tener contrastados un buen número de resultados.

También es importante evaluar cuidadosamente los riesgos que, la automatización de las aprobaciones de acción, puedan tener para los clientes y proveedores. Un ejemplo de ello sería el cambio de planificación de las órdenes de fabricación, ante la expectativa de fallos en las máquinas y sus consecuencias en cuanto a retrasos en la entrega de productos al cliente.



El objetivo de la Adaptabilidad puede considerarse alcanzado cuando, una Compañía, es capaz de tomar decisiones a partir de los datos que, aportados por el Gemelo Digital, resulten los más ventajosos posible para el proceso de producción. Siendo mínimo el tiempo de reacción para ello e implementándose, además, las medidas correspondientes de forma automática, es decir, sin necesidad de intervención humana.

2.4.7.- Evolución de las “Entidades” de la Empresa en su transición hacia la Industria 4.0.

Las etapas descritas en los anteriores apartados son actuaciones que deben de irse produciendo en los departamentos de la Empresa de hoy, para conseguir al final del trayecto crear un nuevo paradigma de empresa.

Teniendo en cuenta, por otra parte, que en cualquier industria hay implantado en mayor o menor medida, de forma dispersa, un cierto nivel de digitalización en paralelo con los procesos de producción, hay autores que distinguen tres tipos de factorías o “Entidades” dentro de la propia Empresa. Las cuales van conformándose y modificando su estructura funcional en paralelo al desarrollo de este proceso hacia la Industria 4.0 (Zakoldaev, D.A. y otros, 2019).

- En primer lugar se encuentra la **Factoría Digital** de la Industria 4.0:

Es la encargada de gestionar por un lado las acciones de Investigación y Desarrollo de la Empresa. Por otro, se responsabiliza de las actividades de diseño e implementación de los elementos de hardware y software, que irán conformando el portfolio de documentación técnica de Construcción CD (Construction Documentation) , Programas PD (Program Documentation) y Tecnológica TD (Technological Documentation), asociada al desarrollo de la infraestructura informática de la Empresa.

- En segundo lugar está la “**Smart Factory**” de la Industria 4.0:

Es la encargada de las actividades de producción. Su funcionamiento está conectado, a su vez, con las actividades de diseño mencionadas en la Factoría Digital.

Se trata de las diferentes líneas dedicadas a la producción en la Empresa, que van a ir equipándose con sistemas cyber-físicos de trabajo automático (CPS - Cyber Physical System). Estos sistemas están constituidos de equipamiento físico (máquinas) y su correspondiente “gemelo digital” virtual, almacenado por ejemplo en la “Nube” como un modelo matemático.

- El tercer tipo es la **Factoría Virtual** de la Industria 4.0.:

Es el objetivo último del desarrollo de la Industria 4.0, es decir, el nuevo tipo de empresa que se pretende crear. La Factoría Virtual contempla todas las funciones posibles (Ciclo Total de Vida) a desarrollar por la Empresa de forma automatizada: gestión de proveedores, clientes, servicios logísticos, marketing, proyectos, producción, explotación, reparación, mantenimiento,...



Atendiendo a esta clasificación de “Entidades” dentro de la Empresa, la (Figura 9) contempla la incidencia que sobre la Factoría Virtual y sobre la Smart Factory, van teniendo las sucesivas etapas de desarrollo de la Empresa en su camino hacia la Industria 4.0.



FIGURA 9: Incidencia de las etapas de desarrollo de la Industria 4.0 en las Factorías Virtual y Smart.

Fuente: Zakoldaev, D.A. y otros, 2019.



2.5.- INFRAESTRUCTURA DE COMUNICACIONES ASOCIADA A LA INDUSTRIA 4.0.

Tal y como se ha mencionado al principio del apartado 2, todos los elementos definidos durante este apartado de infraestructura de comunicaciones, serán los que finalmente se vayan a utilizar para la medición (variables de producto y variables de maquina) , control e integración de los diferentes niveles de automatización de la pirámide CIM que están presentes en la factoría electrocerámica que aquí se contempla. Con ello conseguiremos tener un esquema de un modelo digital completo y de esta manera se cumple con la propuesta de este TFM .

2.5.1.- Control de los Procesos de Producción Industrial: Tipología y Niveles de Automatización y de Integración.

En los primeros tiempos de la Revolución Industrial los sistemas mecánicos eran los elementos clave para el desarrollo de las actividades industriales. A comienzos del Siglo XX surgen los primeros sistemas de automatización, con la generalización de la energía eléctrica, y aparecen algunos elementos autómatas (relés electromagnéticos).

Por su parte, los sistemas electrónicos como tales son los que dominan la segunda mitad del Siglo XX. Lo que permite ya asociar el concepto de automatización a mejora de la calidad de producción, disminución de costes, mejora de las condiciones de seguridad en el trabajo, etc.

Con los **autómatas programables** aparecen ya las líneas de producción automatizadas. Éstos, además de mejorar la eficiencia de los procesos, permitieron facilitar enormemente su reprogramación, reemplazando los complejos sistemas eléctricos de relés y contactores. Se consiguió, así mismo, reducir el tamaño de los controladores de operación e incrementar la vida útil de los dispositivos.

La intercomunicación en los procesos industriales se ha confiado durante los dos últimos decenios a algunos sistemas, que han permitido dar respuesta a requerimientos medianamente complejos de conectividad. Se trata por ejemplo de los extendidos sistemas de conectores IEEE-488 (Institute of Electrical and Electronics Engineers), o a los estándares de comunicaciones y esquemas de transmisión RS 485/422.

Actualmente, con el nuevo horizonte que representa la Industria 4.0, la tasa de transferencia de datos entre los equipos no deja de crecer exponencialmente. Este tipo de enlaces entre sistemas ha quedado netamente desbordados. Las redes de comunicación están experimentando un desarrollo importante. Con ello se contribuye a satisfacer las necesidades de un entorno de integración global del funcionamiento, procesos, departamentos y agentes intervinientes en la Industria Manufacturera.

El objetivo es claro: mejora constante de los procesos de fabricación, trazabilidad completa de los mismos, eficiencia, reducción de costes, incremento de la calidad, flexibilización de los procesos, adaptabilidad a las exigencias de clientes y a las necesidades de los mercados.



La pregunta que puede hacerse es: qué diagnóstico puede hacerse sobre el punto de partida actual de las empresas manufactureras, en su camino hacia la integración global de su actividad, objetivo final de la Industria 4.0.

Hoy puede afirmarse que, incluso en el entorno de las PYMEs industriales, los procesos pueden tener algunas etapas en las que la monitorización y control están ya automatizados.

No obstante, el ámbito de la conexión permanece en el entorno de cada máquina o pequeños grupos de máquinas. Puede decirse que el proceso de fabricación está constituido por “**Islas de Automatización**”, entre las que no es precisa la existencia de intercomunicación entre ellas para que dicho proceso se lleve a cabo.

Para analizar en detalle el camino de integración global perseguido por la Industria 4.0, cabe identificar en primer lugar la tipología y los niveles de automatización y de integración, del control a implantar en los procesos de producción de la empresa.

2.5.1.1.- Tipología de sistemas de control.

En la Industria pueden encontrarse habitualmente **tres tipos de sistemas de control**. La relevancia de las tareas a realizar, o la mayor o menor facilidad para subdividir el control del proceso de fabricación, o del conjunto de máquinas dedicadas al mismo, van a determinar normalmente la elección de un tipo y otro de control (Hurtado, J.M., 2015).

- Control Centralizado:

En sistemas poco complejos el proceso de fabricación puede ser gestionado globalmente mediante un único elemento de control. Éste puede realizar el conjunto de tareas del proceso de fabricación, incluidas la monitorización y la supervisión.

En paralelo al crecimiento de las necesidades de intercomunicación entre los elementos del proceso, se han desarrollado elementos de control más potentes que los que representan estos sistemas centralizados. Consecuentemente se ha vuelto mucho más compleja la configuración de sensores y cableados, que facilitan el acceso de la señal a todos los actuadores.

En sistemas poco complejos este tipo de control tiene un coste más reducido en relación con otros. Otra ventaja es que así solo hay que planificar un único sistema de intercomunicación, entre los elementos del proceso de producción. Todas las señales se encuentran siempre gestionadas por el mismo sistema.

Una desventaja ligada a esta tipología de control deriva de que, precisamente al estar centralizado, la instalación se paraliza ante cualquier fallo del sistema. Esto obliga a disponer, por seguridad, de un sistema redundante.



Por otra parte, en función de la complejidad de los problemas a resolver, puede también hacerse necesario el empleo de unidades de control (autómatas programables), de mayor capacidad de actuación. Así, los buses de campo pueden simplificar la conexión de sensores y actuadores con la unidad de control. Pero las grandes dimensiones físicas que adquieren algunos procesos pueden obligar al aumento notable de los cableados. Lo que aconseja ir a otros sistemas de control diferentes del centralizado.

- **Control Distribuído:**

La viabilidad de esta alternativa está ligada a que sea posible definir un algoritmo autónomo de control en cada subproceso individual, o en cada una de las áreas funcionales en que pueda dividirse el proceso global de producción.

A cada unidad elemental de un subproceso, bien sea ésta un equipo o una operación, se le asignará un elemento de control (autómata) adecuado a sus necesidades. Dada la interdependencia entre estas unidades se ha de asegurar la interconexión adecuada entre autómatas. Lo que se consigue mediante entradas y salidas digitales o a través de una Red de Comunicaciones. En conjunto, todos estos elementos de control deben facilitar adecuadamente estas comunicaciones.

Este método de control permite simplificar los procesos relativos a cada unidad funcional, con respecto al proceso centralizado. Así mismo, permite el empleo de unidades de control más sencillas (autómatas programables normalmente) y, por lo tanto, más económicas. Con ello, también se reducen las posibilidades de cometer errores en la programación.

Por otra parte, si el fallo aparece en otra unidad de control, esto no supone necesariamente la paralización de toda la Planta.

La implantación de esta tipología es posible si se realiza un estudio de viabilidad previo. Es necesario identificar adecuadamente los procesos que son autónomos, asignarles los elementos correspondientes y diseñar un modelo de intercomunicación, apropiado, en cada uno de ellos.

- **Control Híbrido:**

No existe una definición precisa para este tipo de control. Es una forma de gestión de Planta a medio camino entre los controles Centralizado y Distribuido. Este caso se da normalmente cuando no es sencillo hacer una separación completa del proceso de Planta en subprocesos totalmente autónomos. Esto obliga a gestionar varios subprocesos de forma conjunta y centralizada. Ya que la complejidad que supondría la separación de éstos es mayor que la que supone su gestión conjunta.

Para este tipo de gestión son necesarias también las redes de comunicación. En estos sistemas Híbridos dicha gestión es estructurada, con elementos de control a distintos niveles. Los niveles superiores son los encargados de gestionar la información común. Desde éstos se van supervisando e intercomunicando los subprocesos, en sentido descendente, hasta llegar a los más sencillos.



Como conclusión de este apartado puede afirmarse que, en la actualidad, la tendencia es ir hacia sistemas industriales distribuidos. La simplificación y normalización de cableados se impone. Es el caso de los automóviles, que requiere de una gran cantidad de componentes de bajo coste, capaces de funcionar en entornos agresivos. Esto obliga a emplear sistemas distribuidos incorporados en el vehículo (ejemplo: bus CAN (Controller Area Network)).

2.5.1.2.- Niveles de Automatización de los sistemas de control.

Una primera forma de registrar la implantación del control en la Industria es a través de identificar sus niveles de automatización (Figura 10). El control totalmente manual ocuparía el nivel inferior. El control automático global de toda la Planta de fabricación se instalaría, por su parte, en el nivel superior (Mallol, J.G., 2006).

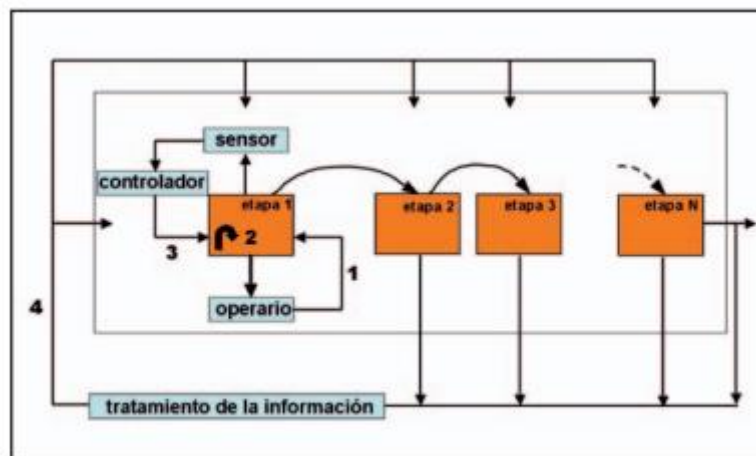


FIGURA 10: Niveles de automatización de los procesos industriales. Fuente: Mallol, J.G., 2006.

- Nivel 1: Control Manual.

El trabajador realiza directamente la medida de una o de varias variables. Siguiendo los manuales de especificaciones del producto en esa etapa, modifica y ajusta otra serie de variables.

Por ejemplo, es el caso en el que el contenido de humedad de un input o materia prima, se obtiene manualmente a través de una balanza de infrarrojos. Tras lo cual el operador responsable de la máquina actúa, consignando por ejemplo la temperatura correspondiente de un quemador, o sobre alguna otra variable.

- Nivel 2: Control Automático de las variables de Máquina.

Hoy en día, dada la complejidad de mucha de la maquinaria utilizada en la producción manufacturera, ya existen implantados de origen controles internos en buena parte de ella. Éstos están ligados a lo que se vienen en denominar “**Variabes de Máquina**”, en contraposición a las “**Variabes de Producto**”. Ya que, éstas últimas, están ligadas a las características del material que se elabora.

Por ejemplo, en el caso de una máquina “prensadora” una variable de máquina susceptible de ser controlada sería la presión de prensado. En cambio, variables de producto que, estando relacionadas con la actividad de esta máquina, interese regular pueden ser la densidad aparente o el espesor de la pieza final.

Dado que en una determinada máquina puede haber subprocesos con un mayor o menor grado de automatización, los niveles de control que aquí se definen no se asocian a ella propiamente, sino a conjuntos de variables de entrada y salida. Así, en un “Atomizador” de material, por ejemplo, la pareja de variables “temperatura de gases/humedad del polvo atomizado” se controla manualmente (Nivel 1). En cambio, puede ocurrir que la activación de válvulas de la propia máquina esté automatizada y, por lo tanto, la pareja de variables formada por “temperatura de gases/posición de la válvula de gas del quemador” sería en ese caso un ejemplo de variable de máquina (Nivel 2).

Es bastante común en este nivel el empleo de sistemas de control tipo los controladores PID, o los autómatas programables PLC. Incluso, dado el rápido desarrollo de la informática en los últimos años, muchas máquinas llevan ya ordenadores incorporados de origen.

No obstante, dado el aún escaso nivel de integración que muestran en la actualidad los procesos de fabricación, muchos de estos dispositivos se utilizan como meros registradores de datos, a pesar del potencial que poseen.

- Nivel 3: Control Automático de variables de Producto.

Dos dificultades aparecen a la hora de establecer el control Automático de Variables de Producto. Éstas están relacionadas con la identificación de las variables relevantes y con la instrumentalización.

Las variables sobre las que hay que actuar en este nivel (“**variables manipuladas**”) formarán normalmente parte de formulaciones complejas, que permitirán relacionar a aquellas con características idóneas a exigir a los productos intermedios y finales.

La identificación de estas variables supondrá habitualmente una dificultad importante. Llegar a ese objetivo vendrá normalmente como consecuencia de una investigación empírica intensa, a realizar incorporando datos experimentales derivados del propio proceso. La formulación posterior hasta obtener las relaciones buscadas puede ser también compleja, derivando habitualmente en un **tratamiento matemático multivariable y no lineal**.

En los casos más sencillos, este nivel de control puede realizarse con PID. No será lo habitual, ya que a medida que se compliquen las ecuaciones que rigen estas relaciones, habrá que recurrir a equipos y softwares que permitan la aplicación de modelos multivariables DMC (Dynamics Matrix Control). Estos modelos permiten realizar análisis para el control anticipativo, predictivo y para la simulación dinámica. Otra dificultad no menor para implantar el Control Automático de Variables de Producto, estriba en disponer de la instrumentación adecuada para la obtención de datos, concretamente en lo que se refiere a sensores. La selección de uno nuevo de éstos suele ser un proceso también complejo. El sensor en cuestión debe funcionar con la suficiente precisión y robustez. Deben hacerlo además, normalmente, en un campo para el que probablemente no han sido originariamente diseñados.

- Nivel 4: Control Global.

Las operaciones individuales a realizar en todo proceso industrial no son independientes entre sí. La salida de un subproceso representa la entrada para el siguiente. Cualquier fallo en la ejecución de una operación afecta al resto de etapas, alterando las características de los productos intermedios, así como a los propios productos acabados.

Por ello, **el control automático no debe pues limitarse a etapas individuales**. El Control Global del proceso constituye, como ya se ha comentado, un paradigma dentro de la Industria 4.0, cuya aplicación permitiría disponer de información (no solo de datos) del proceso y detectar sus puntos débiles.

Hay sectores de la Industria en los que comienza ya abordarse este nivel de control, si bien en la mayor parte de ellos se encuentra aún en sus fases incipientes, involucrando principalmente la adquisición de información. Hasta no hace mucho tiempo atrás han existido dificultades importantes al avance del Control Global. Se hacía materialmente imposible intercomunicar máquinas debido a los protocolos de comunicaciones cerrados, utilizados por los fabricantes de maquinaria. Hoy en cambio hay cada vez más máquinas con protocolos más abiertos y estandarizados.

Hay que tener en cuenta, finalmente, la correspondencia existente entre los conceptos de control global ahora tratado, con el de integración total de los procesos de producción industrial, que se contemplará en el apartado siguiente. Pero como objetivo concreto de este Nivel 4 debe considerarse, en definitiva, el de la obtención de la mayor cantidad de información posible, que permita la manipulación de un buen número de variables a incorporar en las formulaciones que definan óptimamente todas las etapas de esos procesos. Este conocimiento es básico para alcanzar la capacidad de predicción automatizada de las etapas de la producción industrial, meta esperable de la Industria 4.0

2.5.1.3.- Niveles de Integración de los sistemas de control. La pirámide CIM

El término **CIM (Computer Integrated Manufacturing)** comienza a utilizarse en 1973 (Harrington, J., 1979). Pero no fue hasta aproximadamente 1984 que, los autores relacionados con los sistemas industriales, se percatan del potencial real ligado a los conceptos que contempla. Desde esa fecha son ininidad los artículos publicados sobre CIM. Gracias a la contribución de estudiosos y divulgadores procedentes del sector industrial, CIM se ha convertido en una fructífera área de investigación. Profesionales procedentes de diferentes disciplinas han presentado sus aportaciones acerca de este concepto, contribuyendo al desarrollo de sus teorías y metodologías hoy implantadas.

Existen varias definiciones de CIM que enfatizan diferentes aspectos inherentes al concepto desde varios puntos de vista: como filosofía, como herramienta estratégica, como proceso, como estructura organizativa, como red de sistemas de comunicación computerizada, o como gradual integración de subsistemas (Wu, Cheng y otros, 2001).

Una primera definición de CIM es: “un concepto ligado a una factoría totalmente automatizada, en la que todos los procesos de producción se hallan integrados y controlados por sistemas CAD/CAM (Diseño asistido por ordenador/Fabricación asistida por ordenador).

CIM permite a planificadores y programadores de producción, técnicos y encargados de Plantas y a responsables de administración, utilizar la misma base de datos que los diseñadores de producto y los ingenieros”. (Kochan, A. y Cowan, D., 1986).

Otra definición fue dada por la Empresa hoy extinta DEC (Digital Equipment Corporation), que ponía mucho más énfasis en el rol de la información: “CIM es la aplicación de la ciencia tecnológica de computación en la dirección de proveer a la industria manufacturera información real, en la ubicación real y en tiempo real, que permite alcanzar los objetivos previstos en sus productos, procesos y negocios” (Wu, Cheng y otros, 2001).

Otras definiciones hacen énfasis en la consideración de CIM como filosofía de operación de una compañía manufacturera: “Es una filosofía de operación cuyo objetivo es incrementar la eficiencia a través del ciclo completo de diseño del producto, fabricación y marketing, con el objetivo de mejorar la calidad, la productividad y la competitividad” (Greenwood, N.R., 1988).

Con el objeto de poner un mayor énfasis en la importancia de la integración, la Computer and Automated Systems Association de la SME (Society of Manufacturing Engineers), da la siguiente definición: “CIM es la integración del conjunto total de la empresa manufacturera, a través del uso del sistemas integrados y comunicaciones de datos asociada con nuevos paradigmas de gestión, que mejoren la eficiencia organizativa y del personal” (Singh, N., 1996).

CIM adquiere habitualmente la forma de pirámide con cinco niveles, que se corresponden con la estructuración de intercomunicaciones inherentes al proceso productivo. Actualmente se ha incorporado a los conceptos manejados por la Industria 4.0, para mejorar la automatización de los procesos industriales.

La jerarquización de niveles permite identificar los tipos de instrumentos o herramientas tecnológicas que se usan en cada uno de ellos (Figura 11).

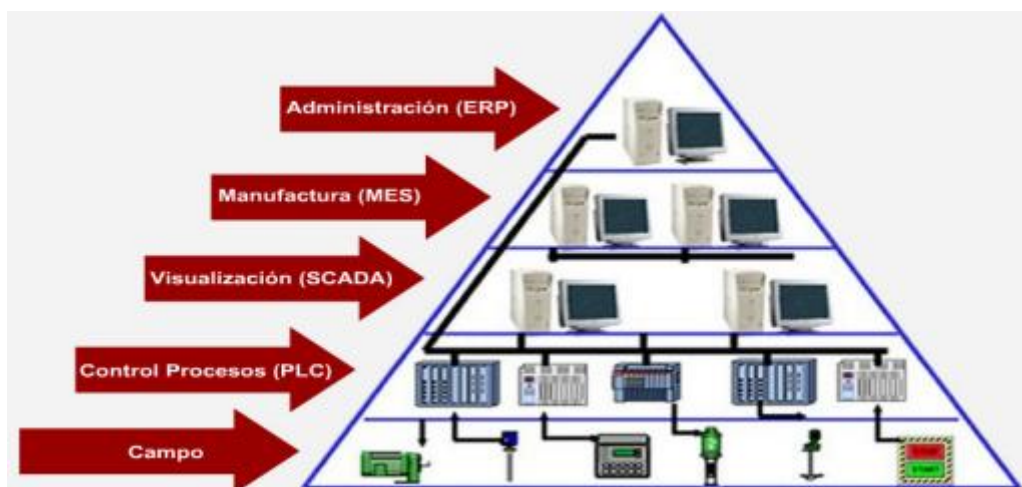


FIGURA 11: Pirámide CIM de Automatización. Fuente: Lozano, M. y Zamora R.,2008.

Más recientemente, la Industria 4.0 definió un nuevo concepto de estructuración: RAMI 4.0 (Reference Architectural Model Industrie 4.0). El cual contiene, además de los cinco niveles de la Pirámide de Automatización, dos niveles más. En la parte inferior aparece el “Producto” y en la parte superior el “Mundo Conectado” (Barona, G. y Velasteguí, L., 2021) (Figura 12).



FIGURA 12: Concepto RAMI. Fuente: Tecnológico de Monterrey, 2015.

Volviendo a los niveles identificados en la Pirámide CIM:

- **Nivel 0: Nivel de Procesos.**

Es el nivel base de la jerarquía de la pirámide. Se identifica con los **sensores, actuadores y los dispositivos de campo**. El concepto es asimilable al de las piezas de una máquina.

En el cuerpo humano los sensores serían los nervios y los actuadores los músculos.

Al conjunto de sensores y actuadores que se comunican directamente con el proceso productivo, se les denomina habitualmente **Dispositivos de Campo** (Field Devices).

Los sensores captan las señales (analógicas y/o digitales) del proceso industrial y las envían a un controlador (cerebro electrónico). Éste evalúa y procesa la información. Tras lo cual emite una señal de salida a los actuadores, que accionan la maquinaria del proceso industrial (García, E., 2020).



- **Nivel 1: Nivel de Control.**

En este nivel se controlan las máquinas y equipos que intervienen en el proceso de fabricación. Este control se realiza a través de un cerebro programable. El mismo que emite las señales de salida a los actuadores.

Los controladores son del tipo lógico programables (PLC), controladores de automatización programable (PAC - Programmable Automation Controller), sistemas de control distribuido (DCS - Distributed Control Systems), sistemas de control numérico computerizado (CNC), tarjetas basadas en microprocesador o microcontroladores, computadoras industriales,... (García, E., 2020).

El Nivel 0 envía información a este nivel, el cual envía órdenes a los elementos industriales. También el Nivel 1 se comunica con el Nivel 2, cuya misión es la de supervisar el proceso industrial.

- **Nivel 2: Nivel de Supervisión (SCADA).**

En este nivel se encuentra el sistema SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition) conformado por **hardware, software y red de comunicación.**

También se halla en este nivel el interfaz HMI (Human-Machine Interface) que permite una animación gráfica del proceso productivo.

A través de la HMI se controla y gestiona cualquier sistema local o remoto. La comunicación usuario sistema se realiza con la ayuda de una interfaz gráfica (Pérez-López, E., 2015).

El hardware es la unidad terminal maestra MTU (Master Terminal Unit), que puede estar conformada por una CPU (Central Processing Unit) o un PLC maestro. Su objetivo es tanto supervisar y evaluar información, como recibir y emitir señales para el funcionamiento y control del sistema. La MTU recopila información tanto del Nivel 0 como del Nivel 1. En este último se encuentran subestaciones RTU (Remote Terminal Unit) que son de los tipos PLC (conexión esclavo o servidor), microprocesadores, tarjetas electrónicas,... (Pérez-López, E., 2015).

El software se instala en la MTU, en la que hay conectado un monitor que muestra variables físicas del proceso: presión, temperatura, caudal,...

De esta forma les llega a las personas encargadas de la producción, de forma numérica, gráfica y animada, la información procedente del Nivel 0. Con ella se ejecutan comandos hacia las RTU del Nivel 1 y, a través de éstas, se controlan sensores, actuadores y otros dispositivos de campo que chequean el funcionamiento de las máquinas (Pérez-López, E., 2015).

Este nivel de control es conocido también como “Nivel de Célula” (Hurtado, J.M., 2015). Con este tipo de acciones es posible obtener información inmediata de cada uno de los sectores, o células, de la Planta. Se pueden coordinar así las secuencias de fabricación entre las máquinas pertenecientes a cada una de estas células.

- **Nivel 3: Nivel de Fábrica.**

Este nivel es denominado también **Nivel de Planificación o Nivel de Sistemas de Ejecución de Fabricación, MES** (Manufacturing Execution Software). Está relacionado con las operaciones que se realizan en el conjunto de la Planta Industrial y su monitorización. Tienen que ver con todas las tareas relacionadas con el proceso de fabricación: programación de la producción, gestión de los materiales, gestión de compras, análisis de costos de fabricación, control de inventarios, gestión de recursos de fabricación, gestión de la calidad, gestión de mantenimiento,... En definitiva, la observación de todas estas variables permite a la Gerencia de la Empresa abordar la toma de decisiones, de manera suficientemente documentada.

Este Nivel 3 emite las señales oportunas al Nivel 2 y recibe incidencias de las “células” en el plazo que resulte más conveniente: minutos, horas, turnos o, incluso, días. El Sistema de Gestión Informática asociado a este Nivel 3 es conocido como MES (García, E., 2020).

- **Nivel 4: Nivel de Empresa.**

Este último nivel de la Pirámide CIM integra el proceso de producción con el Área de Gestión de la Compañía. Se conoce también como el Nivel Comparativo o Nivel Administrativo. **Integra y gestiona todos los niveles anteriores.** Utiliza para ello un Sistema de Planificación de Recursos Empresariales, **ERP** (Entreprise Resource Planning).

En este nivel se realizan todas las tareas que intervienen en el negocio: gestión comercial y marketing, planificación estratégica, planificación financiera y administrativa, gestión de recursos humanos, ingeniería de producto, ingeniería de proceso, gestión de tecnología, gestión de sistemas de información, investigación y desarrollo,... (García, E., 2020).

2.5.2.- Redes de Comunicación Industrial.

Los elementos que conforman un proceso industrial se interrelacionan a través de las redes de comunicación de datos. El estado de un proceso viene explicado, en cada momento, por la información que aportan multitud de dispositivos desplegados en las diferentes etapas de la producción: sensores de temperatura o de presión, contadores, caudalímetros, fotocélulas,... Ya se ha comentado que, si bien hay procesos industriales en los que una buena parte de estas etapas se encuentran automatizadas, las mismas constituyen “Islas de Automatización”. Habitualmente no existe comunicación entre ellas a la hora de elaborar los productos. Es objetivo de la Industria 4.0 conseguir la integración de todas las etapas del proceso de fabricación. La infraestructura en la que se apoya la transmisión de información, tanto en el interior de cada etapa como entre diferentes de ellas, son las redes de comunicación. Se repasan a continuación algunos conceptos que las caracterizan (ABB Electrification en España, 2018).



Las comunicaciones entre dos dispositivos necesitan de un código común que las convierta en compatibles. Dicho código es lo que se denomina “**Protocolo**” de **comunicación**: conjunto de reglas que permiten la transferencia e intercambio de datos de forma estructurada y estandarizada.

Para seleccionar la solución de red de comunicaciones a adoptar en cada caso, se han de considerar una serie de criterios técnicos: Medio o Soporte Físico de la comunicación, el Protocolo y, por último, la Compatibilidad.

El Medio o Soporte Físico es el elemento a través del que se transmite la información. En el mismo hay que identificar: el Tipo de Medio, la Arquitectura o Topología y el Conexionado.

Hay dos tipos de Medio: guiado o cableado (cable o fibra óptica) (Figura 13) y no guiado o inalámbrico (wifi, radiofrecuencia, microondas,...).

La “Arquitectura” o “Topología de conexión” son las formas que existen para conectar dispositivos: estrella, árbol, anillo, bus lineal,... (Figura 14).

El conexionado, por su parte, puede ser de dos formas: por un lado en serie o buses de comunicación (maestro-esclavo) o, por otro, en paralelo también denominado broadcast o redes de comunicación (cliente-servidores). Si nos referimos a los conectores, estos pueden ser de diferentes tipos (Figura 15), siendo su elección independiente del tipo de sistema de comunicación.

Volviendo sobre los protocolos hay que hacer notar que, inicialmente, cada protocolo se creó para un tipo de aplicaciones. Hoy la compatibilidad entre dispositivos se halla garantizada a través de las “Pasarelas” o “Gateways” (Figura 16). Estos dispositivos permiten traducir o convertir uno o más protocolos, para que los distintos dispositivos puedan comunicarse. Existen numerosos tipos de protocolos. Algunos de los más comunes y su comparativa se recogen en la (Figura 17).

Protocolos y redes de comunicación constituyen la infraestructura a través de la cual interaccionan las diversas etapas de los procesos productivos, definidas en la pirámide CIM.

Si los protocolos son las reglas o “idioma” de comunicación, las redes son los elementos que estructuran el proceso productivo. Para ello, las diversas tareas que componen éste se dividen entre un grupo de procesadores jerárquicamente distribuidos. Ésta es la vía para comunicar las “Islas de Automatización” que representan hoy realmente las etapas de producción manufacturera. Conseguir esta comunicación es una condición necesaria para lograr la integración global de los procesos que, a su vez, es uno de los objetivos de la Industria 4.0.

Medio	Velocidad de transmisión	Inmunidad CEM	Distancia máxima entre equipos	Coste
Par trenzado	Med: 100 kbits/s Máx: 500 kbits/s	Muy baja	200 m	Bajo
Par trenzado apantallado (blindado)	Med: 100 kbits/s Máx: 500 kbits/s	Media	1 Km	Bajo
Coaxial (banda base)	Med: 1 Mbits/s Máx: 50 Mbits/s	Media	2,5 Km	Medio
Coaxial (banda ancha)	Med: 300 Mbits/s	Media	Entre 10 Km y 50 Km	Medio
Fibra óptica (multimodo)	1 Gbps 10 Gbps	Alta	Entre 2 Km y 10 Km	Alto
Fibra óptica (monomodo)	100 Gbps 1000 Gbps	Alta	Máxima 100 Km	Muy Alto

FIGURA 13: Tipologías más comunes de medio guiado. Fuente: ABB Electrification en España.

Nota: CEM (EMC: Electromagnetic Compatibility)

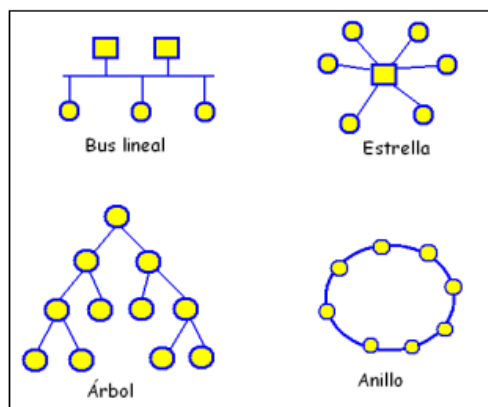


FIGURA 14: Topologías de red de comunicaciones.

Si se realiza una primera clasificación, las redes se pueden agrupar en dos categorías:

- Redes de Información (LAN/WAN) (Local Area Network/Wide Area Network): se ubican en la parte alta de la pirámide CIM.
- Redes/Buses de Campo: son las ubicadas en la parte más baja de la pirámide CIM.



Detallando más esta clasificación en lo que respecta a las Redes de Información, para acercarla más a las etapas definidas en la pirámide CIM (Caler, R., 2015), (Figura 18):



FIGURA 15: Algunos tipos de conectores utilizados en las redes industriales: HDC (High Density Connector), FC (Ferrule Connector), SC (Subscriber Connector).



FIGURA 16: Pasarela o Gateway.

Sistema de comunicaciones	Tipología	Medio físico	Velocidad de transmisión	Distancias máximas por segmento	Nodos por segmento	Protocolos asociados
Profibus	Bus lineal	Par trenzado apantallado	De 9,6 Kbps hasta 12 Mbps	De 200 m hasta 1200 m	32-64-127	Profibus DP Profibus PA
Modbus	Bus lineal	Par trenzado apantallado	De 300 bps a 19,2 kbps	1000 m	32-64-248	Modbus RTU
Devicenet	Bus lineal	Par trenzado apantallado	De 125 Kbps hasta 500 Kbps	De 200 m hasta 1200 m	64	Devicenet
CAN	Bus lineal	Par trenzado apantallado	De 50 Kbps a 1 Mbps	De 40 m hasta 1000 m	64-127	CanOpen
M-Bus	Bus lineal	Cable de 2 hilos	De 300 a 9600 bps	1000 m	250	M-Bus
HART	Bus lineal	Cable de 2 hilos	1200 bps	3000 m	30	Hart
Ethernet	Bus lineal Árbol Estrella	Cable de 2 hilos	167 Kbps	100 m	32	AS-i
	Malla	Par trenzado apantallado	De 10 Mbps hasta 100 Mbps	100 m	n/a	
Estrella	Fibra óptica	De 100 Mbps a 1 Gbps				

FIGURA 17: Tipologías de Protocolo más comunes. Fuente: ABB Electrification en España

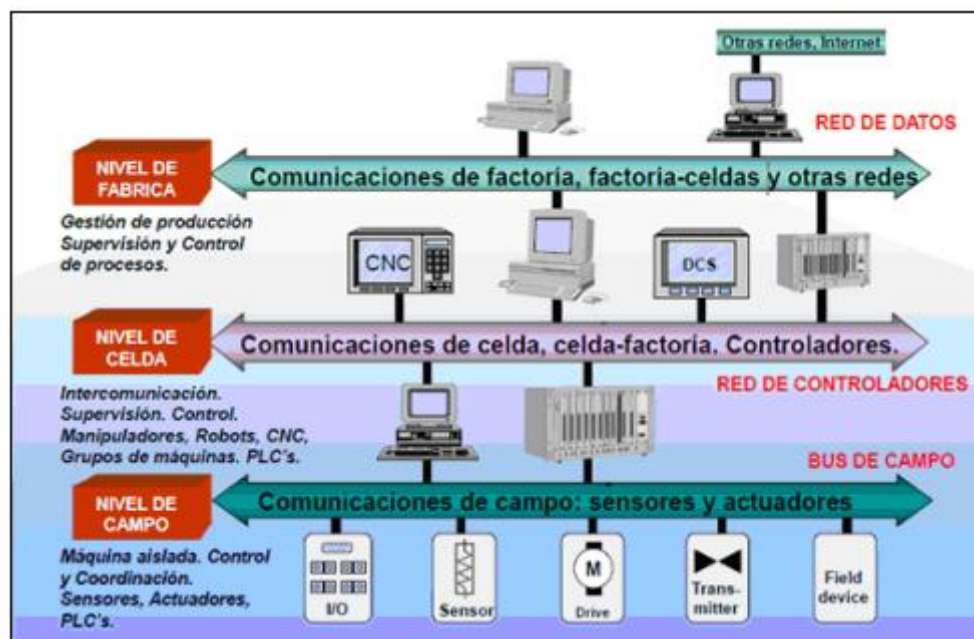


FIGURA 18: Niveles de Comunicación Industrial. Fuente: Caler, R., 2015.

a) Red de Factoría:

Interconecta todos los departamentos y servicios de la Empresa: plantas de producción, almacenes, ingeniería, servicios generales,...



b) Red de Control:

Esta red conecta los dispositivos de las capas inferiores con las funciones definidas en el nivel de Fábrica de la pirámide CIM.

c) Red de Célula/Celda:

Esta red conecta los dispositivos de las capas inferiores con las funciones definidas en el Nivel de Supervisión de la pirámide CIM.

d) Red/Bus de Campo:

Esta red conecta los niveles de Procesos y de Control de la pirámide CIM.

Los “Protocolos” más habitualmente utilizados en correspondencia con las etapas definidas en la pirámide CIM se recogen en la (Figura 19).

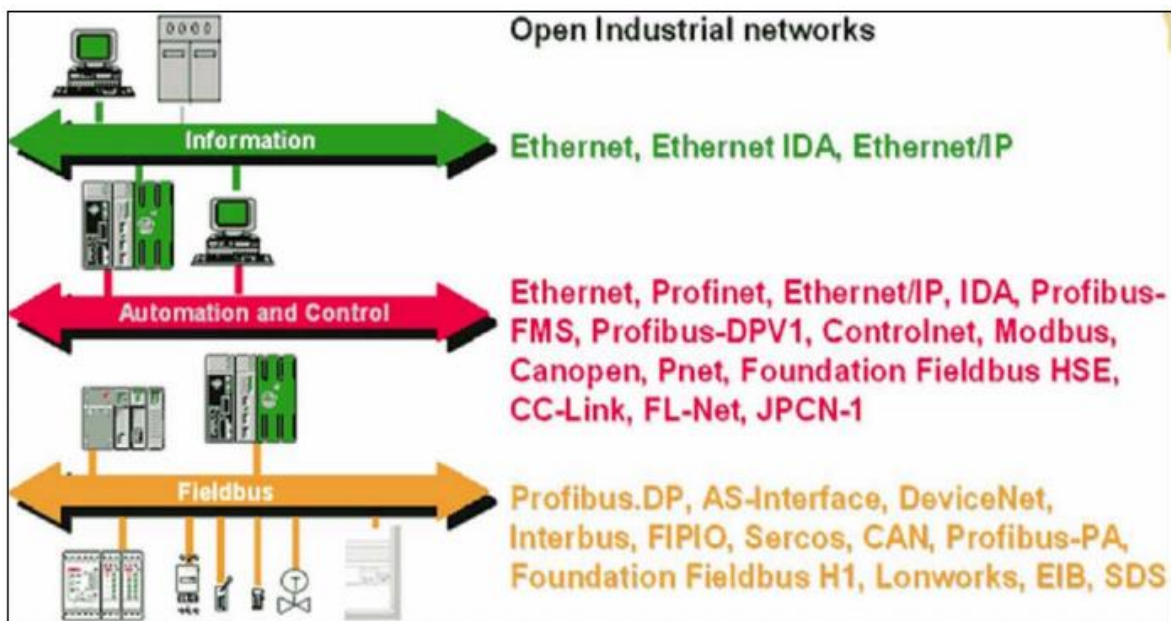


FIGURA 19: Protocolos más habitualmente utilizados. Fuente: Caler, R., 2015.

2.5.2.1.- Sensores y Actuadores.

Se realiza en este apartado un repaso rápido de los instrumentos de medición y control de variables, que resultan relevantes en las diferentes fases de los procesos industriales.

Los instrumentos más comunes son los “**Sensores**”. Se trata de dispositivos con capacidad de detectar cambios en su entorno. Estos cambios se reflejan en determinadas variables, que son las que realmente se controlan en cada proceso. La misión de los sensores es captar el valor de la variable en cuestión y enviar una señal de salida predeterminada, que puede ser procesada por otros dispositivos electrónicos. El efecto producido por un sensor puede ser: un cambio de presión, fuerza, posición, medida eléctrica,... (Creus, A., 2010). Los sensores actuales permiten medir una gran cantidad de magnitudes físicas, en rangos muy amplios y dispares, que abren un gran abanico de desarrollo de aplicaciones técnicas. En los últimos años la mejora de los sensores se ha centrado en el desarrollo de sistemas digitales encargados de la conversión de señales. Especialmente en el sentido de permitir las comunicaciones a grandes distancias, con preservación de la integridad de las medidas.

Los sensores pueden clasificarse según diferentes ópticas (Universidad Carlos III, Sensores):

- Según la información que transmite, pueden ser: Discretos (ejemplo: Todo/Nada) y Continuos.
- Por el tipo de señal pueden ser: Digitales o Analógicos.
- Según la magnitud a medir los sensores se clasifican a su vez en:
 - a) Sensores de Presencia/Proximidad, que a su vez son:
 - a.1.- De Final de Carrera (Electromecánicos): interruptores (abren/cierran un contacto). Debe producirse contacto físico entre el objeto y el sensor. Pueden adoptar diferentes configuraciones. Son de coste reducido. Como problema principal puede apuntarse el desgaste al que se ven sometidos los elementos electromecánicos.
 - a.2.- Sin Contacto: los cuales a su vez pueden ser, según el principio físico que los rige: Inductivos, Capacitivos, ópticos, de Ultrasonidos, de Lengüeta (Reed) y de efecto Hall.
 - a.2.1.- Inductivos: se basan en la alteración de una bobina al acercar un objeto metálico. El objeto a detectar debe ser de metal.
 - a.2.2.- Capacitivos: se basan en la alteración del dieléctrico de un condensador, producida por la presencia de un objeto. Esta variación modifica la capacidad del condensador. Por el tipo de detección pueden ser de presencia o de nivel.
 - a.2.3.- Ópticos: se basan en detectar la interrupción o reflexión de un rayo de luz. Pueden tener distintas configuraciones y regirse por distintos tipos de luz: visible, infrarroja, laser.
 - a.2.4.- Ultrasonidos: se basan en la emisión de una onda sonora y la recepción de su eco.
 - a.2.5.- De Lengüeta o Reed: contacto metálico dentro de un encapsulado, que se cierra ante la presencia de un campo magnético.



- a.2.6.- De Efecto Hall: se basan en la diferencia de potencial que aparece entre las dos caras opuestas de un prisma delgado de material semiconductor, al someterlo a un campo magnético perpendicular a las caras del prisma, cuando discurre una corriente en su interior.
- b) Sensores de Posición: que se subdividen en: Potenciómetros, Codificadores, Synchro/Resolver, Transformador Diferencial Variable Lineal (LUDT: Linear Variable Differential Trasformer).
- b.1.- Potenciómetro: se basa en un divisor de tensión. Se obtiene una tensión de salida que varía entre dos valores, máximo y mínimo de tensión, proporcionalmente a la posición o giro. Son baratos. Pero tienen el problema del desgaste que se produce por el rozamiento existente entre sus partes fija y móvil.
- b.2.- Codificador: están basados en la detección de señales de luz que pasan a través de un disco o regla móvil. A su vez pueden ser: Absolutos e Incrementales.
- b.3.- Synchro/Resolver: son transformadores rotativos reversibles, cuya relación entrada-salida es proporcional al seno y al coseno de la posición angular del eje (Synchro: 120° ; Resolver: 90°).
- b.4.- Transformador Diferencial Variable Lineal (LUDT): está constituido por tres arrollamientos coaxiales sobre un cilindro aislante. El arrollamiento central actúa como primario del transformador y los otros dos actúan como secundarios. Su principio físico se basa en la variación de la inductancia mutua entre el primario y cada secundario. Para ello se desplaza por su interior un núcleo de material ferromagnético, unido a la pieza cuyo movimiento se desea medir.
- c) Sensores de Fuerza: se dividen a su vez en: Piezoeléctricos, de Reactancia Variable y de Galgas Extensiométricas.
- c.1.- Piezoeléctricos: se mide la deformación en un cristal, que es proporcional a la carga eléctrica ocasionada al aplicar en éste una fuerza.
- c.2.- Reactancia Variable: mide la variación de la capacidad o de la inductancia producida como consecuencia de la fuerza que se aplica. Esta fuerza produce desplazamientos en elementos móviles de un condensador o un transformador. Puede adoptar diversas configuraciones.
- c.3.- Galgas Extensiométricas: a través de un hilo de cobre miden la deformación producida por una fuerza. La deformación del hilo de cobre produce una variación de la resistencia, en función de su forma (longitud, ancho, alto). Con diferentes posicionamientos de las galgas se pueden medir distintas configuraciones de fuerzas.
- d) Sensores de Aceleración: un primer grupo lo forman los de reactancia variable, piezoeléctricos y galgas. Otro grupo lo forman los microsistemas electromecánicos (MEMS).
- d.1.- Reactancia variable, piezoeléctricos y galgas: en ellos la aceleración puede medirse a través de la fuerza que aparece sobre una masa, aplicando el Principio de Newton.
- d.2.- Microsistemas electromecánicos (MEMS): en ellos la aceleración se mide a través del desplazamiento de una masa. El cual aparece por la fuerza correspondiente a la aceleración que se produce.



- e) Sensores de Presión: Manómetros.
- e.1.- Manómetros basados en elementos flexibles: se mide la deformación que un fluido produce al actuar sobre un material elástico.
- e.2.- Tubo Bourdon: en este caso el fluido se sitúa en un tubo curvado. Con el incremento de presión, el tubo tiende a enderezarse.
- f) Sensores de Caudal: pueden ser basados en diferencia de presiones, volumétricos y de turbina, caudalímetros electromagnéticos y basados en otros principios físicos.
- f.1.- Basados en diferencia de presiones: se centran en el efecto Venturi y en el principio de Bernoulli. Se mide la diferencia de presión provocada por la variación de velocidad entre dos puntos de un fluido.
- f.2.- Volumétricos y de turbina: los primeros aíslan un volumen conocido de fluido, contándose el número de unidades de volumen por unidad de tiempo. Los de turbina, en cambio, miden la velocidad de giro de una turbina provocada por la circulación de un fluido.
- f.3.- Caudalímetros electromagnéticos: se basan en que el voltaje inducido a través de un conductor que se desplaza transversalmente respecto de un campo magnético, es proporcional a la velocidad del conductor (Ley de Faraday). Es un sistema no invasivo de muy bajo mantenimiento. Únicamente funciona con líquidos que tengan algo de conductividad eléctrica.
- f.4.- Basados en otros principios: fuerza, térmicos, ultrasonidos, variación de área,...
- g) Sensores de Nivel: pueden ser: flotadores, basados en parámetros eléctricos, ultrasonidos y diferencia de presión.
- g.1.- Flotadores: al variar la altura del líquido se produce el desplazamiento de una boya, midiéndose la variación lineal o angular asociada al movimiento de ésta.
- g.2.- Basados en parámetros eléctricos: miden la modificación de una variable eléctrica (resistencia, capacidad, inductancia) al variar el nivel del líquido.
- g.3.- Ultrasonidos: miden la señal reflejada por la superficie del líquido.
- g.4.- Diferencia de presión: miden el aumento de presión en la base de un depósito como consecuencia de la altura del fluido.
- h) Sensores de Temperatura: con contacto (Termostato bimetalico, Termopares, Termistores, Termorresistencias (RTD: Resistance Temperature Detector), circuitos integrados y sin contacto (sensores de infrarrojos).
- i)
- h.1.- Termostato bimetalico: convierten un cambio de temperatura en un movimiento mecánico. Consiste en dos láminas de metal unidas con diferente coeficiente de dilatación térmico. Cuando la temperatura cambia, la lámina varía su forma, actuando sobre unos contactos que cierran un circuito eléctrico.
- h.2.- Termopares: un termopar está formado por dos hilos de distinto metal unidos por un extremo. Sabiendo la temperatura de la unión, se mide la diferencia de temperatura entre los extremos de los hilos y la unión.
- h.3.- Termistores: son semiconductores cuya resistencia varía con la temperatura.



h.4.- Termorresistencias (RTD): se basan en la variación de la resistencia de un conductor con la temperatura. Los más fiables son las termorresistencias de platino.

h.5.- Sensores de infrarrojos: miden la emisión de infrarrojos de un objeto, que varía en función de su temperatura.

Como complemento de los “Sensores” se hallan los “**Actuadores**” o **Accionadores**, que completan el escalón inferior de elementos de la pirámide CIM.

El Actuador es un dispositivo, inherentemente mecánico, cuya función es proporcionar un efecto controlado sobre un proceso automatizado. Recibe la orden de un elemento regulador o controlador y, en correspondencia con ella, genera la orden de activar un elemento final (por ejemplo una válvula). El esquema de funcionamiento del sistema Sensor-Controlador-Actuador se muestra en la (Figura 20).

Los actuadores se clasifican según la fuente de energía de entrada en: eléctricos, neumáticos e hidráulicos (Universidad Carlos III, Actuadores).

- Actuadores eléctricos: son habitualmente motores que convierten energía eléctrica en mecánica. Pueden ser de corriente continua o alterna asíncronos. La energía mecánica de salida es generalmente giro.
- Actuadores hidráulicos: transforman la presión de un fluido, habitualmente aceite, en movimiento mecánico. Como ventajas se pueden apuntar: fuerzas /pares elevados, son controlables en posición y tienen rapidez y precisión de respuesta. Como inconvenientes se podrían indicar: fugas, instalaciones complejas, necesitan circuito de retorno y tienen un mantenimiento complejo. Pueden ser: cilindros hidráulicos (desplazamiento lineal) y motores hidráulicos (movimiento giratorio).
- Actuadores neumáticos: transforman la presión de un fluido, en este caso aire, en movimiento mecánico. Ventajas: el aire es abundante, se transforma Y almacena fácilmente, es limpio y no inflamable. Inconvenientes: difícil de controlar en posición y fuerzas/pares no muy grandes. Los elementos neumáticos finales son: válvulas (preactuadores), cilindros (desplazamiento) y motores (giro).

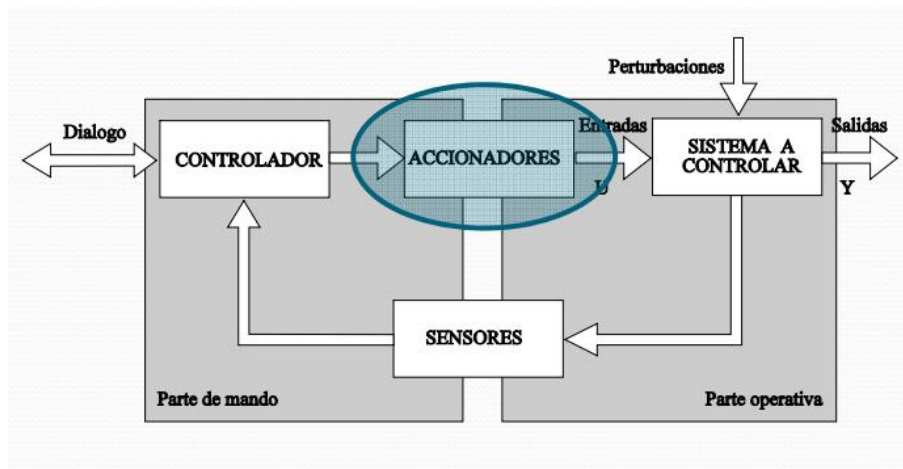


FIGURA 20: Esquema de funcionamiento Sensor-Controlador-Actuador. Fuente: Universidad Carlos III, Actuadores.

Los sensores y actuadores descritos anteriormente están ligados a las “Variables de Máquina”, apuntadas en un apartado anterior, al abordar los Niveles de Automatización de los sistemas de control. Forman parte de los controles internos ya existentes en buena parte de la maquinaria actual. Los cuales pueden encontrarse hoy con un mayor o menor grado de automatización.

No obstante, si se desea avanzar en las capacidades anticipativas y predictivas que se van a exigir a la Industria 4.0, hay que ampliar el espectro de datos e información a obtener a lo largo de las etapas de los procesos de producción. Esto implica incidir en lo que se ha definido en un apartado anterior como “Variables de Producto” o “variables manipuladas”. Ya se ha comentado también anteriormente la relevancia de estas variables a la hora de establecer las formulaciones, que permitan anticipar y predecir que las características de los productos, semielaborados o finales, se correspondan en las sucesivas etapas del proceso industrial con las exigencias predeterminadas.

Como también se ha puesto de manifiesto anteriormente, existen hoy todavía dificultades importantes ya no solo en la identificación de esas variables, sino también en la implementación de dispositivos de medición adecuados. En las industrias de hoy, especialmente en las PYMEs, queda mucho camino aún por recorrer en ese sentido.

El campo de los sensores se encuentra sin embargo en permanente desarrollo. Hoy empiezan a haber ya dispositivos de cierta sofisticación para la medición de esas Variables de Producto. En las (Figura 21) y (Figura 22) se muestran dos ejemplos de ello: medición en continuo de la densidad y de la viscosidad, en la primera, y el densímetro de efecto Coriolis en la segunda.

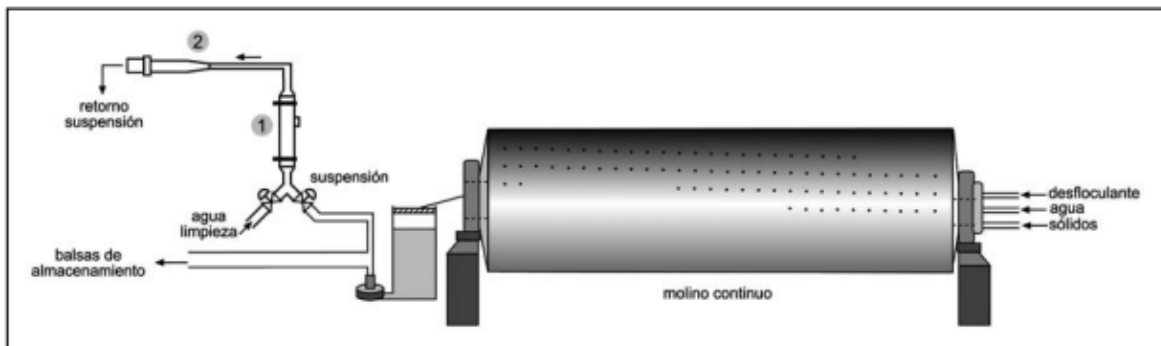


FIGURA 21: Esquema de la disposición de los elementos de medida en un molino continuo industrial.
1: Densímetro/Caudalímetro; 2: Viscosímetro . Fuente: Mallol, J.G., 2006.



FIGURA 22: Densímetro de efecto Coriolis. Fuente: Mallol, J.G., 2006.

2.5.2.2.- Control de Máquinas y Equipos. Dispositivos de Campo.

Las señales producidas a pie de máquina se transmiten punto a punto por cable, a través de transmisores. Cada sensor o actuador situado en campo se encuentra, por lo tanto, conectado a los módulos de entrada y salida de los PLCs. Por lo que por cada instrumento (sensor, actuador,...) se utilizan dos hilos.

Cuando la distancia entre instrumento y sistema de control empieza a crecer, o bien hay un gran número de instrumentos, el coste del cableado se incrementa también, convirtiéndose en relevante. Se transforman además estas instalaciones en poco manejables y con configuraciones complejas. Por estas razones se están implantando de manera definitiva los **Buses de Campo** (Figura 23).

Los Buses de Campo aparecen a finales de los años 80 y, sobre todo, se extienden en los 90. Se trata de un sistema de transmisión de información por un solo cable de comunicación, que simplifica grandemente la configuración de las instalaciones de las máquinas y equipos industriales, facilitando además su operatividad.

Inicialmente, los Buses de Campo están muy poco normalizados. Existe una gran variedad, dada la falta de estándares. Las Compañías han desarrollado varias soluciones, cada una de ellas con diferentes prestaciones y campos de aplicación.

Se puede identificar una clasificación con los siguientes grupos (Salazar, C.A. y Correa, L.C., 2015).

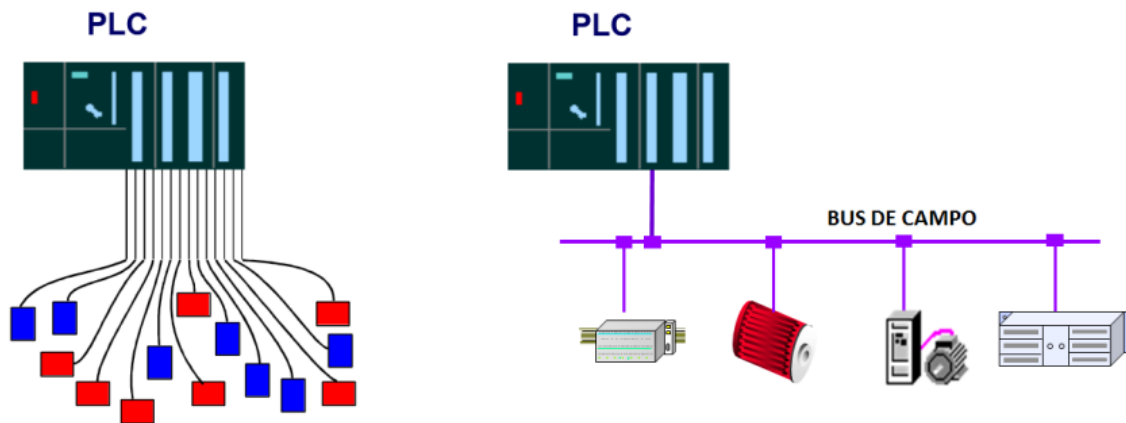


FIGURA 23: Cableado convencional frente a Bus de Campo. Fuente: Hurtado, J.M., 2015.

- **Buses de alta velocidad y baja funcionalidad:** Diseñados para integrar dispositivos simples como fotocélulas, relés, actuadores simples,... Se encuentran en una pequeña zona de la Planta, normalmente una máquina, funcionando a tiempo real.
- **Buses de alta velocidad y funcionalidad media:** son buses capaces de controlar dispositivos de campo complejos. Son eficientes y de bajo coste. Normalmente disponen de funciones utilizables desde programas instalados en PC, que permiten acceder, cambiar y controlar los diversos dispositivos que constituyen el sistema.
- **Buses de altas prestaciones:** son capaces de soportar comunicaciones en todos los niveles de la pirámide CIM. Ofrecen aplicaciones con un gran número de servicios a disposición del usuario, basadas en el sistema Maestro-Eslavo: redes multimaestro, comunicación maestro-esclavo según el esquema pregunta-respuesta, recuperación de datos desde el esclavo con un límite máximo de tiempo, petición de servicios a los esclavos basada en eventos y, además, altos niveles de seguridad en la red, habitualmente con procedimientos de autenticación.

Por otra parte, en las redes de campo se pueden destacar las siguientes características (Caler, R., 2015):

- a) Sustitución de la señal 4-20mA (miliamperios) por señales digitales: Lo cual trae consigo las siguientes ventajas: mayor exactitud y confiabilidad de datos, acceso multivariable (por ej.: un transmisor de presión no está limitado a una sola salida de presión, sino que informa también de la temperatura del proceso), configuración y diagnósticos remotos y disminución y simplificación del cableado.
- b) Aplicación a sistemas de control distribuido: Ya que incorporan esta función en los propios dispositivos. No obstante, permiten igualmente configurar una arquitectura de control centralizada.
- c) Interoperabilidad de dispositivos: Capacidad que posee la red de reemplazar un dispositivo por otro del mismo tipo, independientemente de la marca del fabricante.



- d) **Sistemas abiertos:** La mayoría de los buses industriales son de estándares abiertos, administrados por asociaciones internacionales integradas por las propias empresas fabricantes.

No obstante, las redes de campo también presentan algunos inconvenientes, como las que se relacionan a continuación (Universidad Carlos III, Comunicaciones Industriales):

- Son instalaciones habitualmente complejas. Necesitan de personal con bastante cualificación.
- Coste de inversión inicial apreciable.
- Equipos de mantenimiento sofisticados.
- Tiempo de respuesta ligeramente altos.
- Se desconoce qué estándar va a prevalecer. Esto hace que ciertas inversiones puedan llegar a ser obsoletas con el tiempo.

Los buses adecuados a los Niveles 0 y 1 de la pirámide CIM, objeto de este apartado, son los correspondientes a los niveles de Sensor/Actuador y de Control de Máquina, respectivamente. Por lo que su implementación va dirigida a las redes de campo.

Este tipo de Buses de Campo se conocen como **SENSORBUS** (Caler, R., 2015). La información que transmiten es a nivel de bits, mediante variables digitales. Se trata de dispositivos tales como interruptores, botoneras, captadores,...

Entre los buses más empleados por la Industria se encuentran: **AS-i, CAN y SDS.**

- a) **AS-i** (Actuator-Sensor Interface): Este protocolo aparece en 1990 y ha sido desarrollado por la firma Siemens. Es un estándar abierto y se ajusta a los requisitos del nivel de automatización más bajo, por lo que también es conocido como Bus de los Dispositivos. Es considerado uno de los sistemas de comunicación más sencillos y con menos prestaciones.

Se basa en un bus de dos hilos, sin apantallar, que puede tener una longitud de 100 m. Conecta una estación activa (Maestro) y un máximo de 31 estaciones pasivas (Esclavos).

Los elementos esenciales de una red AS-i son (Figura 24):

- **Maestro de bus AS-i:** Suele estar conectado a un autómata programable, al elemento de control principal o a una pasarela, a través de la que se comunican con este bus otros dispositivos desde una red superior.
- **Fuentes de alimentación AS-i:** Proporcionan 30 voltios de Corriente Directa (VDC- Volts Direct Current.) y hasta 8 Amperios, para alimentar a los elementos esclavos, a través de un solo cable.
- **Esclavos del bus AS-i:** Existen dos tipos, unos son los que tienen un chip con el protocolo integrado en el propio elemento de entrada/salida. Otros son los módulos AS-i genéricos con 4 entradas/salidas de tensión, para poder conectarles. Éstos últimos son los que se recomiendan para las instalaciones ya existentes.
- **Cable de conexión:** Generalmente es un cable plano de dos hilos, no apantallado, con guía de posicionamiento y un perfil especial, que impide la inversión de polaridad en la conexión. Es de color amarillo, con una muesca para facilitar su instalación.



b) **CAN** (Controller Area Network): Fue desarrollado por la firma Bosch en 1985. Su principal aplicación es la industria del automóvil, en la que las unidades de control, sensores, sistemas antideslizamiento y ordenadores de a bordo se conectan usando un bus CAN, evitando así un aumento del cableado (Figura 25). CAN constituye únicamente una especificación de bajo nivel, por lo que necesita del uso de un protocolo para capas más elevadas, que permita realizar la conexión de la aplicación. Éste se elegirá en función del mercado al que se oriente la aplicación, los requerimientos de tiempo real, etc. Protocolos basados en CAN son: CANopen, DeviceNET y SDS.

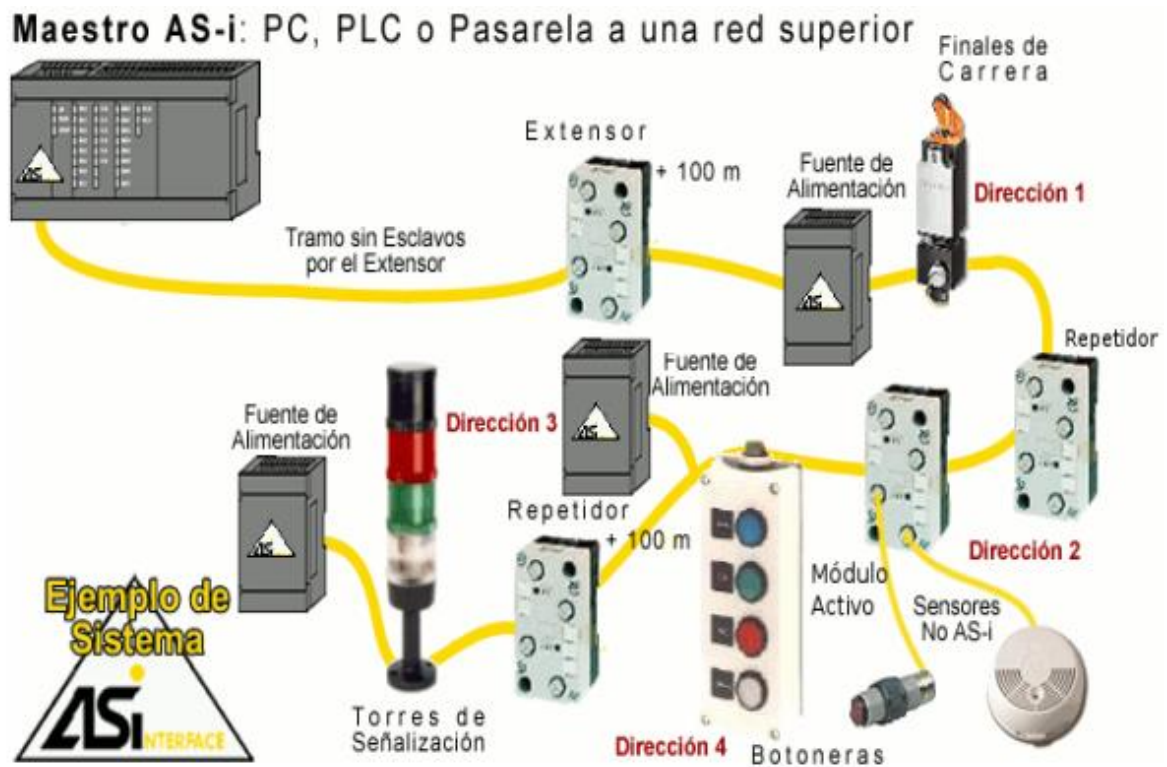


FIGURA 24: Ejemplo de Bus de Campo AS-i. Fuente: Hurtado, J.M., 2015.

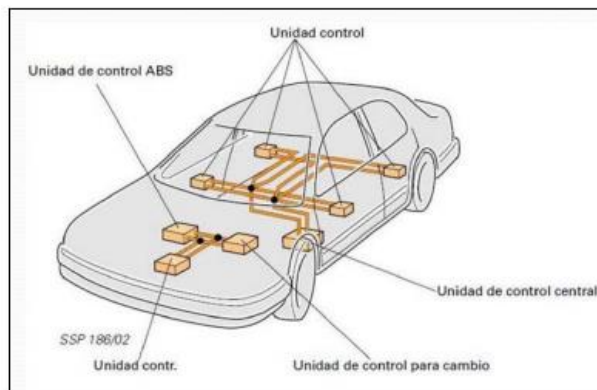


FIGURA 25: Ejemplo de Red de Comunicaciones CAN en un automóvil. Fuente: Caler, R., 2015.

- c) **SDS (Smart Distributed System)**: Fue desarrollado por Honeywell en 1989. Se utiliza principalmente en aplicaciones de sistemas de almacenamiento, empaquetado y clasificación automáticos. Características de este bus son:
- Admite cualquier Topología física.
 - Topología lógica: Maestro/Esclavo, Multicast y punto a punto.
 - Número máximo de dispositivos: 64 nodos por red, hasta 124 con repetidores.
 - Longitud de la red: Hasta 500 metros a 125 Kbit/seg. Se pueden incrementar estas longitudes.
 - Método de transmisión: Cable de 4 hilos apantallado (2 hilos para alimentación 12-24VDC y 2 hilos para comunicaciones).

2.5.2.3.- Nivel de supervisión: Sistema SCADA.

Dentro de este nivel se consideran los equipos destinados a coordinar las secuencias de fabricación entre las máquinas, pertenecientes a una célula o zona del proceso productivo.

La automatización industrial consiste en gobernar la actividad y la evolución de los procesos, sin la intervención continua de un operador humano. En los últimos años se ha desarrollado el sistema conocido como SCADA (Supervisory Control And Data Acquisition), a través del que pueden controlarse y supervisarse distintas variables de un proceso de producción industrial.

Los sistemas SCADA son ante todo aplicaciones de Software, especialmente diseñadas para funcionar sobre ordenadores que controlan la producción. Proporcionan comunicación con los dispositivos de campo (controladores autónomos, autómatas programables,...) y controlan el proceso de forma automática desde una computadora. También traslada la información generada en el proceso productivo a diferentes usuarios, tanto situados en el mismo nivel como hacia otros superiores dentro de la Empresa, permitiendo la participación de otras áreas como Control de Calidad, Mantenimiento, etc. (Pérez, H., 2017).

En los últimos tiempos han surgido una serie de productos de Hardware y buses, especialmente diseñados o adaptados para este tipo de sistemas.

Los SCADA comenzaron, y siguen mayoritariamente hoy en día, utilizándose para control de oleoductos, yacimientos de gas y petróleo, redes de distribución de gas natural y generación energética (convencional y nuclear) y, también, en sistemas de transmisión de energía eléctrica.

Existen muchos y muy variados sistemas de control automatizado, que ofrecen soluciones muy aceptables en los entornos industriales. Pero la característica que hace de los sistemas SCADA una herramienta diferenciada es la Supervisión (Gómez, J. y otros, 2008). El supervisor, u operador, supervisa el control de la Planta, lo cual implica no solo monitorear las variables que en un momento determinado están actuando sobre dicha Planta. La Supervisión implica poder actuar y modificar las variables de control en tiempo real. Algo que permiten con facilidad e intuición los sistemas SCADA.

Éstos llevan también incorporados sistemas de automatización de interfaz gráfica, tipo **HMI** (Human Machine Interface). Los HMI más sencillos ofrecen una gestión de alarmas básica, en la que el operario está limitado a realizar una parada de emergencia, reparar y hacer un “reset”. En cambio, los sistemas SCADA utilizan un modo supervisor del HMI interactivo, que permite detectar alarmas y, a través de la pantalla, solucionar el problema mediante las acciones adecuadas en tiempo real.

Las características y prestaciones más significativas de los sistemas SCADA son las siguientes (Gómez, J. y otros, 2008) y (Cerrada, M. y otros, 2011):

- Adquisición y almacenado de datos para recoger, procesar y almacenar la información recibida en forma continua y fiable.
- Representación gráfica y animada de variables de proceso y su monitorización por medio de alarmas.
- Arquitectura abierta y flexible, con capacidad de ampliación y adaptación.
- Conectividad con otras aplicaciones y bases de datos, locales o distribuidos en redes de comunicación.
- Supervisión, para observar desde un monitor la evolución de las variables de control.
- Presentación, representación gráfica de los datos. Interfaz del Operador o HMI.
- Explotación de los datos adquiridos para gestión de la calidad, control estadístico, gestión de la producción y gestión administrativa y financiera.
- Posibilidad de crear paneles de alarma, con registro de incidencias.
- Generación de datos históricos de señal de Planta, que pueden ser incorporados para su proceso en una Hoja de Cálculo.
- Ejecución de programas que modifican la ley de control sobre el autómatas.
- Posibilidad de programación numérica, que permite realizar cálculos aritméticos de elevada resolución, sobre la CPU del ordenador y no sobre la del autómatas, menos especializada, etc.

Se describen ahora los componentes necesarios de **Hardware** de un sistema SCADA, para poder tratar y gestionar la información captada a través del Software asociado a este sistema (Pérez-López, E, 2015) y (Gómez, J. y otros, 2008):

1.- **Ordenador Central o MTU** (Master Terminal Unit):

Es el ordenador principal del sistema. Recoge y supervisa la información del resto de las subestaciones. Normalmente es un ordenador que soporta el HMI.

Las funciones principales del MTU son:

- Interroga periódicamente a las RTU y les transmite consignas, a través de un sistema maestro/esclavo.
- Actúa como interfaz del operador, al que presenta información de variables en tiempo real. Administra las alarmas y recolecta y presenta la información histórica.
- Puede ejecutar software especializado, asociado a la función supervisora del sistema SCADA. Por ejemplo, software para detección de fallos en una tubería.

2.- Ordenadores Remotos ó RTU (Remote Terminal Unit):

Estos ordenadores están colocados en los nodos estratégicos para gestionar y controlar las subestaciones. Para ello reciben las señales de los sensores de campo y ejecutan el software de la aplicación SCADA.

No tienen que ser necesariamente PC, ya que normalmente a este nivel no han de soportar un HMI. Suelen ser ordenadores industriales, tipo armarios de control.

Actualmente, lo que se suele hacer es dotar a los PLC (Programmable Logic Controller) con la capacidad de funcionar como RTU, gracias a un mayor nivel de integración y como CPU (Central Processing Unit) con mayor potencia de cálculo.

3.- Red de Comunicación:

El sistema SCADA gestiona la información que los instrumentos de campo envían a la red de ordenadores. El tipo de bus utilizado en las comunicaciones puede ser variado, según las necesidades del sistema y del software escogido para la implementación del sistema. No obstante, hoy en día, gracias a la estandarización de las comunicaciones con los dispositivos de campo, se puede implementar un sistema SCADA sobre prácticamente cualquier tipo de bus.

Los buses de alta velocidad y funcionalidad media son los que se utilizan en este nivel de "Célula". Se les conoce también como **DEVICEBUS** (Caler, R., 2015). Usan variables digitales y algunas analógicas y se utilizan para compartir dispositivos de campo entre varios equipos de control. Los más empleados en la industria actual son: MODBUS, DeviceNET, COMPOBUS, LONWorks, BITBUS, INTERBUS y UNI-TELWAY. Se describen a continuación algunos de ellos (Hurtado, J.M., 2015) y (Caler, R., 2015).

- a) **MODBUS:** Es un protocolo de comunicación serie desarrollado por la empresa Modicon (1979). Su objeto es la transmisión de información entre distintos equipos electrónicos conectados a un mismo bus. En el mismo existe un solo dispositivo maestro (Master) y varios equipos esclavos (Slaves) conectados. En su origen estaba orientado a una conectividad a través de líneas serie; pero con el paso del tiempo han aparecido variantes como MODBUS/TCP, que permite el encapsulamiento del MODBUS en tramas Ethernet TCP/IP (Transmission Control Protocol/Internet Protocol) de una manera sencilla (Figura 26). Se trata de uno de los protocolos más extendidos en el Sector Industrial. Lo cual es debido a varias razones diferenciales con otros protocolos. En primer lugar MODBUS es público, lo que permite a los fabricantes desarrollar dispositivos Master y Slaves sin necesidad de sujetarse a royalties aplicados al protocolo. Por otra parte su implementación es muy sencilla y el intercambio de información es flexible. Existen dos posibles modos de transmisión de las unidades de información (caracteres) que conforman el mensaje: el primero de ellos es el ASCII (American Standard Code for Information Interchange), con sistema de codificación hexadecimal, siendo el segundo el RTU, cuyo sistema de codificación es binario.
- b) **DeviceNET:** Es un estándar abierto que permite una solución de red económica a nivel de dispositivo. Está basado en la tecnología CAN. Fue desarrollado originalmente por Allen-Bradley, hoy en día Rockwell Automation. Las características principales de este bus son:



- Número máximo de nodos: 64.
 - Distancia máxima: entre 100 y 500 m.
 - Estructura de comunicaciones en bus con línea principal y posibilidad de bifurcación de la línea hacia los nodos.
 - Utiliza dos pares trenzados, uno para alimentación y el otro para datos.
 - Topología Lógica: admite el modelo maestro/esclavo, así como el multimaestro, igual a igual, etc., que se traduce en la transmisión de mensajes mediante diferentes métodos: sondeo, envío cíclico, etc.
- Las principales ventajas son su bajo coste, su alta fiabilidad, uso eficiente del ancho de banda e incorporación de tensión de alimentación de 24VDC en el mismo cable del bus. Las principales desventajas son el ancho de banda limitado y el tamaño, así mismo limitado, de los mensajes.

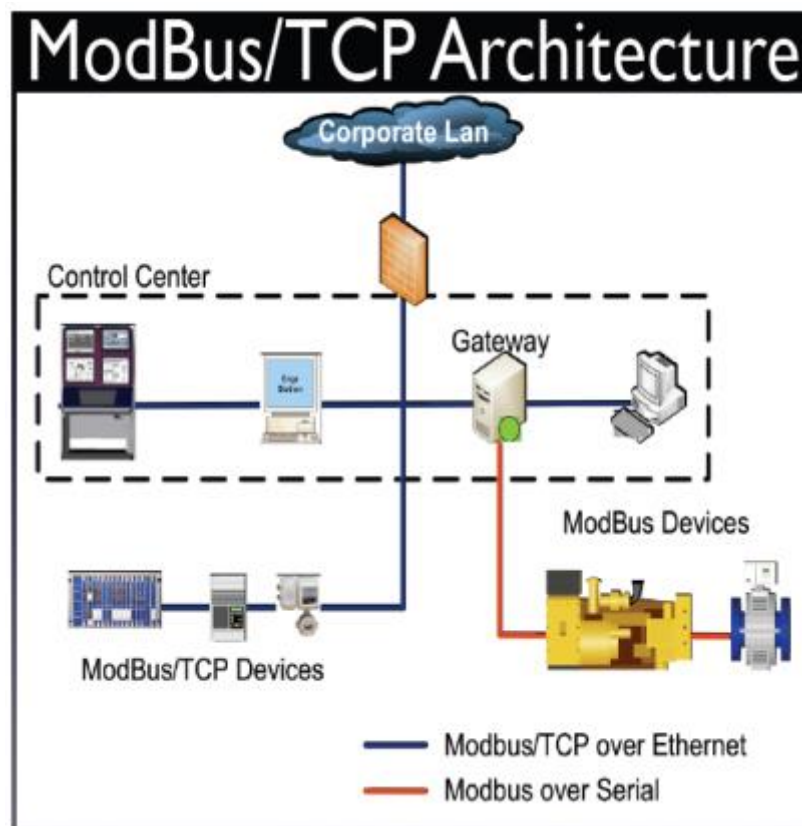


FIGURA 26: Arquitectura del MODBUS/TCP. Fuente: Hurtado, J. M., 2015.

c) **COMPOBUS:** Es una particularización de DeviceNET. Su principal impulsor es la Empresa OMRON. Tiene dos versiones:

c.1.- COMPOBUS-S, cuyas características son:

- Topología Física: Bus.
- Topología Lógica: Maestro/Esclavo.
- Velocidad máxima: 700 kbit/seg.



- Número máximo de dispositivos: En la red solo puede haber 1 Maestro y pueden haber direcciones hasta 32 Esclavos. Cada Esclavo puede tener hasta 256 Entradas/Salidas.
- Medio de transmisión: Cable plano de 2 hilos. Par trenzado apantallado.
- Longitud: Hasta 100 m de línea principal.

c.2.- COMPOBUS-D, cuyas características son:

- Topología Física: Bus.
- Topología Lógica: Maestro/Esclavo.
- Velocidad máxima: 0,5 Mbit/seg.
- Número máximo de dispositivos: Hasta 50 nodos.
- Medio de transmisión: 3 ó 5 hilos.
- Longitud: 500 m.
- Es un bus equiparable a AS-i, pero con una mayor funcionalidad.

d) **LONWorks** (Local Operating Networks): Es más una red de control que de datos, por lo que está orientado a la transmisión de pocos datos de manera segura y en un tiempo restringido.

LONWorks es capaz de funcionar en múltiples medios físicos de transmisión. Otras características de este bus son:

- Velocidad: Normalmente 78 kbit/seg.
- Topología Lógica: Maestro/Esclavo, punto a punto.
- Número máximo de dispositivos: 248 dominios x 255 subredes x 127 dispositivos en el mismo cable físico.
- Longitud de la red: 2.200 metros con topología de bus y con topología libre hasta 500 metros, ampliable.
- Método de transmisión: Básicamente par trenzado.
-

4.- Instrumentos de Campo:

Son aquellos que permiten realizar tanto la automatización o control del sistema (PLC, controladores de procesos industriales y actuadores en general), como los que se encargan de la captación de información del sistema (sensores y alarmas). Se ha tratado de estos instrumentos de campo en los dos apartados anteriores.

Se ha realizado hasta ahora un repaso del Hardware de los sistemas SCADA, se pasa ahora a enumerar los módulos o bloques de **Software** que permiten realizar las actividades de adquisición, supervisión y control, inherentes a estos sistemas (Pérez-López, E, 2015) y (Gómez, J. y otros, 2008):

1.- Configuración:

En este módulo el usuario define las pantallas gráficas o de texto que va a utilizar. Éstas pueden generarse en el propio SCADA ó pueden ser importadas desde otra aplicación. Se incorpora para ello un editor gráfico ó bien pueden utilizarse elementos estándar disponibles (líneas, círculos, textos ó figuras).



Durante la configuración también se seleccionan “drivers” de comunicación, para permitir el enlace con los elementos de campo. En algunos sistemas es también en este bloque donde se indican las variables que se van a visualizar, procesar ó controlar.

2.- Interfaz Gráfica del Operador:

El proceso a supervisar se presenta mediante sinópticos gráficos almacenados en el ordenador y, bien generados por el propio editor incorporado en el SCADA, ó bien importados desde otra aplicación de uso personal (AUTOCAD, por ejemplo).

A la hora de diseñar las pantallas, debe considerarse la utilización de colores que ayudan a la comprensión rápida de la información. Los colores deben usarse de forma consistente. Es decir, si rojo significa peligro ó alarma y verde indica normalidad, éstos han de ser sus significados en cualquier parte de la aplicación.

Previendo dificultades en la observación del color, debe añadirse alguna forma de redundancia, especialmente en los mensajes de alarma y atención (textos adicionales, intermitencias,...). La redundancia debe ser considerada como una componente de seguridad de SCADA (respaldos de información, duplicar con elementos diferenciados determinadas funciones, centros de control separados geográficamente que contrasten resultados y lecturas,...).

3.- Módulo de Proceso:

Ejecuta las acciones de mando preprogramadas a partir de los valores actuales de variables leídas. La programación de los procesos se realiza por medio de bloques de programa desarrollados en lenguaje de alto nivel (Basic, por ejemplo).

Es muy habitual en el sistema SCADA que se confíe a los dispositivos de campo, principalmente autómatas, el trabajo de control directo de la Planta. Mientras que se reserva al propio SCADA las operaciones propias de la supervisión: control del proceso, análisis de tendencias, generación de históricos,...

El programa que el SCADA ejecuta automáticamente puede manifestarse de diferentes maneras: Acciones de mando automáticas preprogramadas, dependientes de valores de señales (de entrada y/o salida), animación de figuras y dibujos, asociando forma, color, etc. al valor actual de las variables ó, también, gestión de recetas que modifican parámetros de producción de forma dinámica ó preprogramada, según la evolución de la Planta.

4.- Gestión y archivo de datos:

Se encarga del almacenamiento y procesado ordenado de los datos, según formatos inteligibles a los periféricos de hardware (impresoras, registradoras) ó de software (bases de datos, hojas de cálculo) del sistema SCADA, de manera que otra aplicación ó dispositivo pueda tener acceso a ellos. Pueden así, por ejemplo, seleccionarse determinados datos de la Planta para que sean capturados a intervalos periódicos. Los cuales pueden ser almacenados como un registro histórico de actividad. Ó bien pueden ser procesados, inmediatamente tras su recepción, por alguna aplicación de software para presentaciones estadísticas, análisis de calidad o mantenimiento.



Una vez procesados los datos se presentan en forma de gráficas analógicas, histogramas, representación tridimensional,..., que permiten analizar la evolución global del proceso.

2.5.2.4.- Nivel de Fábrica: Software MES.

En este Nivel las comunicaciones se confían a los Buses de altas prestaciones y a las Redes LAN Industriales.

Entre los primeros cabe destacar **PROFIBUS** (PROcess Field BUS). Fue desarrollado entre los años 1987-1989 por empresas alemanas (ABB, Bosch, Klöckner, Möller, Siemens,..) y por cinco Institutos de Investigación alemanes. Se trata de uno de los buses de campo más usados, con más de 20 millones de nodos instalados.

Es un bus abierto que, además de a este Nivel de Fábrica, puede implementarse en otros niveles del proceso industrial y, también, en la automatización de edificios.

En la actualidad existen tres diferentes versiones de PROFIBUS (Hurtado, J.M., 2015):

- PROFIBUS-DP (Distributed Peripherals): Su protocolo se ha diseñado para la comunicación rápida con unidades periféricas descentralizadas, así como con rápidos tiempos de reacción. Diversos fabricantes ofrecen estos dispositivos. Los cuales abarcan desde módulos sencillos de entradas ó de salidas, hasta controladores de motores y sistemas de automatización. Normalmente las redes PROFIBUS-DP están formados por un maestro y varios esclavos. El maestro inicializa la red y verifica si los esclavos coinciden con la configuración. Muestra pues una estructura clásica Maestro-Eslavo.
- PROFIBUS-PA (Process Automation): Es la ampliación de PROFIBUS-DP, compatible en comunicación con una tecnología que permite aplicaciones en áreas con riesgo de explosión.
- PROFIBUS-FMS (Field Message Specification): Este protocolo es aplicable para la comunicación con dispositivos de campo con interface FMS. En esta versión la funcionalidad es más importante que conseguir un tiempo de reacción pequeño.
- En la (Figura 27) se muestran las características más importantes para cada versión.

	PROFIBUS-FMS	PROFIBUS-DP	PROFIBUS-PA
Aplicación	Nivel de campo y proceso	Nivel de E/S	Nivel de E/S
Estándar	EN 50 170/IEC 61158	EN 50 170/IEC 61158	IEC 1158-2
Dispositivos conectables	PLC, PG/PC, Dispositivos de campo	PLC, PG/PC, Dispositivos de campo, accionamientos, OPs	Dispositivos de campo para áreas con riesgo de explosión
Tiempo respuesta	< 60 ms	1-5 ms	< 60 ms
Tamaño red	<= 150 Km	<= 150 Km	Máx. 1.9 Km
Velocidad	9.6 Kbit/s -12Mbit/s	9.6 Kbit/s -12Mbit/s	31.25 Kbit/s

FIGURA 27: Diferentes versiones PROFIBUS y principales características. Fuente: Hurtado, J. M., 2015.

Los otros grandes medios de comunicación informáticos los representan las Redes LAN Industriales (Local Area Network) ó Broadcast. Son conexiones en paralelo (Cliente/Servidor) frente a los Buses (Maestro/Esclavo), que son conexiones en serie.

En 1985 el IEEE (Institute of Electrical and Electronics Engineers) produjo una serie de normas para las LAN (Mallol, J.G. y otros, 2020) y (Caler, R., 2015). En concreto una de ellas, IEEE 802, es la conocida como **Ethernet**. Se trata de una red cuyo estándar especifica una velocidad de transmisión de 10 Mbit/seg, aunque con la versión Fast Ethernet se alcanzaron los 100 Mbit/seg. Con la actual Ethernet Gigabit se alcanza hasta los 10 Gbit/seg.

Ethernet es una red de comunicaciones muy extendida. Las razones son varias. Por un lado tiene un esquema abierto de interconexión, así como una alta eficiencia en el intercambio de grandes volúmenes de información. Por otro lado, las interfaces requeridas tienen un bajo coste de implementación y su velocidad es alta.

La mayoría de los buses tradicionales han evolucionado para ser utilizados sobre redes Ethernet. Suelen ser redes situadas en los niveles más altos de la pirámide CIM.

Algunos de los principales buses tradicionales, con especificaciones basadas en Ethernet, que actualmente se están comenzando a utilizar son:

- a) **MODBUS TCP:** La especificación MODBUS TCP/IP (Transmission Control Protocol / Internet Protocol) fue desarrollado en base al estándar MODBUS RTU en 1999. Permite encapsular el paquete de información de la trama MODBUS dentro de la estructura de mensajería del protocolo TCP/IP.
MODBUS TCP puede considerarse hoy en día como el protocolo de Ethernet Industrial más popular, debido a la sencillez de su aplicación utilizando el estándar Ethernet. Las características principales de este protocolo son:
 - Velocidad: 10 Mbit/seg, 100Mbit/seg, 1Gbit/seg.
 - Topología física: En general en estrella, si bien también se emplean topologías en bus, anillo ó árbol.
 - Tipo de comunicación: Centralizada.
 - Longitud de la red: Número teóricamente ilimitado de nodos y distancia. La limitación práctica de éstos viene dada por la velocidad de transmisión.
 - Método de transmisión: Utiliza Ethernet estándar.
- b) **Ethernet/IP:** Es un protocolo basado en Ethernet para aplicaciones de automatización industrial, que utiliza el conjunto de protocolos Ethernet IP / UDP (User Datagram Protocol)/TCP estándar.
Ethernet/IP también ha sido desarrollado para ofrecer características de seguridad y funcionalidad. Tiene también una importante y creciente implantación, debido a la simplicidad de la aplicación utilizando el estándar Ethernet, su compatibilidad con las normas existentes y su longevidad en el mercado.
Sus características principales son:
 - Velocidad: 10 Mbit/seg, 100 Mbit/seg, 1 Gbit/seg.
 - Topología física: Generalmente en estrella. También pueden utilizarse topologías en bus o en árbol.
 - Tipo de comunicación: Centralizada.
 - Longitud de la red: Teóricamente ilimitada. No obstante los tiempos de ciclo y de red son un factor limitante del rendimiento.



- Método de transmisión: Utiliza la norma Ethernet.
- c) **EtherCAT:** Se podría considerar como un bus de campo en tiempo real para su uso sobre Ethernet Industrial. Fue desarrollado por la Compañía Beckhoff, en la búsqueda de la integración del protocolo Ethernet en un entorno industrial. Posteriormente se entregó al Grupo de Tecnología abierto EtherCAT, para su mantenimiento, soporte y desarrollo. Combina las funcionalidades y tecnologías de Ethernet con la simplicidad de un bus de campo, concretamente CANopen, que concretamente es su base.
El sistema empleado por este protocolo modifica ligeramente el hardware estándar de Ethernet. Esto es con el fin de garantizar la eficiencia de las comunicaciones, a través del uso de una estructura que permite transferir los datos entre dispositivos de forma repetitiva.
Sus características principales son:
 - Velocidad: 100 Mbit/seg.
 - Topología física: Bus replicado.
 - Tipo de comunicación: Típicamente estrella; pero también admite bus ó árbol.
 - Número máximo de dispositivos: 65.536; no obstante la tasa de actualización de red se verá afectada.
 - Longitud de la red: En teoría ilimitada. Sin embargo la velocidad de actualización la limita.
 - Método de transmisión: Tecnología Ethernet estándar, con gestión de tiempo.
 - Admite redundancia en las redes.
- d) **PROFINET:** Basa su funcionamiento en el estándar PROFIBUS; pero su integración se realiza sobre Ethernet. Incluye la comunicación de bus de campo en toda la Planta. PROFINET puede manejar transmisiones Ethernet estándar y transmisiones en tiempo real a velocidades por debajo de milisegundos. PROFINET está algo por detrás de MODBUS TCP/IP y Ethernet IP en términos de instalaciones efectuadas, principalmente porque lleva menos tiempo en el mercado. Si bien, la popularidad de PROFIBUS asegura que su ratio de implantación irá mejorando con la salida al mercado de nuevos productos.
Sus principales características son:
 - Velocidad: 100 Mbit/seg y superior.
 - Topología física: Generalmente estrella y también puede ser bus, árbol o malla.
 - Tipo de comunicación: Centralizada.
 - Número máximo de dispositivos: Hasta 200 puntos de Entrada/Salida. Una ventaja de PROFINET frente a PROFIBUS es que puede tener más nodos en la red.
 - Longitud de la red: En una red eléctrica la distancia máxima entre dos dispositivos es de 100 m. Con componentes externos de fibra óptica se puede llegar a 26 km.
 - Método de transmisión: Ethernet basada en VLAN (Virtual LAN).

En los tiempos recientes, hablando siempre a nivel del **Hardware**, la introducción de nuevos conceptos como **IoT** (Internet of Things) y **CPS** (Cyberphysical system), aplicados a los escenarios de la Industria, ha implicado enormes cambios en la automatización industrial. Esto ha sido posible en parte por los recientes avances de la tecnología, que han permitido la interconexión entre elementos a una mayor y más detallada escala.

La Figura 28 muestra la secuencia de la evolución de las comunicaciones industriales. Se produjeron cambios importantes a partir del año 2000, cuando IT (Internet Technology) hizo su aparición, comenzando desde entonces a ser ampliamente utilizado. En el terreno del hardware de automatización, este hecho estimuló la utilización de nuevas redes basadas en Ethernet, que adoptaron la tecnología básica del nuevo paradigma de IT (Wollschlaeger, M. y otros, 2017).

Más concretamente, **IIoT** (Industrial Internet of Things) es un término que se refiere a los dispositivos de Hardware que pueden operar, interrelacionándose, a través del Internet de las Cosas, para ayudar en la mejora de los procesos industriales. IoT es un término más general, por ejemplo, dispositivos domésticos inteligentes que permiten conectar de manera directa consumidor y proveedor.

Se nombran, únicamente a título informativo, algunas tecnologías y herramientas que se considera contribuirán en los próximos años a la consolidación de esta tendencia (Mallol, J.G. y otros, 2020): OPC (Open Platform Communication), también conocido como OLE (Object Linking and Embedding) for Process Control (basado en tecnología Windows), TSN (Time-Sensitive Network) (estándar Ethernet), 5G (Fifth Generation) y LPWAN (Low Power Wide Area Network) (ambas, tecnologías de IIoT).

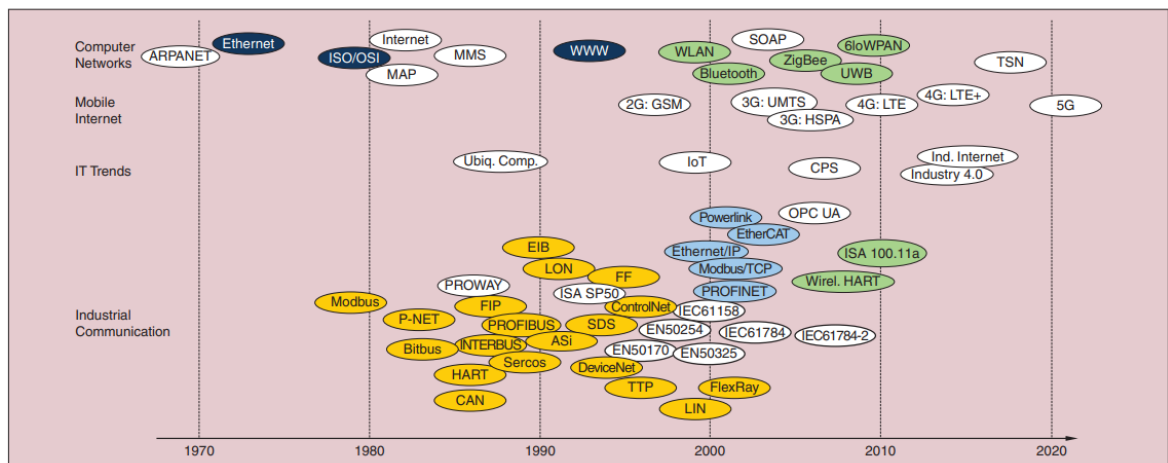


FIGURA 28: Los hitos en la evolución de las comunicaciones industriales y los marcos tecnológicos relacionados. Fuente: Wollschlaeger, M. y otros, 2017.

Entrando ahora en los sistemas de gestión y planificación (**Software**) asociados a este Nivel de Fábrica, correspondiente al Nivel 3 de la pirámide CIM, pueden citarse los historizadores, los sistemas de gestión del mantenimiento (**GMAO**, Gestión del mantenimiento asistido por ordenador) y, muy especialmente, los sistemas de ayuda a la ejecución de la producción (MES, Manufacturing Execution Systems).

MES es un sistema avanzado que permite gestionar, de un modo integral, todos los procesos de producción en una Planta.

Proporciona una supervisión y sincronización eficaz en toda la Fábrica con el objeto de conseguir una alta productividad, mejorar la calidad del producto final y garantizar la capacidad de respuesta a la demanda del mercado. El logro de estos objetivos exige la obtención y manejo de datos completos, precisos y accesibles, procedentes de los procesos de producción.

La definición de un sistema **MES** es la de un software que actúa como sistema de control y monitoreo de la información, para la gestión de procesos de producción en entornos industriales. Su implantación necesita de sistemas de control de supervisión y adquisición de datos (sistemas SCADA). También es fundamental que los fabricantes integren su sistema MES con sus soluciones ERP, para transferir información sobre el rendimiento de la producción, consumo de materiales,...

Las principales funciones desarrolladas por un sistema MES completo son:

- Implementar planes y programas de producción y ajustarlos cuando sea necesario.
- Asignar recursos (humanos y materiales) a cada etapa y actividad de producción.
- Proporcionar a los empleados de la Planta de producción planes detallados sobre las tareas que deben realizar durante el ciclo de producción.
- Proporcionar representaciones visuales del taller, así como de las ubicaciones físicas de las estaciones de trabajo y los equipos.
- Permitir a los gerentes y jefes de planta monitorear los movimientos de materias primas, personal y productos semielaborados, en las áreas de producción en tiempo real (**Trazabilidad** completa de la producción).
- Capturar datos de los sistemas SCADA y analizarlos para realizar un seguimiento del rendimiento de los equipos.
- Ayudar a los gerentes a identificar problemas potenciales de producción y a tomar las medidas necesarias para resolverlos.
- Emitir informes, cuadros de mando y capacidades analíticas, para realizar un seguimiento de la producción, la utilización de recursos y el rendimiento de los equipos de producción.
- Puede también reducir los residuos, así como el inventario, a través de varios métodos de programación.

Acercas de su funcionamiento hay que hacer notar que, un sistema MES conoce tanto el plan de producción actual como el previsto, así como el progreso actual de la producción. Por ello pueden predecirse las secuencias de suministro de materias primas y la utilización de recursos. Lo que permite al MES gestionar dichos recursos de acuerdo con las exigencias de producción final. Incluso MES puede ajustar el programa de producción final, si se superan las capacidades de los recursos.

Un dato importante, a tener presente de forma continua en cada etapa del proceso de fabricación de una Planta, es el de la productividad real de las máquinas. Dentro del Software MES se utiliza para su obtención el **indicador OEE** (Overall Equipment Effectiveness). Éste recoge, en un solo ratio, información de tres factores clave en la productividad:

- **Disponibilidad:** Mide el tiempo durante el que realmente se está produciendo frente al tiempo disponible de la máquina. Cuantitativamente se obtiene a través del cociente entre el tiempo productivo considerando los arranques de máquinas, cambio de operarios, averías y esperas, dividido por el tiempo disponible para un período de producción determinado.
- **Rendimiento:** Mide la producción real obtenida frente a la capacidad productiva de la máquina. Se cuantifica a través del cociente de la producción real con la capacidad productiva de diseño de una máquina. Dicho rendimiento se ve afectado por las microparadas y la velocidad reducida de la cadena de producción.
- **Calidad:** Mide los productos libres de defectos fabricados frente al total de piezas producidas. Es el resultado de dividir la producción, conforme a los estándares, entre la producción real. Este índice se ve lastrado por las piezas defectuosas que la máquina fabrica y que obligan a repetir el trabajo.

La expresión del indicador es: **OEE = Disponibilidad x Rendimiento x Calidad.**

El acrónimo MES fue acuñado a lo largo de los años 80. Más recientemente, en la década de los años 90, aparece un concepto de software más amplio: el **sistema MOM** (Manufacturing Operations Management). Éste contempla, además de la gestión de las operaciones ligadas a la producción, incluidas en el sistema MES, la gestión de operaciones de mantenimiento, de calidad, de seguridad y de inventario.

2.5.2.5.- Nivel de Empresa: Software ERP.

Los sistemas ERP (Enterprise Resource Planning) se desarrollaron en la década de los 90 a partir de los **MRP** (Material Requirement Planning). Los MRP aparecieron en los años 40, como recurso para la gestión de stocks del ejército de Estados Unidos. Posteriormente empezó a utilizarse para la gestión de horarios de operación y compras de materias primas. Evolucionando, en los años 80 con la progresiva informatización de los procesos industriales, hacia una gestión completa de la cadena de valor. Finalmente, en los 90, los MRP evolucionan hacia los actuales ERP, que centralizan en una única solución todas las áreas de la Empresa.

Diferentes autores han dado sus propias definiciones para el término ERP, en las que se observa como han ido evolucionando estos sistemas. Hoy en día, los conceptos que se consideran esenciales para que un sistema se identifique como un ERP son (Oltra, R.F., 2015):

- Es un Software: Cuando se habla de un ERP se está hablando de un Software, es decir, de una aplicación informática.
- Integrado: **El Software debe integrar los diferentes procesos de la organización**, a través de una única Base de Datos y un dato único. Se deben incluir todos los procesos básicos de una empresa, como son la contabilidad y finanzas, la gestión de la producción, almacén, compras, ventas, recursos humanos, marketing, etc.



- Modular: El Software debe ser modular para que pueda considerarse un ERP. Es decir, debe tener módulos que pueden o no ser activados, en función de la organización que lo vaya a utilizar. Los módulos suelen coincidir con áreas o funciones de la Empresa: módulos de RRHH, de Producción, de Gestión de Almacenes, de Contabilidad, de Gestión de Costes, De Inventarios, de Compras, de Ventas, de Ingeniería, de Planificación de la Producción, Módulo de Gestión de Activos Fijos,... Cada empresa, según sus necesidades, activa los módulos que pueda necesitar, los cuales son diferentes de unas a otras (Figura 29).



FIGURA 29: Módulos habitualmente disponibles en una solución ERP para la gestión de recursos.

- Standard: Un sistema ERP debe ser un sistema estándar, no un programa que se desarrolla en cada ocasión que se implanta. Es un software comercial que se instala, se configura y además puede ser libre.
- Proceso de negocio: Un sistema ERP está basado en procesos de negocio y no en actividades de un solo departamento, por ejemplo. Los procesos de negocio que proponen los ERP están basados en las mejores prácticas en muchos sectores. Por ello, los ERP pueden ser utilizados por todo tipo de empresas.
- Configurable: Debe ser adaptable a las necesidades particulares del negocio de cada empresa. Lo que se conoce como "configuración" ó "parametrización" del sistema.

Según el marco en el que se realice la gestión de los datos, hoy pueden diferenciarse tres tipos de ERP (Mallol, J.G. y otros, 2020). Inicialmente los ERP eran residentes en servidores ó sistemas informáticos ubicados en las propias instalaciones de la Empresa, constituyendo lo que se conoce como “ERP en local” u “On-premise”. Con el progresivo desarrollo y utilización de Internet y de los servicios “Cloud”, han ido apareciendo cada vez más sistemas ERP que trabajan directamente en la “Nube”. El tercer tipo lo constituyen las aplicaciones híbridas, que combinan el almacenamiento de información, tanto en local como en la nube. La elección de un formato de gestión dependerá de las necesidades o requerimientos de cada empresa.

A día de hoy la implantación de ERPs en las PYMEs está bastante generalizado. A los paquetes habituales que contempla (compras, ingeniería, producción, contabilidad,...), comienza a ser bastante habitual que se les añadan módulos específicos para la planificación y secuenciación productivas, que garanticen máxima eficiencia de las operaciones.

Los sistemas de planificación definen generalmente las cantidades y referencias de productos a fabricar en un determinado período de tiempo. Por su parte, los sistemas de secuenciación indican cual es la sucesión óptima de operaciones que debe seguir un producto, para poder ser entregado en un determinado momento. El concepto “óptimo” engloba aquí otros varios: tiempo mínimo de fabricación, coste mínimo, máxima calidad, máxima productividad,...

Este módulo de planificación y secuenciación debe ser capaz de calcular las necesidades de materias primas, mano de obra, maquinaria y equipo, para cubrir las necesidades de la producción en todo momento. Tras ello, debe poder generar las correspondientes órdenes de fabricación, indicando cantidad y recursos a poner a disposición para la ejecución de las tareas. Además, una vez planificada y lanzada la orden, debe realizar un seguimiento de la producción a partir, por ejemplo, de los datos suministrados por un sistema MES. Con ello el sistema ha de ser capaz de detectar e informar de las posibles diferencias que se detectan entro lo planificado y lo que se está ejecutando.

En la Figura 30 se muestra el esquema de automatización e integración de un proceso industrial tipo, bajo un entorno de Arquitectura Industrial 4.0. Se trata concretamente de la Plataforma “Totally Integrate Automotion” de Siemens (Siemens, 2013). Se puede observar que los instrumentos de campo interactúan con los de control. Los cuales, a su vez, interactúan con el sistema de ejecución de fabricación (MES) y con la planificación de recursos empresariales (ERP). Aparecen en el esquema todos los niveles de automatización de la pirámide CIM, con las redes de comunicación en cada uno de estos niveles.



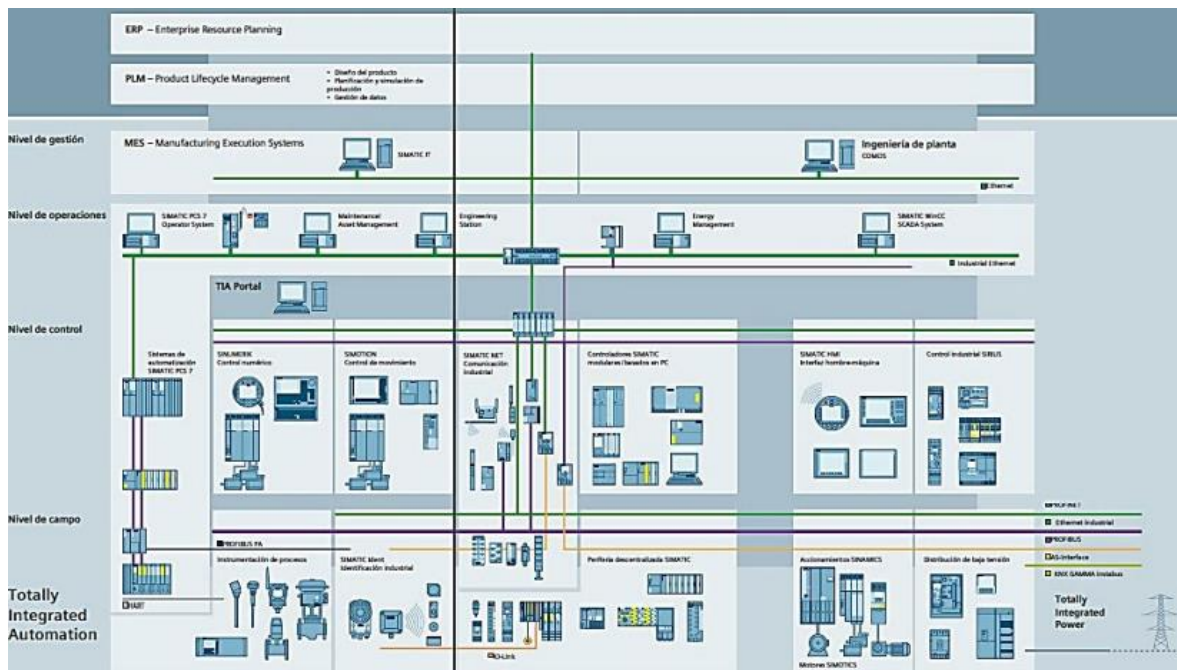


FIGURA 30: Esquema de automatización e integración de un proceso industrial tipo, según los niveles de la pirámide CIM. Fuente: Siemens, 2013.

2.5.3.- Visualización de los procesos: El Gemelo Digital.

Las herramientas y sistemas descritos en el apartado anterior son elementos necesarios, pero no conforman por sí solos el marco estructural que permita la transformación de la industria convencional hacia los estándares de la Industria 4.0. Se trata de herramientas muy útiles para gestionar y visualizar información clave para las empresas y dotarlas de la transparencia exigida por la Industria 4.0. Pero, generalmente, están faltas de las capacidades necesarias para dar un paso más, que se considera decisivo en la consecución de ese objetivo, que es convertirlos en empresas ágiles con capacidad de autoaprendizaje, que permita la predicción de sucesos futuros relacionados con la optimización de los procesos de producción.

En ese sentido adquiere importancia la noción de “Gemelo Digital”. En términos generales éste puede definirse como un elemento digital dinámico, que representa el comportamiento histórico y actual de un proceso físico, con el objeto de optimizarlo desde el punto de vista de su eficiencia técnica y económica.

El funcionamiento del Gemelo Digital está basado en una gran cantidad de datos físicos, tomados en tiempo real a través de las diferentes fases del proceso productivo. El tratamiento digital de estos datos puede permitir mejoras en la gestión de los procesos físicos, a través de la introducción, por ejemplo, de cambios en el diseño de los productos ó de los propios procesos.

Una característica fundamental, que corrobora su utilidad, es que el Gemelo Digital puede proveer de un enlace, en tiempo real prácticamente, entre los mundos físicos y digital de los procesos. Es decir, el Gemelo Digital es una réplica virtual exacta de lo que ocurre en tiempo real en los procesos físicos de la Fábrica (Figura 31).

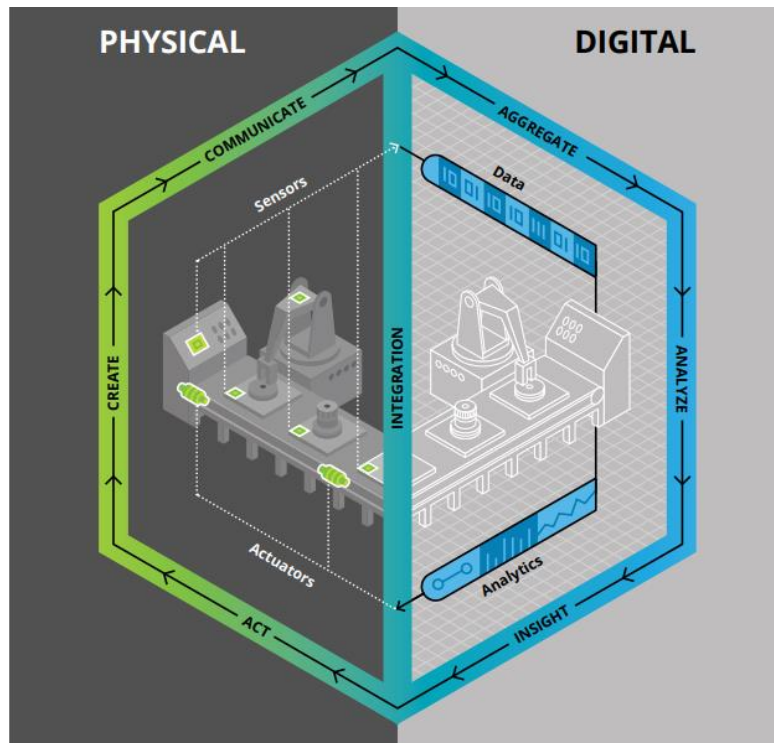


FIGURA 31: Modelo del Gemelo Digital de un proceso físico de fabricación. Fuente: Deloitte University Press.

El modelo que desarrolla el Gemelo Digital está constituido por los siguientes elementos (Parrot, A. y Warshaw, L., 2017):

Sensores: Están distribuidos por todas las etapas del proceso de manufacturación. Crean señales que permiten al gemelo virtual la captura de datos operativos y ambientales pertenecientes al terreno físico de los procesos.

- **Datos:** Los datos operativos y ambientales recibidos de los sensores son agregados y combinados con datos procedentes de la Empresa, tales como la lista de materiales (BOM: Bill of materials), sistemas implantados en la Empresa y especificaciones de diseño. Los datos pueden también contener otros elementos como esquemas de ingeniería, conexión de flujos externos de datos y plataformas de reclamaciones de clientes.
- **Integración:** Los sensores comunican los datos obtenidos con el modelo virtual, a través de las tecnologías de integración entre ambos dominios físico y digital, que incluyen interfaces de comunicación y de seguridad.
- **Análisis:** Se utilizan técnicas de análisis específicas para estudiar los datos a través de algoritmos de simulación y rutinas de visualización, que son utilizados por el Gemelo Digital para generar aportaciones al proceso.



- **Gemelo Digital:** El lado “digital” de la Figura 31 constituye el Gemelo Digital en sí mismo. Es decir, se trata de una aplicación que combina los componentes mencionados más arriba para incorporarlos en un modelo digital que reproduce, prácticamente en tiempo real, el proceso físico. El objetivo principal del Gemelo Digital es la identificación de desviaciones respecto a un funcionamiento correcto del proceso físico, en sus diversas etapas.

La utilización de este modelo puede también permitir el ahorro de costes, la mejora de la calidad de los productos, así como buscar la máxima eficiencia global del proceso. El resultado de todo ello puede tener, finalmente, como consecuencia la necesidad de introducir modificaciones en la planificación en el ámbito físico, a través de instrucciones emanadas desde la propia aplicación.

- **Actuadores:** Son los elementos a través de los que se introducen en el ámbito físico de producción las acciones que contempla el Gemelo Digital para la mejora del proceso de manufacturación.

Para llegar a disponer de un Gemelo Digital, las empresas han de dar habitualmente una serie de pasos previos. Los cuales están relacionados con el nivel de integración que pueda establecerse entre el proceso físico y su imagen virtual (Mallol, J.G. y otros, 2020) (Figura 32). En una primera fase es necesario llegar a disponer de un “**Modelo Digital**”. Se trata de una representación digital del proceso físico al que se llega sin utilizar ningún tipo de intercambio automatizado de datos entre los mundos físico y virtual. Pueden ser modelos de simulación, modelos matemáticos ó cualquier otro tipo de modelo de objetos físicos sin conexión automática de datos.

Una vez se ha llegado a este punto, existe otro paso intermedio, que es el de generar una “**Sombra Digital**”. Para ello se implementa un flujo unidireccional y automatizado entre el ámbito físico del proceso y el mundo digital. En este punto, si se produce un cambio en el proceso físico, la consecuencia es también un cambio en el proceso digital; pero no ocurre así a la inversa.

Por último, si el flujo automatizado de datos se produce en ambas direcciones, entre los ámbitos físico y virtual, se llega al **Gemelo Digital**. En esta situación, un cambio de estado en el proceso digital también tiene consecuencias en el terreno físico.



FIGURA 32: Grados de integración entre los procesos físico y digital en el camino hacia el Gemelo Digital.
Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020.

Para la implantación del Gemelo Digital se puede plantear una arquitectura similar a la expresada anteriormente para el modelo descrito (Parrot, A. y Warshaw, L., 2017) (Figura 33):

- Creación: Este paso contempla el equipamiento constituido por multitud de sensores instalados en la maquinaria y equipamiento del proceso físico y su entorno, para la medición de datos relevantes. Estos datos pueden ser clasificados en dos categorías: (1) Datos operativos derivados del propio proceso físico de fabricación, tanto en lo referente a materias primas como a productos semielaborados (por ej.: resistencia a tracción, deformación, uniformidad de color,...). (2) Datos del entorno ó externos, que pueden afectar a las propias operaciones, ó bien al producto final (temperatura ambiente, presión barométrica, nivel de humedad,...).
Las medidas de estos datos pueden transformarse en mensajes digitales codificados y seguros, para ser transmitidos al Gemelo Digital
Las señales procedentes de los sensores van a ser normalmente procesadas por softwares de tratamiento de la información como MES, ERP, CAD,...Lo que permite alimentar al Gemelo Digital con datos procesados y actualizados.
- Comunicación: Esta etapa ayuda a la continua conexión, en tiempo real y bidireccional, entre las plataformas física y virtual del proceso industrial. Para ello, el desarrollo de las redes de comunicación ha constituido uno de los cambios radicales, que han hecho posible la aparición del Gemelo Digital.
Esta etapa comprende a su vez tres conceptos:
 - Desarrollo de procesos: los interfaces de borde permiten conectar los sensores con los datos históricos de los procesos, las señales de los propios procesos y datos de éstos desde las propias fuentes de generación. Los avances en esta área han eliminado cuellos de botella que limitaban la viabilidad del Gemelo Digital en el pasado.
 - Interfaces de comunicación: Estos dispositivos ayudan a transferir información desde los sensores a los elementos de integración.
 - Desarrollo de la seguridad: A medida que la aportación de información proviene de forma creciente a través de redes externas (IP), se hace más necesario el desarrollo de dispositivos y protocolos de seguridad. Las medidas a implementar son amplias: encriptación de la información, contraseñas, certificado de dispositivos, cortafuegos,...
- Agregación: Este paso contempla el tratamiento de los datos y su preparación para su análisis posterior. Esta agregación puede producirse de forma local en el propio sistema informático de la Empresa, ó a través de la “Nube”.
- Análisis: En esta etapa los datos son analizados y visualizados. Para ello pueden utilizarse avanzadas tecnologías y plataformas de análisis, que se apoyen en modelos iterativos capaces de generar ideas y recomendaciones, de cara principalmente a facilitar la toma de decisiones.
- Nuevos conocimientos: En esta fase los resultados procedentes del análisis son presentados y visualizados, con el objeto de mostrar las desviaciones existentes entre el funcionamiento de algunos elementos en el ámbito físico, respecto del virtual. El objetivo es identificar aquellas áreas que potencialmente debieran ser objeto de investigación y cambio.



- Actuación: Este paso final es el encargado de poner en práctica los conocimientos desarrollados a partir de las etapas previas. Las órdenes derivadas se decodifican ó bien son enviadas a los actuadores del proceso físico, responsables del movimiento y control de los mecanismos, ó bien actualizan datos de la cadena de suministros de materias primas, ó de productos intermedios. La conversión de estas órdenes en operativas están siempre sujetas a la intervención humana.

Con respecto al grado de implantación actual del “Gemelo Digital” en las empresas, puede decirse que empieza a utilizarse de forma generalizada en grandes empresas. Su implantación dentro del concepto de Industria 4.0 está, concretamente, muy directamente ligada con la progresiva digitalización de la economía y a la disponibilidad de tecnologías IoT.

Por su parte en cambio, España se encuentra en un puesto rezagado del “Networked Readiness Index” en relación a países como Irlanda, Lituania o Portugal y, en particular, por debajo de la media de la U.E. (Ametic, 2021).

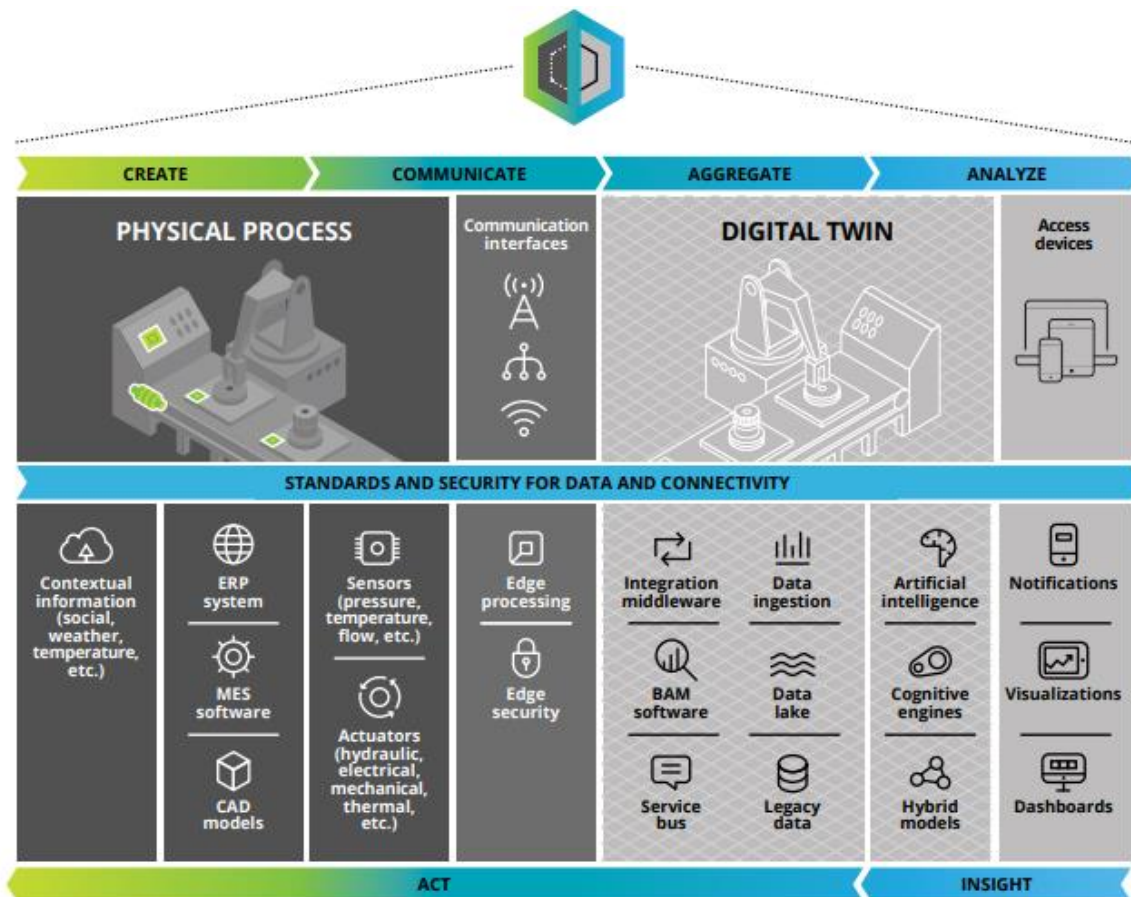


FIGURA 33: Arquitectura conceptual del Gemelo Digital. Fuente: Deloitte University Press.

Si se analiza además el nivel de digitalización, la cifra se reduce al 10% del sector industrial español. Estos datos chocan con las previsiones a nivel global. Éstas indican que en el presente años 2022 prácticamente dos tercios de las empresas que dispongan de tecnologías IoT dispondrán, al menos, de un Gemelo Digital.

Lo que ocurre en realidad es que las PYMEs se han descolgado claramente del ritmo de digitalización en España. Por lo que resulta muy difícil marcar plazos para la generalización de los gemelos digitales. Además, a los bajos niveles de digitalización hay que sumar el déficit de formación profesional para el manejo de estas tecnologías.

No obstante, las empresas industriales deberán apostar por el desarrollo de un Gemelo Digital para su negocio, si se pretende seguir siendo competitivas en la era de la Industria 4.0.

2.5.4.- Big Data, Inteligencia Artificial (I.A.) y Machine Learning (M.L.)

Tal como ya se ha reseñado en el apartado 4.4, se consideran seis etapas en el camino de la evolución de una Empresa hacia la Industria 4.0. Hasta aquí se han analizado tres de ellas: Informatización, Conectividad y Visualización. De ellas, solamente ésta última se considera que forma parte del concepto de Industria 4.0. Las dos primeras se integran en un proceso previo a seguir por las empresas conocido como Digitalización.

Las otras tres etapas a desarrollar por una Compañía, hasta completar plenamente todos los parámetros que caracterizan a la Industria 4.0 son: Transparencia, Capacidad Predictiva y Adaptabilidad. Constituyen las fases más avanzadas en el camino hacia esta nueva concepción de la Industria y su análisis desborda el objetivo pretendido en el presente trabajo.

No obstante, se pasa a continuación a introducir someramente algunos conceptos básicos para el desarrollo de estas etapas, con las que se completaría el paradigma actual que se espera de la Industria 4.0.

- a) Con respecto a la etapa de Transparencia, tal como se puso de manifiesto en el punto 4.4.4, tiene la misión de implementar las herramientas que faciliten la comprensión de los eventos, analicen sus causas y, en definitiva, amplíen el conocimiento del proceso de producción industrial en todas sus fases.

Las nuevas tecnologías de sensorización de los equipos de producción, aportan volúmenes crecientes de información. La correcta interpretación de las interacciones que visualiza el Gemelo Digital, obliga al tratamiento de la gran cantidad de datos manejados con las técnicas adecuadas de Ingeniería de Procesos.

Para ello, las tecnologías tradicionales de bases de datos relacionales (RDBMS: Relational Database Management System), estructuradas en tablas de filas y columnas, no son adecuadas. Se necesita la aplicación de nuevas tecnologías que puedan abarcar la complejidad de datos no estructurados en continua expansión. En este contexto adquiere todo su sentido el concepto de “Big Data”.

Por Big Data se entiende, por un lado, las cantidades de datos a gran escala que sobrepasan la capacidad del software convencional para ser capturadas, procesadas y almacenadas en un tiempo razonable. La mayoría de expertos definen el Big Data en términos de las cinco “Vs”:

- Volumen: La cantidad de datos se define “Big” no cuando supera un tamaño definido, sino cuando su almacenamiento, procesamiento y explotación se convierten en un reto para la Empresa.



- **Velocidad:** La segunda característica del Big Data está relacionada con el ritmo al que los datos se están generando. Éste suele aumentar constantemente y necesita una respuesta en tiempo real por parte de la Empresa.
- **Variedad:** un reto importante del Big Data reside en la gran cantidad de formatos diferentes en los que se encuentran los datos: bases de datos, hojas Excel, imágenes,...
- **Veracidad:** Además, los datos han de ser confiables y han de mantenerse inalterados. Esto es muy importante a la hora de poder tomar decisiones de forma automatizada.
- **Valor:** Finalmente, los datos y, consecuentemente, su análisis deben traducirse en un beneficio tangible para la Empresa: económica, calidad de los productos, trazabilidad completa,....

Por otra parte, el concepto de Big Data engloba también las infraestructuras, tecnologías y servicios que han sido creados para gestionar esta gran cantidad de información, a fin de poder extraer valor y conocimiento para la Empresa, con el objetivo de permitir la toma rápida de decisiones y, si es posible, a tiempo real.

Se enumeran a título meramente de información algunas de estas herramientas y lenguajes de Big Data: Hadoop, NoSQL, Spark, Storm, Hive, R, D3.js.

Desde el punto de vista de un aprovechamiento actual al máximo del potencial de Big Data, hay que reconocer que se trata de un concepto relativamente nuevo y en continua evolución. No son pocos los retos a los que se enfrentan hoy las Compañías, especialmente las PYMEs, para el manejo adecuado de grandes datos:

- **La Tecnología:** Las herramientas Big Data como Hadoop, por ejemplo, no son fáciles de administrar. Requieren de profesionales de datos suficientemente especializados y, además, de importantes recursos de mantenimiento.
- **La Escalabilidad:** Un proyecto de Big Data puede crecer a gran velocidad, por lo que la Empresa ha de programar muy bien la asignación de recursos, para evitar interrupciones o retrasos en los procesos de producción.
- **El Talento:** Escasean los perfiles profesionales adecuados para el Big Data. Por lo que las empresas han de redoblar los esfuerzos de formación para este nuevo paradigma.
- **Los “Actionable Insights”:** Tiene que ver con la importancia que supone identificar y obtener los datos más apropiados para el conocimiento en profundidad de los procesos de producción.
- **La Calidad de los datos:** Este aspecto hace referencia a la necesidad de que los datos se mantengan inalterados de cara a la toma automatizada de decisiones.
- **Los Costes:** Los datos seguirán con su escalada de crecimiento en el futuro, por lo que es importante dimensionar correctamente los costes de un proyecto Big Data: instalaciones, personal propio, proveedores,...
- **La Seguridad:** Finalmente, es necesario mantener seguro el acceso a los datos: autenticación de usuarios, restricciones de acceso, cifrado de datos en tránsito ó almacenados,... En todo momento deben cumplirse las normativas de protección de datos.

-

- b) En las dos últimas etapas de la evolución hacia la Industria 4.0, Capacidad Predictiva y Adaptabilidad, adquieren relevancia tres nuevos conceptos: IA (Inteligencia Artificial, AI: Artificial Intelligence), ML (Machine Learning) y DL (Deep Learning) (Figura 34) (Mallol, J.G. y otros, 2020).

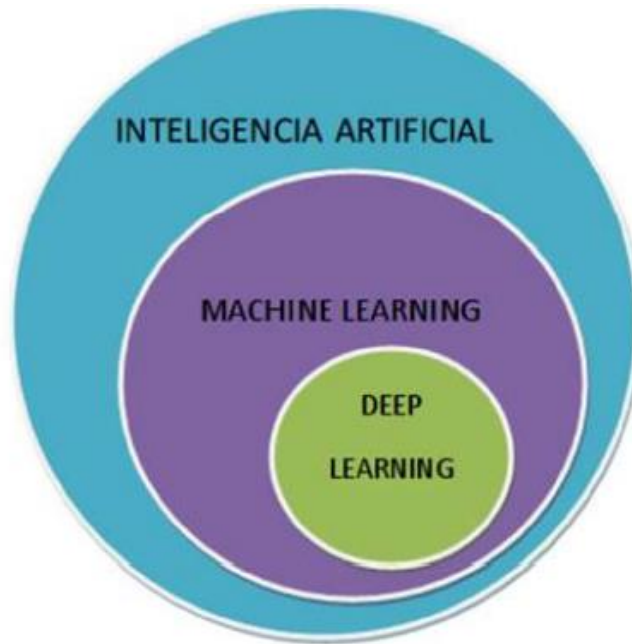


FIGURA 34: Relación entre la IA, ML y DL. Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020.

b.1) **La Inteligencia Artificial (IA)** puede definirse como la habilidad de un sistema, computadora, hardware, software u otro dispositivo de adquirir y aplicar conocimientos y habilidades. Entre éstos pueden señalarse: la deducción, el razonamiento, la representación del conocimiento, la planificación, el procesamiento del lenguaje natural, el aprendizaje y la capacidad de manipular y mover objetos.

Un sistema IA lo componen una secuencia de instrucciones ó reglas, conocidos como **algoritmos**, que especifican las acciones a llevar a cabo por una computadora para resolver un problema.

Aunque se trata de una disciplina relativamente joven, tiene ya presencia notable en la sociedad actual que, además, crece de forma exponencial. Grandes Empresas actuales desarrollan sus propios algoritmos para dotar a sus productos y servicios de IA. Se trata, por ejemplo de Compañías como: Google, Amazon, Youtube, Facebook, Netflix,....

En el Sector Industrial, especialmente en lo que respecta a las PYMEs, no ha sido hasta estos últimos años cuando las empresas se han sentido interesadas por las nuevas técnicas IT (Information Technology). Esto se ha traducido en un retraso importante en la integración en estas industrias de herramientas referentes a IA, frente a las mencionadas empresas de la Industria de la Comunicación y de las Redes Sociales.

A este inconveniente hay que sumarle las dificultades que suponen, especialmente a las PYMEs, poner en marcha herramientas de IA. Básicamente éstas son muy parecidas a las ya mencionadas respecto a Big Data: grandes necesidades de planificación, fuertes inversiones, falta de datos, falta de personal tecnológicamente preparado,...

b.2) **El Machine Learning (ML)** se sitúa dentro del concepto de IA, e incluye los algoritmos capaces de aprender sin ser explícitamente programados que, además, permiten establecer sistemas con capacidad predictiva. Por ejemplo el ML incluye técnicas estadísticas que permiten a las máquinas mejorar en sus tareas, en base a la experiencia y análisis de los datos históricos recopilados. Cabe destacar como una de las técnicas más reconocibles del ML la relacionada con las ANN (Artificial Neural Network).

El ML y, más concretamente, las ANN adquieren su máxima utilidad en las áreas en las que los problemas propuestos son demasiado complejos para ser resueltos por aproximaciones convencionales ó, bien, no se conocen algoritmos que los resuelvan. Por otra parte, este tipo de técnicas es útil en la búsqueda de “patrones” en el seno de grandes cantidades de datos (Data Mining).

Sintetizando las tareas en las que ML proporciona buenos resultados pueden mencionarse:

- Resolución de problemas para los que existe solución, pero su obtención obliga a utilizar muchas reglas abordadas manualmente.
- Resolución de problemas complejos que, ó no tienen solución conocida, ó el caso de aproximaciones conocidas no da una buena solución.
- Resolución de problemas con condiciones fluctuantes. Los algoritmos de ML se adaptan en este caso a los nuevos datos que aparezcan.
- Resolución de problemas complejos que requieren de manipulación de grandes cantidades de datos.

b.3) **El Deep Learning (DL)** ó Aprendizaje Profundo, implica un avance respecto al ML, en sentido de generar sistemas predictivos que generalicen bien, se adapten bien, mejoren continuamente conforme se le proporcionan nuevos datos y sean más dinámicos que los sistemas predictivos basados en reglas estrictas.

El enfoque planteado por el DL consiste en reemplazar la formulación del modelado mediante ML convencional, por ANN que están compuestas de varios niveles dispuestos en modo jerárquico. Las redes neuronales deben aprender a reconocer las características latentes de los datos. Este aprendizaje de la red de DL se llevaría a cabo de la siguiente forma: la red aprende algo simple en el nivel inicial de la jerarquía y, luego, envía esta información al siguiente nivel. Éste toma la información simple, la combina en algo un poco más complejo y la pasa al nivel sucesivo. El proceso se reitera a lo largo de los diferentes niveles hasta alcanzar la capa de salida.

Los modelos computacionales de DL imitan la arquitectura del sistema nervioso. Permiten que, dentro del sistema global, haya redes de unidades de proceso que se especialicen en la detección de determinadas características ocultas de los datos, lo cual mejora la tarea de percepción computacional.



3.- PROPUESTA DE IMPLEMENTACIÓN DE LAS ETAPAS DE INFORMATIZACIÓN, CONECTIVIDAD Y VISUALIZACIÓN EN UNA FACTORÍA DE AISLADORES ELECTROCERÁMICOS.

3.1.- DESCRIPCIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN ACTUAL EN UNA FACTORÍA TIPO DE AISLADORES CERÁMICOS.

Como se apuntó ya en el Apartado 4.3, las herramientas y conceptos propios de la Industria 4.0 son más fáciles de implementar en empresas nuevas, que han arrancado ahora ó hace poco tiempo, que en las que ya existen desde hace años. Si se centra la visión en el caso que nos ocupa de las PYMEs, lo habitual es encontrarse con modelos de negocio consolidados, por lo que su proceso de transformación hacia la Industria 4.0 debe contemplarse de forma gradual, para afectar lo mínimo posible a su marcha habitual. Así como para que las empresas puedan ir abordando las inversiones económicas inherentes a los cambios que necesariamente hay que introducir. De hecho, el plazo de cinco años, comúnmente extendido en la bibliografía, que se contempla como lógico para que las empresas se adapten a este nuevo paradigma, se está demostrando excesivamente optimista.

Hoy en día las **PYMEs**, especialmente en lo que se refiere a España, se encuentran, bien en los primeros estadios de la etapa de digitalización, ó bien en las fases iniciales de la de conectividad del proceso de fabricación industrial. Así, reconociendo que la informatización o computerización se halla presente en la mayor parte de las compañías, es hoy muy posible encontrar aún muchas máquinas sin interfaz digital por ejemplo, sin que por ello dejen por cierto, de ser eficientes. Es decir, como también se ha puesto de manifiesto ya en este trabajo en apartados anteriores, la digitalización queda como máximo, en la mayoría de los casos, en el entorno de cada máquina. Es lo que se han venido en llamar “**Islas de Automatización**”.

Se va a partir pues, para el desarrollo de este capítulo, de una **Factoría Tipo dedicada a la fabricación de aisladores cerámicos para líneas eléctricas de alta tensión**.

Se trata de una empresa que es competitiva en el mercado, en lo que respecta a la calidad de sus productos. Éstos cumplen con las **Normas IEC** (International Electrotechnical Commission) que le son de aplicación: IEC 60672 (Materiales Aislantes de Cerámica), IEC 60673 (Fijación de los Herrajes a los Aisladores Cerámicos), IEC 60168 (Métodos de Ensayo para medir la tolerancia de Paralelismo, Excentricidad, Desviaciones Angulares, Flecha e Inclinación de las Aletas de los Aisladores de Apoyo), IEC 60815 (Niveles de Polución y Línea de Fuga) y IEC 60273 (Tensión Nominal Máxima).

El tamaño de la empresa se corresponde con el de una PYMEs y en la Figura 35 muestra las fases de fabricación de una planta tipo actual de aisladores eléctricos porcelánicos. El proceso puede subdividirse en las siguientes secciones:



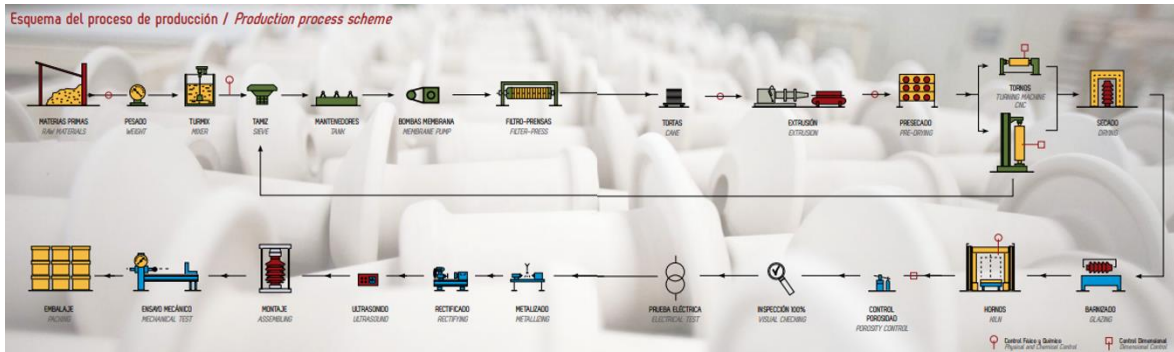


FIGURA 35: Esquema de las fases de fabricación de una Factoría Tipo actual de aisladores eléctricos porcelánicos Fuente: Porcelanas Industriales, S.A. (POINSA).

- Preparación de Composiciones: Comprende los pasos de almacenamiento de materias primas, dosificación, mezclado y formación de barbotinas (mezcla de arcilla y agua de consistencia casi líquida), tamizado para separación de gruesos y mantenimiento de balsas.
- Prensado: Supone el bombeado, filtro-prensas (Figura 36) y formación de “tortas” ó “galletas”.
- Extrusión: Incluye las operaciones de extrusionado (Figura 37) y presecado.
- Conformado: Se trata de las operaciones de torneado (Figura 38) y secado.
- Barnizado (Figura 39).
- Cocción (Figura 40).
- Controles y Ensayos, Ensamblaje y Preparación para su Almacenado: Incluye las operaciones finales de fabricación.



FIGURA 36: Filtro Prensa Hidráulico.



FIGURA 37: Extrusión de soportes para aisladores eléctricos porcelánicos.



FIGURA 38: Operación de torneado de los soportes.



FIGURA 39: Fase de barnizado de los soportes torneados.



FIGURA 40: Cocción de los soportes.

3.2.- PROPUESTA DE MEJORA DE LA INFORMATIZACIÓN, CONECTIVIDAD Y VISUALIZACIÓN DEL PROCESO DE PRODUCCIÓN.

La digitalización actual que presenta la factoría descrita en el apartado anterior se limita a los automatismos ligados a algunas de sus máquinas, que permitirían también la obtención de algunas variables de proceso (temperatura, presión,...); pero cuyos resultados se quedan en el estricto ámbito de la máquina. La información que aportan no trasciende, por lo que no es utilizada posteriormente. No existe, por lo tanto, intercomunicación entre máquinas ni, tampoco, un programa (software) que analice la misma conjuntamente con las del resto de fases del proceso de producción, con el objeto de planificar mejoras del mismo desde un punto de vista global: economía de costes, productividad, calidad del producto,...

Por ello, se justifica la propuesta del presente trabajo para realizar una transformación digital de la factoría mencionada. La propuesta que aquí se presenta se basa en las dos primeras etapas de la evolución hacia la Industria 4.0 que son las de Informatización y Conectividad, tal como se ha puesto de manifiesto en el Apartado 4.4 del presente Trabajo.

La orientación a dar al desarrollo de las mismas, en la Factoría Tipo que nos ocupa, debe necesariamente ir dirigido a conseguir la integración de las etapas del proceso de fabricación. En su doble vertiente de mejorar el control global del mismo y la intercomunicación entre sus fases.

Se va a considerar la **Pirámide CIM**, ya expuesta en el Apartado 4.5.1.3, como marco idóneo para estructurar los distintos niveles de automatización e integración de los sistemas de control a implementar en la propuesta.

Comenzando por el **Nivel 0 (Nivel de Procesos)**, ya se ha comentado que las máquinas hoy implantadas pueden llevar incorporado el control automático de algunas **“Variables de Máquina”**. No obstante, sus registros quedan exclusivamente en el entorno de la máquina, sin que se produzca una posterior utilización de los mismos. En general se detecta en este tipo de industrias que, los sistemas para la recopilación de datos críticos de proceso y, más aún su envío a un sistema de información superior, se encuentran poco elaborados.

Un primer objetivo de la propuesta que aquí se plantea es la de completar los dispositivos que permitan controlar todas las “Variables de Máquina”, que vayan siendo identificadas como relevantes para la mejora de la operatividad de los equipos existentes.

El control automático, no obstante, no ha de limitarse exclusivamente a la mejora de la eficiencia de máquinas individuales. Otro objetivo ha de ser también identificar las **“Variables de Producto”** ó **“Variables Manipuladas”**, que sea necesario medir porque inciden en las siguientes fases del proceso de producción, dada la interdependencia entre éstas.



El proceso de fabricación está conformado por un conjunto de etapas interconectadas que, progresivamente, transforman las materias primas en productos semielaborados y en producto acabado. El control global deseado necesita de la información que pueden dar esas “Variables Manipuladas”.

Tal como ya se puso de manifiesto en el Apartado 4.5.1.2, estas variables van a formar parte de formulaciones, normalmente complejas, que permitirán definir las características que adoptarán los productos intermedios y finales. Además, su identificación no resulta a veces sencilla. En muchos casos, para llegar a identificarlas es necesario realizar una investigación empírica, consecuencia de un análisis profundo del proceso de producción. El campo que se abre con el manejo de estas variables es inmenso, en el camino de completar los últimos estadios del paradigma de la Industria 4.0. Resulta fácil comprender que, para llegar a una Factoría que disponga de capacidad predictiva y con un grado de aprendizaje que permita la toma automática de decisiones, será necesario no solo el manejo de cantidades ingentes de información ligada a multitud de variables, sino también el desarrollo de formulaciones que llevarán implícitos complejos análisis multivariable no lineal.

De lo expresado anteriormente se deduce la importancia que tiene la selección tanto de variables de “Máquina”, como “Manipuladas”. Por ello no se hará distinción a partir de ahora, denominando a ambos tipos “**Variables de Proceso**”.

3.2.1.- Metodología a emplear.

El desarrollo de la propuesta de mejora del proceso de la Planta Tipo de aisladores electrocerámicos, en lo referente a la identificación de las “Variables de Proceso” y datos mínimos a captar en cada etapa del proceso, se van a seguir las recomendaciones recogidas en la “**Guía ASEBEC**”, a la que ya se ha hecho referencia en el Apartado 4.3 (Mallol, J.G. y otros, 2020).

Dadas las características de la Factoría que nos ocupa, existe una notable correspondencia entre las etapas de su proceso de producción con las recogidas en la mencionada Guía, concebida para la fabricación de baldosas cerámicas.

Para cada una de estas etapas, la Guía recomienda la toma de una serie de datos, que permitan sentar las bases para facilitar a la Factoría llegar a la etapa de “**Visualización**” del camino hacia la Industria 4.0. El objetivo de esta etapa es transformar esa captura de datos en un completo modelo de funcionamiento, en tiempo real y continuo, de la Planta de fabricación y, también, del global de la Empresa (“Gemelo Digital”).

Llegando a este punto se da un paso muy relevante en el camino hacia la Industria 4.0. La comprensión (visualización) global del proceso de producción permitirá detectar y transmitir, con rapidez, las anomalías que se encuentren a través de los datos captados. Lo que, a su vez, facilitará planificar con agilidad las respuestas a adoptar y transmitir las inmediatamente a las áreas afectadas.

Dado que la fase de Visualización implica la integración global de los elementos de la Factoría y de la Empresa, las variables y datos a captar en las diferentes etapas del proceso productivo deben, consecuentemente, abarcar todas las perspectivas desde las que dichas etapas pueden ser analizadas.

En esa dirección la “Guía ASEBEC” contempla cuatro ámbitos de información a cubrir por esos datos y variables a identificar: Rendimientos y Gestión Productiva, Variables de Proceso, Consumo de Recursos y, finalmente, Costes Variables.

En cada una de las etapas del proceso de fabricación hay que identificar esos ámbitos de información. Los cuales definirán y sentarán las bases del Gemelo Digital referido al global de dicho proceso.

La propuesta de mejora contempla también al resto de niveles de automatización de la Pirámide CIM. Además del Nivel de Procesos (Nivel 0), mencionado en los párrafos anteriores, se va a plantear un esquema para el control de máquinas y equipos (Nivel 1). Así mismo se contempla el Nivel de Célula (Nivel 2) que engloba a máquinas de cada sector o subproceso, incluyendo hardware, software y red de comunicación (SCADA). Para que la automatización e integración sea completa a Nivel de Planta (Nivel 3) y de Empresa (Nivel 4), se hará mención a la necesidad de implantar los correspondientes softwares MES y ERP.

Estas iniciativas que recoge la Propuesta de Mejora que aquí se plantea, van a permitir disponer ya de una imagen virtual completa del proceso físico de fabricación. La cual constituye el “**Modelo Digital**” mencionado en el Apartado 4.5.3 del presente trabajo.

Solo tras el manejo de un histórico relevante de datos que aquí se proponen y de su tratamiento analítico adecuado, se estará en disposición de obtener la “**Sombra Digital**” del proceso físico. En este punto, cualquier cambio en el proceso físico tendrá su reflejo en el proceso digital.

Para llegar finalmente a la fase de “**Gemelo Digital**”, que culmina esta etapa de “Visualización”, será necesario que este flujo sea bidireccional. Es decir, que también cualquier cambio en el proceso digital tenga su reflejo en el proceso físico. A esta situación se habrá de llegar mucho después en el tiempo, con el uso de avanzadas tecnologías de análisis, que permitan un cierto autoaprendizaje automático del sistema, que genere ideas y recomendaciones de cara a facilitar la toma de decisiones.



3.2.2.- Ámbitos de información básica del Nivel 0 de la Pirámide CIM a cubrir en cada sección del Proceso de Fabricación.

3.2.2.1.- Sección de Preparación de Composiciones.

Esta sección comprende las siguientes operaciones:

- Almacenamiento de materias primas: Todos los materiales llegan de origen con las características y homogeneidad garantizadas por los suministradores, así como con la preparación adecuada para ser utilizados directamente en el proceso. Se almacenan bajo marquesinas, de forma separativa, a temperatura y grado de humedad ambientes.
- Dosificación: Proceso que se realiza mecánicamente con control manual realizado por operarios. Se efectúa la dosificación de forma discontinua, por peso en báscula.
- Mezclado y formación de “barbotinas”: Operación en la que la entrada del material procedente de la dosificación, así como la de agua y el tiempo de mezcla se regulan automáticamente. Esta operación se desarrolla de forma continua.
- Tamizado y mantenimiento en balsas: Se trata de dos actividades ligadas a la etapa de mezclado. Por lo que pueden considerarse automatizadas y de desarrollo continuo.

En la tabla 1 se recogen los datos mínimos requeridos de la sección de Preparación de Composiciones, para sentar las bases del “Gemelo Digital”.

Ésta y las siguientes tablas se estructuran por los ámbitos de información definidos anteriormente. Se muestra también en ellas la procedencia de los datos.

NIVEL DE INFORMACIÓN	DATOS	ORIGEN DE DATOS
RENDIMIENTOS Y GESTIÓN PRODUCTIVA	Orden de producción, referencia de lote o traza productiva	Información ERP o sistema gestión
	Avance orden de fabricación respecto a planificación (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Tiempo de marcha equipos (h)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Producción planificada (m3 ó kg)	Información ERP o sistema gestión
	Producción teórica equipos (kg ó m3)	Información ERP o sistema gestión
	Producción teórica acumulada (kg ó m3)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Mermas productivas (kg o m3)	Imputadas manualmente o registradas automáticamente mediante contadores
	Motivos de paro	Imputados por operarios o adquiridos directamente de autómatas
	Motivos de merma	Imputados por operarios o adquiridos directamente de autómatas
	Disponibilidad (D) = Tiempo productivo / Tiempo disponible (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Rendimiento (R) =Producción real / Producción teórica (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Calidad (C) = Cantidad suspensión descartada / Suspensión producida (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	OEE = D x R x C (%)	
VARIABLES DE PROCESO	Estado marcha/paro agitadores mezcladora (Booleano)	Sensores de interrupción y arranque
	Caudal másico de las corrientes de sólido (materias primas) dosificadas (kg/s)	Sensores de caudal
	Velocidad de giro agitadores (rpm)	Autómata de conteo (rpm)
	Densidad del agua aportada a la mezcladora (kg/m3)	Sensor de densidad
	Densidad de la suspensión resultante (kg/m3)	Sensor de densidad
	Viscosidad de la suspensión resultante (cps)	Sensor de viscosidad
	Contenido en sólidos de la suspensión fabricada (%)	Imputación manual tras realización de ensayos
	Temperatura de la suspensión fabricada (°C)	Sensor de temperatura
	Caudal másico de suspensión fabricada (kg/s)	Sensor de caudal
	Rechazo tamaño partícula (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Tiempo reposo suspensiones en balsas (h)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Temperatura barbotina en balsas (°C)	Sensor de temperatura
CONSUMO DE RECURSOS	Proporción teórica m3 suspensión/nº de unidades acabadas	ERP, ficha de producto o sistema de gestión
	Distribución de personal	ERP o sistema de gestión de RRHH
	Equipo de trabajo o turno activo	ERP o sistema de gestión de RRHH
	Consumo de materias primas (kg/m3 de suspensión)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Consumo de defloculante (kg/m3 de suspensión)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Consumo eléctrico en la sección (kW h/kg de suspensión)	Contador electricidad digitalizado
COSTES VARIABLES	Consumo RRHH (personas/turno ó personas/ kg de suspensión)	ERP o sistema de gestión de RRHH
	Coste materias primas (€/m3 de suspensión)	ERP o sistema de gestión
	Precio energía eléctrica (€/kW h)	ERP o contrato compañía suministradora
	Precio medio RRHH asignados (€/per)	ERP o sistema de gestión

TABLA 1: Datos mínimos requeridos por la sección de **Preparación de Composiciones**, para sentar las bases del Gemelo Digital del Proceso Global de Fabricación Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020. Elaboración propia.



3.2.2.2.- Sección de Prensado

Esta sección comprende las siguientes operaciones:

- Bombeo de las barbotinas hasta los filtros-prensas, a través de bombas de funcionamiento de membrana, que mantienen la presión durante todo esta fase.
- Prensado en Filtros-Prensas de Membrana: Bajo la presión de la bomba de alimentación, los líquidos de las barbotinas pasan detrás de los filtros (lonas) y se retienen en ellos las partículas sólidas. Los líquidos filtrados son evacuados por canalizaciones bajo los filtros. Al final del prensado, las “tortas” ó “galletas” formadas entre las lonas son liberadas.
- Recogida y almacenamiento de las tortas: Un sistema de carretillas automatizado transporta las tortas hasta un recipiente, en el que se almacenan en espera de la fase de extrusión.

En la tabla 2 se muestra la información mínima requerida, en la sección de Prensado, para sentar las bases del “Gemelo Digital”.

NIVEL DE INFORMACIÓN	DATOS	ORIGEN DE DATOS
RENDIMIENTOS Y GESTIÓN PRODUCTIVA	Orden de producción, referencia de lote o traza productiva	Información ERP o sistema gestión
	Avance orden de fabricación respecto a planificación (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Tiempo de marcha equipos (h)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Producción planificada (m3 ó kg)	Información ERP o sistema gestión
	Producción teórica equipos (kg ó m3)	Información ERP o sistema gestión
	Producción teórica acumulada (kg ó m3)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Producción real acumulada (kg ó m3)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Mermas productivas (kg o m3)	Imputadas manualmente o registradas automáticamente mediante contadores
	Motivos de paro	Imputados por operarios o adquiridos directamente de autómatas
	Motivos de merma	Imputados por operarios o adquiridos directamente de autómatas
	Disponibilidad (D) = Tiempo productivo / Tiempo disponible (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Rendimiento (R) =Producción real / Producción teórica (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Calidad (C) = Cantidad torta descartada / Cantidad torta producida (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	OEE = D x R x C (%)	
VARIABLES DE PROCESO	Densidad aparente media de las tortas (kg/m3)	Sensores de densidad
	Variación máxima de la densidad aparente media entre salidas de filtros (kg/m3)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Presión máxima del circuito hidráulico de la prensa (bar)	Sensores de presión
	Presión específica máxima sobre el material (kg/cm2)	Sensores de presión
	Velocidad de aplicación de la presión (bar/s)	Autómata de conteo (m/s)
	Tiempo de permanencia a la presión máxima (bar)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Temperatura de las tortas (°C)	Sensores de temperatura
	Tiempo reposo tortas previo a la extrusión	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Estado marcha/paro prensa (Booleano)	Sensores de interrupción y arranque
CONSUMO DE RECURSOS	Proporción teórica kg o m3 torta/nº de unidades acabadas	ERP, ficha de producto o sistema de gestión
	Distribución de personal	ERP o sistema de gestión de RRHH
	Equipo de trabajo o turno activo	ERP o sistema de gestión de RRHH
	Consumo eléctrico equipos (kW h)	Analizadores de red digitalizados
COSTES VARIABLES	Coste energía eléctrica (€/nº udes. acabadas)	ERP o sistema de gestión
	Precio medio RRHH asignados (€/nº uds. acabadas)	ERP o sistema de gestión

TABLA 2: Datos mínimos requeridos por la sección de **Prensado**, para sentar las bases del Gemelo Digital del Proceso Global de Fabricación Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020. Elaboración propia.



3.2.2.3.- Sección de Extrusionado.

En esta sección es donde comienzan a conformarse los elementos que se convertirán en los productos finales. El grado de mecanización es elevado, interviniendo los operarios únicamente en el traslado de las unidades entre la extrusionadora y el presecado.

La trazabilidad de la producción debe comenzar tras el extrusionado de las piezas. Entre las diferentes posibilidades para trazar la producción, la opción más adaptada a las necesidades de los procesos cerámicos es el marcado de las piezas fabricadas mediante códigos bidimensionales Data Matrix (DM).

En la Figura 41 se presenta el esquema del sistema de trazabilidad. Consta, por un lado, de un cabezal de impresión (1) colocado a la salida de la extrusionadora. Marca las piezas con un identificador único (2). Esta operación ha de repetirse tras el esmaltado, ya que tras la inmersión de las piezas en las suspensiones, prevista en esta fase, desaparece la marca realizada en esta sección.

Una serie de cámaras de detección (3) se ubican en los puntos de las líneas de fabricación en los que se desea controlar el paso de las piezas. El sistema registra, en un conjunto de bases de datos (4), el instante exacto en el que cada pieza pasa por un punto determinado de la línea de fabricación.

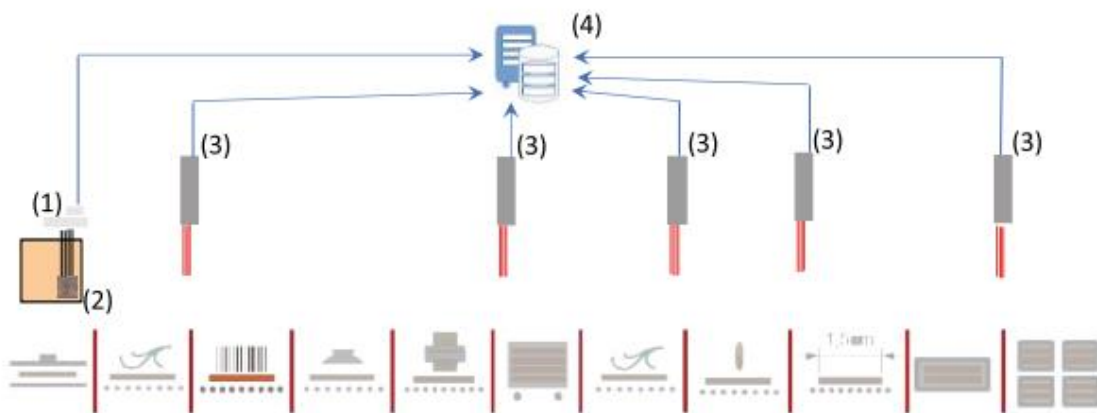


FIGURA 41: Esquema del funcionamiento del Sistema de Trazabilidad. Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020.

De esta forma es posible conocer las condiciones de proceso. Así, pueden relacionarse, en tiempo real y pieza a pieza, variables como dimensiones de la pieza a la salida del horno, con las condiciones del extrusionado ó de la propia sección de cocción.

En la tabla 3 se refleja la información mínima requerida en la sección de Extrusionado, que incide en la definición del “Gemelo Digital” del proceso global de fabricación.

NIVEL DE INFORMACIÓN	DATOS	ORIGEN DE DATOS
RENDIMIENTOS Y GESTIÓN PRODUCTIVA	Orden de producción, referencia de lote o traza productiva	Información ERP o sistema gestión
	Avance orden de fabricación respecto a planificación (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Tiempo de marcha equipos (h)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Producción planificada (m3 ó kg)	Información ERP o sistema gestión
	Producción teórica equipos (kg ó m3)	Información ERP o sistema gestión
	Producción teórica acumulada (kg ó m3)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Producción real acumulada (kg ó m3)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Mermas productivas (kg o m3)	Imputadas manualmente o registradas automáticamente mediante contadores
	Motivos de paro	Imputados por operarios o adquiridos directamente de autómatas
	Motivos de merma	Imputados por operarios o adquiridos directamente de autómatas
	Longitud teórica por pieza (cm)	Información ERP o sistema gestión
	Disponibilidad (D) = Tiempo productivo / Tiempo disponible (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Rendimiento (R) =Producción real / Producción teórica (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Calidad (C) = Cantidad material descartado / Cantidad material utilizado (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	OEE = D x R x C (%)	
VARIABLES DE PROCESO	Densidad aparente media de los soportes tras el extrusionado (kg/m3)	Sensores de densidad
	Variación máxima de la densidad aparente media entre soportes (kg/m3)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Presión específica máxima sobre el material (kg/cm2)	Sensores de presión
	Velocidad media de extrusionado (mm/s)	Autómata de conteo (m/s)
	Tiempo formación soporte extrusionado	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Temperatura de los soportes extrusionados (°C)	Sensores de temperatura
	Diámetro medio de los soportes conformados (mm)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Longitudes reales piezas (cm)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Número piezas por fila en presecado	Autómata de conteo (uds)
	Estado marcha/paro extrusionado (Booleano)	Sensores de interrupción y arranque
	Temperatura consigna quemadores (°C)	Información ERP o sistema gestión
	Temperatura real quemadores (°C)	Sensores de temperatura
	Temperatura chimenea (°C)	Sensores de temperatura
	Humedad relativa en chimenea (%)	Sensores higrométricos
	Tiempo de presecado (min)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Temperatura consigna zona estabilización (°C)	Información ERP o sistema gestión
	Temperatura real zona estabilización (°C)	Sensores de temperatura
	Velocidad de giro ventiladores (rpm)	Autómata de conteo (rpm)
	Temperatura salida de piezas indexada por posición (°C)	Sensores de temperatura
	Variación máxima de temperatura entre piezas tras presecado (°C)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Densidad aparente media de los soportes tras el presecado (kg/m3)	Sensores de densidad
	Estado marcha/paro presecado (Booleano)	Sensores de interrupción y arranque
CONSUMO DE RECURSOS	Consumo eléctrico en la sección (nº unidades acabadas)	Analizadores de red digitalizados
	Consumo de gas natural en la sección (m3 /nº uds acabadas)	Analizadores de red digitalizados
	Consumo RRHH (personas/turno ó personas/nº unidades acabadas)	ERP o sistema de gestión de RRHH
COSTES VARIABLES	Coste energía eléctrica (€/nº udes. acabadas)	ERP o sistema de gestión
	Coste energía gas (€/nº udes acabadas)	ERP o sistema de gestión
	Precio medio RRHH asignados (€/nº uds. acabadas)	ERP o sistema de gestión

TABLA 3: Datos mínimos requeridos por la sección de **Extrusionado**, para sentar las bases del Gemelo Digital del Proceso Global de Fabricación Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020. Elaboración propia.



3.2.2.4.- Sección de Conformado.

Incluye las operaciones de torneado completo de la parte cerámica del aislador y su posterior secado.

En la tabla 4 se muestra la información mínima requerida en la sección de Conformado, para sentar las bases del “Gemelo Digital” del proceso de fabricación.

NIVEL DE INFORMACIÓN	DATOS	ORIGEN DE DATOS
RENDIMIENTOS Y GESTIÓN PRODUCTIVA	Orden de producción, referencia de lote o traza productiva	Información ERP o sistema gestión
	Avance orden de fabricación respecto a planificación (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Tiempo de marcha equipos (h)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Producción planificada (m3 ó kg)	Información ERP o sistema gestión
	Producción teórica equipos (kg ó m3)	Información ERP o sistema gestión
	Producción teórica acumulada (kg ó m3)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Producción real acumulada (kg ó m3)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Mermas productivas (kg o m3)	Imputadas manualmente o registradas automáticamente mediante contadores
	Motivos de paro	Imputados por operarios o adquiridos directamente de autómatas
	Motivos de merma	Imputados por operarios o adquiridos directamente de autómatas
	Longitud teórica por pieza (cm)	Información ERP o sistema gestión
	Disponibilidad (D) = Tiempo productivo / Tiempo disponible (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Rendimiento (R) = Producción real / Producción teórica (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Calidad (C) = Cantidad material descartado / Cantidad material utilizado (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	OEE = D x R x C (%)	
VARIABLES DE PROCESO	Velocidad media de torneado (rpm)	Autómata de conteo (rpm)
	Tiempo formación soporte torneado	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Diámetros medios de los soportes conformados (mm)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Longitudes reales piezas (cm)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Número piezas por fila en secado	Autómata de conteo (uds)
	Estado marcha/paro torneado (Booleano)	Sensores de interrupción y arranque
	Temperatura consigna quemadores (°C)	Información ERP o sistema gestión
	Temperatura real quemadores (°C)	Sensores de temperatura
	Temperatura chimenea (°C)	Sensores de temperatura
	Humedad relativa en chimenea (%)	Sensores higrométricos
	Tiempo de secado (min)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Temperatura consigna zona estabilización (°C)	Información ERP o sistema gestión
	Temperatura real zona estabilización (°C)	Sensores de temperatura
	Velocidad de giro ventiladores (rpm)	Autómata de conteo (rpm)
	Temperatura salida de piezas indexada por posición (°C)	Sensores de temperatura
	Variación máxima de temperatura entre piezas tras secado (°C)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Densidad aparente media de los soportes torneados tras el secado (kg/m3)	Sensores de densidad
	Estado marcha/paro secado (Booleano)	Sensores de interrupción y arranque
CONSUMO DE RECURSOS	Consumo eléctrico en la sección (nº unidades acabadas)	Analizadores de red digitalizados
	Consumo de gas natural en la sección (m3 /nº uds acabadas)	Analizadores de red digitalizados
	Consumo RRHH (personas/turno ó personas/nº unidades acabadas)	ERP o sistema de gestión de RRHH
COSTES VARIABLES	Coste energía eléctrica (€/nº udes. acabadas)	ERP o sistema de gestión
	Coste energía gas (€/nº udes acabadas)	ERP o sistema de gestión
	Precio medio RRHH asignados (€/nº uds. acabadas)	ERP o sistema de gestión

TABLA 4: Datos mínimos requeridos por la sección de **Conformado**, para sentar las bases del Gemelo Digital del Proceso Global de Fabricación Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020. Elaboración propia.



3.2.2.5.- Sección de Barnizado.

El grado de automatización de las operaciones de barnizado es menor que, por ejemplo, el de Conformado. Los operarios han de intervenir constantemente en actividades de limpieza y en el manejo de las suspensiones.

En esta sección los soportes son recubiertos, tras su secado, con capas de materiales que confieren al producto, conjuntamente con la fase de cocción, sus propiedades físico-químicas. Tras esta operación, se debe repetir el proceso de marcado para asegurar la trazabilidad de la producción, a través de los códigos bidimensionales DM.

La tabla 5 recoge la información mínima requerida en la sección de Barnizado para completar la definición del “Gemelo Digital” del proceso de fabricación de los aisladores eléctricos.

NIVEL DE INFORMACIÓN	DATOS	ORIGEN DE DATOS
RENDIMIENTOS Y GESTIÓN PRODUCTIVA	Orden de producción, referencia de lote o traza productiva	Información ERP o sistema gestión
	Referencia artículo	Código bidimensional DM
	Avance orden de fabricación respecto a planificación (%)	Automata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Tiempo de marcha equipos (h)	Automata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Superficie por pieza (m2/pieza)	ERP, ficha de producto o sistema de gestión
	Producción planificada (piezas o m2)	Información ERP o sistema gestión
	Producción teórica equipos (piezas o m2)	Información ERP o sistema gestión
	Producción teórica acumulada (piezas ó m2)	Automata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Producción real acumulada (piezas ó m2)	Automata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Mermas productivas (piezas o m2)	Imputadas manualmente o registradas automáticamente mediante contadores
	Motivos de paro	Imputados por operarios o adquiridos directamente de autómatas
	Motivos de merma	Imputados por operarios o adquiridos directamente de autómatas
	Disponibilidad (D) = Tiempo productivo / Tiempo disponible (%)	Automata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Rendimiento (R) =Producción real / Producción teórica (%)	Automata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Calidad (C) = Cantidad material descartado / Cantidad material utilizado (%)	Automata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	OEE = D x R x C (%)	
VARIABLES DE PROCESO	Densidad aplicaciones (kg/m3)	Sensores de densidad
	Viscosidad aplicaciones (cps)	Sensores de viscosidad
	Gramaje aplicaciones por pieza (g/pieza)	Información ERP o sistema gestión
	Temperatura esmaltes (°C)	Sensores de temperatura
	Nivel de esmalte en recipientes (% ó kg)	Medidor distancia o pesaje con células de carga
	Temperatura soportes previa barnizado (°C)	Sensores de temperatura
	Temperatura ambiente líneas de esmaltado (°C)	Sensores de temperatura
	Humedad relativa ambiente líneas de esmaltado (%)	Sensores higrométricos
	Temperatura aplicación barnices (°C)	Sensores de temperatura
	Velocidad avance piezas en aplicaciones (m/min)	Automata de conteo (m/min)
	Tiempo de permanencia medio piezas en proceso (min)	Automata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Estadística defectos detectados por máquina de inspección en crudo	Automata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Estado marcha/paro barnizado (Booleano)	Sensores de interrupción y arranque
	Densidad aparente media de los soportes torneados tras el barnizado (kg/m3)	Sensores de densidad
CONSUMO DE RECURSOS	Consumo de barnices (kg ó kg/m2 de producto acabado)	Automata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Nivel barnices en recipientes (% ó kg)	Medidor distancia o pesaje con células de carga
	Consumo eléctrico en la sección (nº unidades acabadas)	Analizadores de red digitalizados
	Consumo RRHH (personas/turno ó personas/nº unidades acabadas)	ERP o sistema de gestión de RRHH
COSTES VARIABLES	Precio energía eléctrica (€/kW h)	ERP, contrato compañía suministradora
	Precio barnices (€/kg)	ERP o sistema de gestión
	Precio medio RRHH asignados (€/nº uds. acabadas)	ERP o sistema de gestión

TABLA 5: Datos mínimos requeridos por la sección de **Barnizado**, para sentar las bases del Gemelo Digital del Proceso Global de Fabricación Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020. Elaboración propia.



3.2.2.6.- Sección de Cocción.

En esta sección las piezas son sometidas, durante su avance en el interior de los hornos, a un tratamiento térmico que les confiere las propiedades técnicas necesarias.

El aporte de calor se realiza, en la mayoría de los casos, mediante la combustión de gas natural empleando aire como comburente. El cual, previamente a su introducción en los quemadores de gas, es precalentado a entre 100 y 300 °C con los propios gases calientes del horno.

Tras la cocción de los soportes a temperaturas máximas de entre 1.100 y 1.200 °C, éstos quedan almacenados a la espera de someterse a las operaciones finales de transformación y almacenamiento.

En la tabla 6 se aportan los datos adicionales requeridos en la sección de Cocción para sentar las bases del “Gemelo Digital” del proceso de fabricación.



NIVEL DE INFORMACIÓN	DATOS	ORIGEN DE DATOS
RENDIMIENTOS Y GESTIÓN PRODUCTIVA	Orden de producción, referencia de lote o traza productiva	Información ERP o sistema gestión
	Referencia artículo	Código bidimensional DM
	Avance orden de fabricación respecto a planificación (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Tiempo de marcha horno (h)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Superficie por pieza (m2/pieza)	ERP, ficha de producto o sistema de gestión
	Producción planificada (piezas o m2)	Información ERP o sistema gestión
	Producción teórica horno (piezas o m2)	Información ERP o sistema gestión
	Producción real horno (piezas o m2)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Producción teórica acumulada (piezas ó m2)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Producción real acumulada (piezas ó m2)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Mermas productivas (piezas o m2)	Imputadas manualmente o registradas automáticamente mediante contadores
	Motivos de paro	Imputados por operarios o adquiridos directamente de autómatas
	Motivos de merma	Imputados por operarios o adquiridos directamente de autómatas
	Disponibilidad (D) = Tiempo productivo / Tiempo disponible (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Rendimiento (R) =Producción real / Producción teórica (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Calidad (C) = Cantidad material descartado / Cantidad material utilizado (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
OEE = D x R x C (%)		
VARIABLES DE PROCESO	Temperatura soportes de entrada (°C)	Sensores de temperatura
	Temperatura consigna en cada punto control horno (sup-inf) (°C)	Información ERP o sistema gestión
	Temperatura real en cada punto control horno (sup-inf) (°C)	Sensores de temperatura
	Temperatura gases chimenea humos (°C)	Sensores de temperatura
	Velocidad de giro ventilador humos (% ó rpm)	Autómata de conteo (rpm)
	Presión set point regulación tiro (mm ca)	Información ERP o sistema gestión
	Presión real regulación tiro (mm ca)	Sensores de presión
	Diferencia presión cocción/enfriamiento superior (mm ca)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Diferencia presión cocción/enfriamiento inferior (mm ca)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Temperatura gases chimenea enfriamiento (°C)	Sensores de presión
	Velocidad de giro ventilador enfriamiento (% ó rpm)	Autómata de conteo (rpm)
	Temperatura aire combustión (°C)	Sensores de temperatura
	Temperatura gas natural (°C)	Sensores de temperatura
	Porcentaje abertura válvula aire combustión (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Presión gas natural en quemadores (mm ca)	Sensores de presión
	Presión aire combustión en quemadores (mm ca)	Sensores de presión
	Gradiente térmico en enfriamiento (°C)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Gradiente térmico en zona de cocción (°C)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Temperatura aire enfriamiento directo (°C)	Sensores de temperatura
	Posición abertura válvulas regulación aire enfriamiento (°C)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Duración ciclo cocción medio (min)	Sensores de tiempo
	Estadística defectos detectados por máquina de inspección en crudo	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Dimensiones piezas salida horno (mm)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
Número de piezas por fila (unidades)	Autómata del horno, ERP o ficha producto	
Posición huecos horno (%)	Autómata del horno	
Estado marcha/paro horno (Booleano)	Sensores de interrupción y arranque	
CONSUMO DE RECURSOS	Consumo de gas natural en horno (m3 / producto acabado)	Analizadores de red digitalizados
	Temperatura gas natural (°C)	Sensores de temperatura
	Presión suministro gas natural (bar)	Transductor presión contador de gas digitalizado
	Consumo eléctrico en la sección (nº unidades acabadas)	Analizadores de red digitalizados
	Consumo RRHH (personas/turno ó personas/nº unidades acabadas)	ERP o sistema de gestión de RRHH
COSTES VARIABLES	Precio energía eléctrica (€/kW h)	ERP, contrato compañía suministradora
	Precio gas natural (€/kW h)	ERP, contrato compañía suministradora
	Precio medio RRHH asignados (€/nº uds. acabadas)	ERP o sistema de gestión
	Poder calorífico gas natural (kW h/m3)	ERP, contrato compañía suministradora

TABLA 6: Datos mínimos requeridos por la sección de **Cocción**, para sentar las bases del Gemelo Digital del Proceso Global de Fabricación Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020. Elaboración propia.



3.2.2.7.- Sección de Controles y Ensayos, Ensamblaje y preparación para su Almacenado.

Esta sección contempla las últimas operaciones a realizar a los aisladores eléctricos, previamente a su expedición a los clientes.

- Controles y Ensayos no destructivos: Esta operación incluye los controles de porosidad, inspección de forma, prueba eléctrica y prueba de ultrasonidos.
- Rectificado: Es el desbaste lateral de los soportes para que pierdan el borde resultante de la cocción.
- Ensamblaje: Es la operación de fijación de los herrajes metálicos a los aisladores cerámicos, a través de dispositivos normalizados.
- Preparación para su Almacenado: Incluye las operaciones de clasificación, embalaje y depósito previo a su expedición. En la operación de clasificación es importante articular un sistema que permita el adecuado seguimiento de la trazabilidad del producto, enlazando con la información referida al resto del proceso de fabricación. Lo cual tiene una incidencia positiva, no solo de cara a la mejora de los procesos, sino también en la posterior logística y comercialización del producto. Con ello se sientan las bases para trazar completamente el ciclo de vida del producto, desde su diseño y fabricación, hasta su adquisición por parte del cliente final.

En la tabla 7 se detalla la información mínima a recoger en esta sección, para llevar a cabo una correcta gestión de las operaciones incluidas en ella, de cara a la obtención del “Gemelo Digital” del proceso de fabricación.



NIVEL DE INFORMACIÓN	DATOS	ORIGEN DE DATOS
RENDIMIENTOS Y GESTIÓN PRODUCTIVA	Orden de producción, referencia de lote o traza productiva	Información ERP o sistema gestión
	Referencia artículo	Código bidimensional DM
	Avance orden de fabricación respecto a planificación (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Tiempo de marcha máquina clasificación (h)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Producción planificada en la sección (piezas o m2)	Información ERP o sistema gestión
	Producción teórica en la sección (piezas o m2)	Información ERP o sistema gestión
	Producción real en la sección (piezas o m2)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Producción teórica acumulada (piezas ó m2)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Producción real acumulada (piezas ó m2)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Mermas productivas (piezas o m2)	Imputadas manualmente o registradas automáticamente mediante contadores
	Motivos de paro	Imputados por operarios o adquiridos directamente de autómatas
	Motivos de merma	Imputados por operarios o adquiridos directamente de autómatas
	Disponibilidad (D) = Tiempo productivo / Tiempo disponible (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Rendimiento (R) =Producción real / Producción teórica (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Calidad (C) = Cantidad material descartado / Cantidad material utilizado (%)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
OEE = D x R x C (%)		
VARIABLES DE PROCESO	Porosidad de los soportes tras la cocción (%)	Imputación manual tras realización de ensayo de porosidad
	Inspección visual de todos los soportes (h)	Imputación manual tras comprobación de dimensiones y posibles defectos
	Características de los materiales del soporte según la Norma IEC 60672	Imputación manual tras realización de los ensayos correspondientes
	Líneas de fuga según Norma IEC 60815	Imputación manual tras realización de los ensayos correspondientes
	Características dimensionales de los soportes según la Norma IEC 60168	Imputación manual tras realización de los ensayos correspondientes
	Comprobación de las variables eléctricas y técnicas de los soportes, tras la operación de ensamblaje con herrajes metálicos según la Norma IEC 60273	Imputación manual tras realización de los ensayos correspondientes
	Estado marcha/paro clasificadora (Booleano)	Sensores de interrupción y arranque
	Estado marcha/paro máquina enfardar (Booleano)	Sensores de interrupción y arranque
	Número de piezas por caja almacenaje (unidades)	Autómata de la clasificadora, ERP o ficha producto
	Ancho pieza (mm)	Autómata de la clasificadora, ERP o ficha producto
	Longitud pieza (mm)	Autómata de la clasificadora, ERP o ficha producto
CONSUMO DE RECURSOS	Número cajas por palet (unidades)	Autómata del apilador
	Consumo en cartón (m2 /unidad producida)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Consumo en material fungible (plástico, fleje, cantoneras, etc.) (m ó m2 /unidades producidad)	Autómata de gestión y automatización o sistema externo de conteo
	Consumo eléctrico en la sección (nº unidades acabadas)	Analizadores de red digitalizados
COSTES VARIABLES	Consumo RRHH (personas/turno ó personas/nº unidades acabadas)	ERP o sistema de gestión de RRHH
	Precio energía eléctrica (€/kW h)	ERP, contrato compañía suministradora
	Precio cartón (€/m2)	ERP o sistema de gestión
	Precio medio RRHH asignados (€/nº uds. acabadas)	ERP o sistema de gestión
	Precio fungible (€/unidad)	ERP o sistema de gestión

TABLA 7: Datos mínimos requeridos por la sección de “**Controles, Ensamblaje y preparación para su Almacenado**”, para sentar las bases del Gemelo Digital del Proceso Global de Fabricación Fuente: Mallol, J.G. y otros, 2020. Elaboración propia.



3.2.3.- Redes de Comunicación para la Integración de los Niveles de la Pirámide CIM.

3.2.3.1.- Nivel de Control de Máquina.

Los buses de campo, tal como ya se ha puesto de manifiesto, son el sistema de transmisión idóneo para comunicar los niveles de Proceso (Nivel 0) y de Control (Nivel 1). La comunicación entre elementos se realiza a través de un solo cable, lo cual simplifica mucho la configuración de las máquinas y equipos, facilitando su operatividad. El conexionado con buses de campo se configura en serie (Maestro/Esclavo).

El control se realiza a través de un PLC (Programmable Logic Controller), cerebro lógico programable, que conforma el “Maestro” de la instalación. Recibe las señales de los sensores del Nivel 0. El PLC las evalúa y procesa. Tras lo cual emite una señal a los correspondientes actuadores, que accionan los dispositivos de la máquina. Sensores, autómatas y actuadores constituyen los “Esclavos” de la instalación.

Para la mejora a introducir en este estrato en la Factoría tipo que nos ocupa, se propone AS-i (Actuator-Sensor Interface) como bus de campo para comunicar estos niveles bajos de la Pirámide CIM. Se trata de un estándar abierto que, por su sencillez de instalación, resulta idóneo para la informatización de procesos ya existentes y en funcionamiento, que inician su fase de digitalización. La longitud máxima es de 100 m encaja con la configuración espacial de la maquinaria en el tipo de instalación que nos ocupa. El número máximo de 31 estaciones pasivas o esclavos es fácilmente sorteable incrementando, si fuera necesario, el número de maestros y, consecuentemente, de buses de campo a implantar por máquina.

Atendiendo a los datos reflejados en el apartado anterior, referentes a la información mínima necesaria para sentar las bases del Gemelo Digital, se recogen para cada equipo (máquina o conjunto de máquinas) del proceso actual de fabricación de aisladores electrocerámicos, los esclavos (sensores y autómatas) a considerar en los buses de campo asociados al mismo. A los que aquí se reseñan habría que añadir los correspondientes a los actuadores que vinieran incorporados de fábrica, en cada una de las máquinas o equipos.

1. EQUIPO 1: Dosificación de materias primas.

- Maestro: PLC (1 ud).
- Esclavos:
 - Sensores: Caudal másico corrientes de sólido (materias primas dosificadas).
 - Autómatas: Avance orden fabricación respecto a planificación, tiempo de marcha dosificación, producción teórica acumulada, mermas productivas, motivos de paro, motivos de merma, Disponibilidad (D), Rendimiento (R), Calidad (C), rechazo tamaño de partícula, consumo de materias primas, consumo eléctrico del equipo.



2. EQUIPO 2: Mezclado y formación de “barbotinas”.

- Maestro: PLC (1 ud).
- Esclavos:
 - Sensores: Estado marcha/paro agitadores mezcladora, densidad del agua aportada a la mezcladora, densidad de la suspensión, viscosidad de la suspensión, temperatura de la suspensión fabricada, caudal másico de la suspensión fabricada.
 - Autómatas: Rechazo tamaño de partícula, consumo de materias primas, consumo eléctrico del equipo, velocidad giro agitadores, consumo defloculante.

3. EQUIPO 3: Tamizado y mantenimiento en balsas.

- Maestro: PLC (1 ud).
- Esclavos:
 - Sensores: Temperatura barbotina en balsas.
 - Autómatas: Tiempo de reposo suspensiones en balsas.

4. EQUIPO 4: Bombeo de barbotinas hasta los filtros-prensa.

- Maestro: PLC (1 ud).
- Esclavos:
 - Sensores: Presión máxima circuito hidráulico.
 - Autómatas: Tiempo de marcha equipo, motivos de paro, tiempo de permanencia a la presión máxima, velocidad de aplicación de la presión, consumo eléctrico equipo.

5. EQUIPO 5: Prensado en filtros-prensa.

- Maestro: PLC (1 ud).
- Esclavos:
 - Sensores: Presión máxima circuito hidráulico de la prensa, presión específica máxima sobre el material, temperatura de las tortas, estado marcha/paro prensa.
 - Autómatas: Avance orden de fabricación respecto a planificación, tiempo de marcha equipos, producción teórica acumulada, producción real acumulada, mermas productivas, motivos de merma, disponibilidad (D), Rendimiento (R), Calidad (C), variación máxima de la densidad aparente media entre salidas de los filtros, velocidad aplicación de la presión, tiempo de permanencia a la presión máxima, consumo eléctrico equipo.



6. EQUIPO 6: Recogida y almacenamiento de las tortas.

- Maestro: PLC (1 ud).
- Esclavos:
 - Sensores: Densidad aparente media de las tortas.
 - Automatas: Tiempo reposo tortas previo a la extrusión.

7. EQUIPO 7: Extrusionado.

- Maestro: PLC (1 ud).
- Esclavos:
 - Sensores: Densidad aparente media de los soportes tras el extrusionado, presión específica máxima sobre el material, temperatura de los soportes extrusionados, estado marcha/paro extrusionado.
 - Automatas: Avance orden de fabricación respecto a planificación, tiempo de marcha equipo, producción teórica acumulada, producción real acumulada, mermas productivas, motivos de paro, motivos de merma, Disponibilidad (D), Rendimiento (R), Calidad (C), variación máxima de la densidad aparente media entre soportes, velocidad media del extrusionado, tiempo formación soporte extrusionado, diámetro medio de los soportes conformados, longitudes reales de las piezas, consumo eléctrico equipo.

8. EQUIPO 8: Presecado.

- Maestro: PLC (1 ud).
- Esclavos:
 - Sensores: Temperatura real quemadores, temperatura chimenea, humedad relativa en chimenea, temperatura real zona estabilización, temperatura salida de piezas indexadas por posición, densidad aparente media de los soportes tras el presecado.
 - Automatas: Número de piezas por fila en presecado, tiempo de presecado, velocidad de giro ventiladores, variación máxima temperatura entre piezas tras presecado, consumo eléctrico equipo, consumo de gas equipo.

9. EQUIPO 9: Conformado.

- Maestro: PLC (1 ud).
- Esclavos:
 - Sensores: Estado marcha/paro torneado.
 - Automatas: Avance orden de fabricación respecto a planificación, tiempo de marcha equipos, producción teórica acumulada, producción real acumulada, mermas productivas, motivos de paro, motivos de merma, "disponibilidad (D), Rendimiento (R), Calidad (C), velocidad media de torneado, tiempo de formación soporte torneado, diámetros medios de los soportes conformados, longitudes reales, consumo eléctrico equipo.



10. EQUIPO 10: Secado.

- Maestro: PLC (1 ud).
- Esclavos:
 - Sensores: Temperatura real quemadores, temperatura chimenea, humedad relativa en chimenea, temperatura real zona estabilización, temperatura salida de piezas indexada por posición, densidad aparente media de los soportes torneados tras el secado, estado marcha/paro secado.
 - Autómatas: Número piezas por fila secado, tiempo de secado, velocidad de giro ventiladores, variación máxima de temperatura entre piezas tras secado, consumo eléctrico equipo, consumo de gas equipo.

11. EQUIPO 11: Barnizado.

- Maestro: PLC (2 ud, por número probable de nodos (sensores, autómatas y actuadores) > 31).
- Esclavos:
 - Sensores: Densidad aplicaciones, viscosidad aplicaciones, temperatura esmaltes, temperatura soportes previa barnizado, temperatura ambiente líneas esmaltado, humedad relativa líneas esmaltado, temperatura aplicación barnices, estado marcha/paro barnizado, densidad aparente media de los soportes torneados tras el barnizado.
 - Autómatas: Referencia artículo, avance orden de fabricación respecto a planificación, tiempo de marcha equipo, producción teórica acumulada, producción real acumulada, mermas productivas, motivos de paro, motivos de merma, Disponibilidad (D), Rendimiento (R), Calidad (C), nivel esmalte en recipientes, velocidad avance piezas en aplicaciones, tiempo de permanencia medio piezas en proceso, estadística defectos detectados por máquinas inspección en crudo, consumo de barnices, nivel barnices en recipientes, consumo eléctrico equipo.



12. EQUIPO 12: Cocción.

- Maestro: PLC (2 ud, por número probable de nodos (sensores, autómatas y actuadores) > 31).
- Esclavos:
 - Sensores: Temperatura soportes de entrada, temperatura real en cada punto control horno, temperatura gases chimenea humos, presión set point regulación tiro, presión real regulación tiro, temperatura gases chimenea enfriamiento, temperatura aire combustión, temperatura gas natural, presión gas natural en quemadores, presión aire combustión en quemadores, temperatura aire enfriamiento directo, duración ciclo cocción, estado marcha/paro horno, temperatura gas natural.
 - Autómatas: Referencia artículo, avance orden de fabricación respecto planificación, tiempo de marcha horno, producción real horno, producción teórica acumulada, producción real acumulada, mermas productivas, motivos de paros, motivos de merma, Disponibilidad (D), Rendimiento (R), Calidad (C), velocidad de giro ventilador humos, diferencia presión cocción/enfriamiento superior, diferencia presión cocción/enfriamiento inferior, velocidad de giro ventilador enfriamiento, porcentaje abertura válvula aire combustión, gradiente térmico en enfriamiento, gradiente térmico en zona de cocción, posición abertura válvulas regulación aire enfriamiento, estadística defectos detectados por máquina de inspección en crudo, dimensiones piezas salida horno, número de piezas por fila, posición huecos horno, consumo de gas natural en horno, presión suministro gas natural, consumo eléctrico en la sección.

13. EQUIPO 13: Preparación para el almacenado.

- Maestro: PLC (1 ud).
- Esclavos:
 - Sensores: Estado marcha/paro clasificadora, estado marcha/paro máquina enfardar.
 - Autómatas: Referencia artículo avance orden de fabricación respecto a planificación, tiempo de marcha máquina clasificación, producción real en la sección, producción teórica acumulada, producción real acumulada, mermas productivas, motivos de paro, motivos de merma, Disponibilidad (D), Rendimiento (R), Calidad (C), número de piezas por caja almacenaje, ancho pieza, longitud pieza, número cajas por palet, consumo de cartón, consumo en material fungible (plástico, fleje, cantoneras, ...), consumo eléctrico en la sección.



3.2.3.2.- Nivel de Supervisión.

En este nivel se controlan los distintos equipos que forman parte de una misma “célula”. Este control se realiza a través de los sistemas SCADA (Supervisory Central And Data Acquisition).

El hardware asociado a estos sistemas consta de un ordenador central o MTU (Master Terminal Unit), que lleva incorporados sistemas de automatización de interfaz gráfica, tipo HMI (Human Machine Interface).

En el caso que nos ocupa el MTU interroga y transmite consignas a las RTU (Remote Terminal Units) que son los PLCs definidos en el apartado anterior de Nivel de Control. Para la comunicación entre éste y el Nivel de Supervisión se emplean conexiones con configuración en serie, constituidas por buses de alta velocidad y funcionalidad media.

Se propone para la presente mejora de la Factoría tipo de aisladores electrocerámicos el protocolo MODBUS, al tratarse de uno de los más extendidos en el sector industrial ya que es público, de implementación muy sencilla y permite un intercambio de información flexible. Como todos los buses, se configura a través del esquema Maestro/Esclavo.

Se asocian las “células” a las “secciones”, identificadas en el Apartado 5.2.2 como fases del proceso de fabricación de la Factoría.

1. Sistema SCADA 1:

- Maestro: MTU (1 ud).
- Esclavos: EQUIPO 1 (dosificación de materias primas), EQUIPO 2 (mezclado y formación de “barbotinas”), EQUIPO 3 (Tamizado y mantenimiento en balsas).

2. Sistema SCADA 2:

- Maestro: MTU (1 ud).
- Esclavos: EQUIPO 4 (bombeo de “barbotinas” hasta filtros-prensa), EQUIPO 5 (prensado en filtros-prensa), EQUIPO 6 (recogida y almacenamiento de tortas).

3. Sistema SCADA 3:

- Maestro: MTU (1 ud).
- Esclavos: EQUIPO 7 (extrusionado), EQUIPO 8 (presecado).

4. Sistema SCADA 4:

- Maestro: MTU (1 ud).
- Esclavos: EQUIPO 9 (conformado), EQUIPO 10 (secado).



5. Sistema SCADA 5:

- Maestro: MTU (1 ud).
- Esclavos: EQUIPO 11 (barnizado).

6. Sistema SCADA 6:

- Maestro: MTU (1 ud).
- Esclavos: EQUIPO 12 (cocción).

7. Sistema SCADA 7:

- Maestro: MTU (1 ud).
- Esclavos: EQUIPO 13 (preparación para el almacenado de las piezas).

3.2.3.3.- Nivel de Fábrica.

Este nivel está relacionado con las operaciones que se realizan en el conjunto de la Planta Industrial y su monitorización. En él se implantan los **software MES** (Manufacturing Execution Software), sistemas de gestión que gobiernan el conjunto del proceso de fabricación.

En cuanto al hardware necesario, MES se instala en una Unidad Central ó Servidor Principal de la Planta. El cual debe comunicarse con los niveles inferiores de la Pirámide CIM.

Dados los grandes volúmenes de información a transmitir en la Planta de elementos electrocerámicos que nos ocupa, procede confiar la interacción de dispositivos a Redes de Comunicación, como pueden ser las de tipo LAN (Local Area Network). La conexión en paralelo de estas redes (Cliente/Servidor) resulta mucho más eficiente para el intercambio de información en este Nivel, que los buses convencionales de conexión en serie (Maestro/Esclavo).

La idea es ir dentro de las LAN a redes Ethernet, que suponen un esquema abierto de interconexión, cuyas interfaces requeridas tienen un bajo coste de implantación y velocidades de transmisión altas.

Se propone, para la mejora que aquí se aborda de la Factoría tipo de aisladores electrocerámicos, la implantación del **Protocolo PROFINET**, como red de comunicación para este Nivel de Fábrica. Basa su funcionamiento en el estándar PROFIBUS, que goza de una gran implantación en el sector industrial. Incluye también la comunicación de bus de campo en toda la Planta, muy adecuado para el manejo de datos con origen identificado en “ERP y sistemas de gestión”, recogidos en las Tablas del Apartado 5.2.2, correspondientes al Nivel 0. Además, la transmisión de datos se realiza en tiempo real y a grandes velocidades.



Esta red PROFINET abarca pues la conexión en paralelo de la Unidad Central de la Planta (Cliente), con todos los 7 sistemas SCADA propuestos a nivel de “célula” ó “sección” y, además, con todos los dispositivos PLCs asociados a los correspondientes 13 EQUIPOS identificados.

3.2.3.4.- Nivel de Empresa.

Este nivel se relaciona con el global de operaciones y actividades que se desarrollan en el Empresa. En este nivel es en el que se implantan los **sistemas ERP**. Se trata de softwares que abarcan todas las tareas que intervienen en el negocio: producción, compras, ingeniería, contabilidad, finanzas, RRHH,...

Comienza a ser ya habitual que incorporen módulos de planificación y secuenciación productiva, que garanticen máxima eficiencia de las operaciones. Estos módulos calculan las necesidades de materias, mano de obra, maquinaria y equipos, para cubrir las necesidades de producción en todo momento. Tras lo que generan las correspondientes órdenes de fabricación, para las que indican cantidad y recursos a poner en disposición para la ejecución de las tareas de producción. Todo lo cual se halla en correspondencia con los datos a obtener en la mejora que aquí se aborda de la Factoría tipo de aisladores electrocerámicos, tal como se ha puesto de manifiesto anteriormente en las tablas del Nivel 0.

Es necesario por ello la conexión del Nivel de Empresa con todos los niveles inferiores de la Pirámide CIM. Por analogía en la estructura de comunicación, se plantea para este Nivel la implantación de otra Red de Comunicación con Protocolo PROFINET.

Esta red PROFINET implica la conexión en paralelo del Servidor Central de la Empresa (Cliente) con el sistema MES del Nivel de Fábrica, con los 7 sistemas SCADA del Nivel de Supervisión y los PLCs de los 13 EQUIPOS identificados en el Nivel de Control de Máquinas.

3.2.3.5- Esquema de la pirámide CIM

La propuesta de mejora de la Factoría que aquí se plantea contempla también el resto de niveles de automatización de la Pirámide CIM. Así pues, se establecen redes de comunicaciones para la integración del conjunto de niveles de la misma (Figura 42):

- **Protocolo AS-i:** Bus de campo (Maestro/Esclavo) para comunicar los niveles 0 y 1.
- **Protocolo MODBUS:** Bus de campo (Maestro/Esclavo) para comunicar los niveles 1 y 2.
- **Protocolo PROFINET:** Red de comunicación (Cliente/Servidor) para comunicar el Nivel 3 con los inferiores a éste de la Pirámide CIM.
- **Protocolo PROFINET:** Red de comunicación (Cliente/Servidor) para comunicar el Nivel 4 con los inferiores a éste de la Pirámide CIM.



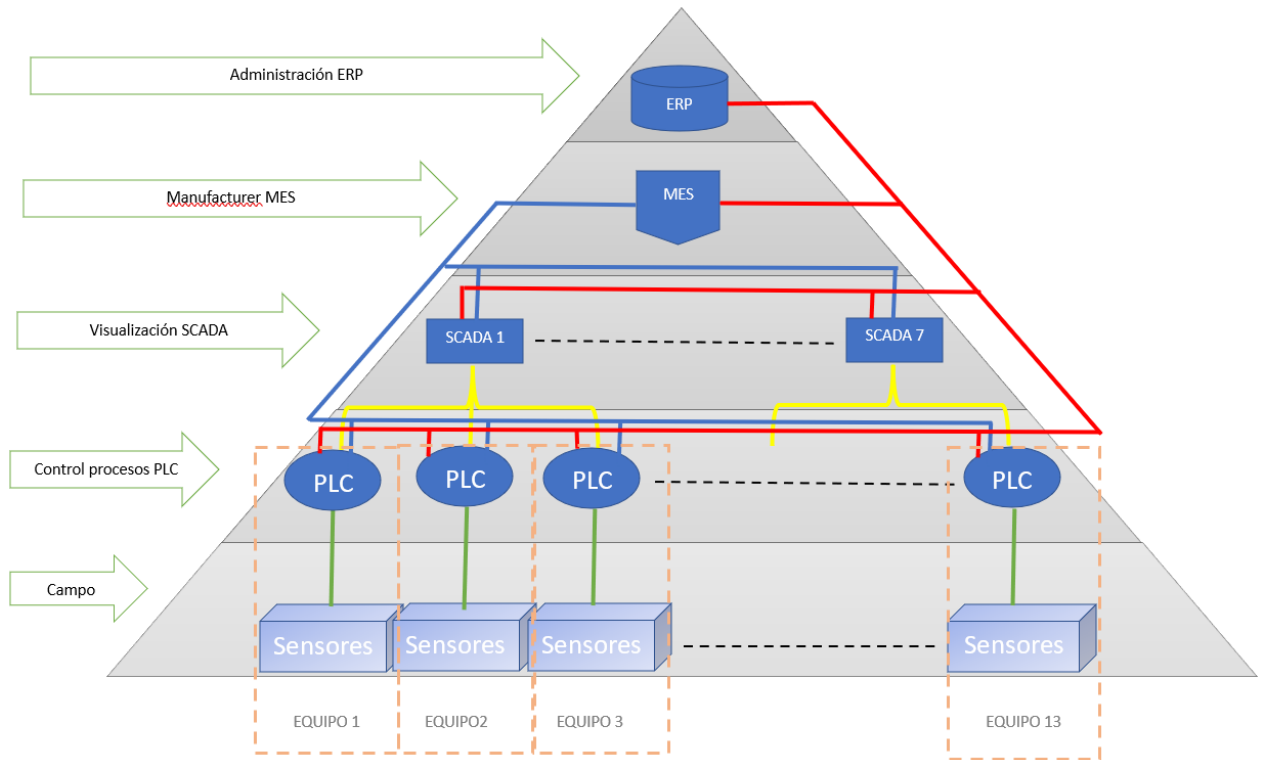


FIGURA 42: Redes de Comunicación para la integración de los Niveles CIM de la Factoría tipo de aisladores electrocerámicos. Elaboración propia.

Con la iniciativa recogida en esta propuesta, de mejora de la digitalización e integración, se llega a disponer de una imagen virtual completa, del proceso físico de fabricación de la Factoría, ó de un “**Modelo Digital**”, que constituye el primer escalón de la etapa de “**Visualización**” de la misma en su camino hacia la Industria 4.0.



4.- CONCLUSIONES.

A partir del año 2010 aparece el concepto de Industria 4.0, que viene a expresar la idea de que se está en el umbral de la Cuarta Revolución Industrial. Nace con la vocación de integrar todas las fases que conforman los procesos de producción industrial, automatizándolos y optimizándolos, con el objeto de incrementar su eficiencia. Pretende describir una organización de dichos procesos basada en tecnologías y dispositivos que se comunican autónomamente entre ellos, creando un sistema conectado a lo largo de toda la cadena de valor. El objetivo final es la creación de una industria inteligente y adaptable, en tiempo real, a los cambios.

Hoy puede afirmarse que, en parte, las tecnologías en las que se apoya el desarrollo de la Industria 4.0 son utilizadas ya por las grandes empresas. No obstante, las PYMEs se encuentran en general muy desfasadas con respecto a éstas.

El caso del sector industrial español no es una excepción en lo referente a las PYMEs. Hay que decir que desde la Administración se han venido estableciendo una serie de retos que alcanzan a diferentes etapas de ese camino hacia la Industria 4.0: digitalización, conectividad-trazabilidad, agilidad y flexibilidad en las respuestas, adaptación al cliente, mejora continua... Pero se parte de situaciones actuales bastante precarias. Por ello, resulta excesivamente optimista el plazo de cinco años que las estimaciones oficiales presentan para el desarrollo de esas etapas.

Existen, no obstante, iniciativas concretas de Instituciones Públicas para que las empresas adopten este nuevo paradigma. En este sentido cabe destacar las impulsadas para el “Distrito Industrial de la Cerámica” de la Provincia de Castellón. Se trata de un área industrial en la que existe un amplio cluster de empresas complementarias, representativas de los diferentes estratos de la escala de valor de la producción cerámica.

Es en las recomendaciones publicadas, dentro de estas iniciativas, en las que se ha apoyado la propuesta contemplada por el presente trabajo, para la implementación de las primeras etapas del camino hacia la Industria 4.0 en una Factoría convencional tipo de aisladores electrocerámicos.

A nivel conceptual, se identifican seis etapas hasta alcanzar el desarrollo completo de los parámetros que caracterizan la Industria 4.0: Informatización, Conectividad, Visualización, Transparencia, Capacidad Predictiva y Adaptabilidad.

El presente TFM se ha centrado básicamente en las tres primeras. Se impone en este sentido una estrategia de aproximación paso a paso, para aquellas compañías manufactureras convencionales que se hallan ya en marcha actualmente. Se trata con ello que estas transformaciones afecten lo menos posible a la buena marcha de las empresas. Hay que asegurar que durante todas las etapas del camino se mantengan los términos de crecimiento, rentabilidad y eficiencia actuales.

Para abordar estas primeras etapas, se ha utilizado la metodología basada en la Pirámide CIM. Ésta adquiere la forma habitual de cinco niveles jerarquizados, que se corresponden con la estructuración de intercomunicaciones inherentes al proceso productivo. Esta metodología se ha incorporado recientemente a los conceptos manejados por la Industria 4.0, para mejorar la automatización de los procesos industriales. La jerarquización de niveles permite identificar los dispositivos y herramientas tecnológicas, de hardware y software respectivamente, a utilizar en cada uno de ellos. Estos niveles son, del 0 al 4, los siguientes: de Procesos, de Control, de Supervisión, de Fábrica y de Empresa.

El Nivel 0 ó de Procesos constituye la base de la jerarquía de la pirámide. Se identifica con los sensores, actuadores y los dispositivos de campo. El proceso de fabricación industrial se halla conformado por una serie de etapas, físicamente interconectadas, que van transformando progresivamente las materias primas en productos semielaborados y finales. El control global e integrado deseado necesita de la información que pueden dar, en este Nivel 0, las “variables de proceso” a definir y los datos relativos a éstas, a captar en cada una de las fases de dicho proceso de fabricación.

En la propuesta de mejora de una Factoría tipo de aisladores electrocerámicos, que se plantea en el presente TFM, se contemplan cuatro ámbitos de información a cubrir en este Nivel 0, los cuales constituirán los datos mínimos a requerir en cada etapa del proceso de producción: Rendimientos y Gestión Productiva, Variables de Proceso, Consumo de Recursos y Costes Variables.

Estos datos son los que permitirán sentar las bases para facilitar que la Factoría llegue a la etapa de “Visualización” en su camino hacia la Industria 4.0. Para la obtención de los mismos se ha estructurado el proceso de producción de la Factoría en siete etapas o secciones: Preparación de Composiciones, Prensado, Extrusionado, Conformado, Barnizado, Cocción y, finalmente, Controles y Preparación para su Almacenado.

En cada una de ellas se han identificado los datos mínimos correspondientes a esos cuatro ámbitos de información.

El campo que se abre con el manejo adecuado de esta información es inmenso, de cara al objetivo de ir completando los sucesivos estadios del paradigma de la Industria 4.0. Para lograr el estatus de Factoría con capacidad predictiva y con un grado de aprendizaje tal que permita la toma de decisiones de manera autónoma, será necesario que dicho manejo no se limite exclusivamente a la captación de grandes volúmenes de información relativa a muchas variables. Debe poder suponer, principalmente, el desarrollo de formulaciones que lleven implícitos complejos análisis multivariados, no lineal, de dicha información.

Modelo Digital”, que constituye el primer escalón de la etapa de “Visualización” de la misma en su camino hacia la Industria 4.0.



Tras las obtención del modelo digital que constituye el primer escalón de la etapa de “visualización” de la Industria 4.0, el siguiente escalón a alcanzar sería la obtención de una “Sombra Digital”. Se llegaría a éste tras el rodaje del “Modelo Digital”, tras el que se podrá disponer ya de un volumen de datos reales del proceso suficientemente significativo. En este punto se será capaz de reflejar en el proceso digital cualquier cambio que se produzca en el proceso físico.

Llegar finalmente a la fase del “Gemelo Digital”, con la que se culminaría esta etapa de “Visualización”, será consecuencia del uso de tecnologías de análisis avanzadas, que permitan el autoaprendizaje automático del sistema y que doten al mismo de la capacidad de generar, automáticamente, recomendaciones útiles para la toma de decisiones. Es decir, en esta situación, también cualquier cambio en el proceso digital tendría su reflejo en el proceso físico.



BIBLIOGRAFÍA

- ABB Electrification en España (2018): Página web: [http://abb.es/baja tensión](http://abb.es/baja tension).
-
- Ametic (2021): ¿Qué es un Gemelo Digital?. AMETIC. La voz de la Industria Digital. Nov-2021.
-
- Barona, Gustavo y Velasteguí, Luis (2021): “Automatización de procesos industriales mediante Industria 4.0”. Alfa Publicaciones.
-
- Blanco, Raúl y otros (2017): “La Industria 4.0: El Estado de la Cuestión”. Economía Industrial, Nº 406.
-
- Caler, Rosendo (2015): “Análisis y Estudio de Comunicaciones Industriales para implementar arquitectura de comunicaciones estándar en Planta de Ciclo Combinado”. Máster Universitario en Departamento de Electrónica. Universidad de Alcalá de Henares.
-
- Cerrada, Mariela y otros (2011): “Diagnóstico de fallas basado en modelos: una solución factible para el desarrollo de aplicaciones SCADA en tiempo real”. Revista Ciencia e Ingeniería, Volumen 32, Nº 3. (Mencionado por Pérez-López, 2015, pag7)
-
- Creus, Antonio (2010): “Instrumentación Industrial. 8ª Edición”. Alfaomega-Marcombo, ediciones técnicas. Barcelona.
-
- García, Emilio (2020): “Automatización de Procesos Industriales. Robótica y Automática”. Colección Académica. UPV (Universitat Politècnica de València).
-
- Gómez, Julio R. y otros (2008): “Temas especiales de instrumentación y control”. Editorial Félix Varela. Cuba. (Mencionado por Pérez-López, 2015, pag6)
-
- Greenwood, Nigel R. (1988): “Implementing Flexible Manufacturing Systems”. Palgrave Macmillan. (Mencionado por Wu, Ch. y otros, 2001)
-
- Harrington, Joseph (1979): “Computer Integrated Manufacturing”. Industrial Press. New York. (Mencionado por Wu, Ch. y otros, 2001)
-
- Hervás-Oliver, José Luis y otros (2019): “A place-based policy for promoting Industry 4.0: The case of the Castellón Ceramic Tile District”. European Planning Studies.
-
- Hurtado, José María (2015): “Introducción a las Redes de Comunicación Industrial”. Departamento de Electricidad-Electrónica. I.E.S. Himilce. Linares.
-
- Kochan, Anna y Cowan, Derek (1986): “Implementing CIM. Computer Integrated Manufacturing”. IFS Publications. Universidad de California. (Mencionado por Wu, Ch. y otros, 2001)
-



- Lozano, Manuel y Zamora, Richard (2008): “Tecnologías y Herramientas de Ingeniería asociadas a los niveles de la Pirámide de la Automatización”. Universidad Tecnológica de Bolívar. Cartagena de Indias D.T. y C.
-
- Mallol, José Gustavo (2006): “Control y Automatización de la Industria Cerámica. Evolución y Perspectivas”. Qualicer 2006. Castellón (España).
-
- Mallol, José Gustavo y otros (2020): “Guía Asebec 4.0”. ITE-AIC (Instituto de Tecnología Cerámica – Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas). ASEBEC (Asociación Española de Fabricantes de Maquinaria y Bienes de Equipo para la Industria Cerámica).
-
- Ministerio de Industria, Energía y Turismo (2014): “La Transformación Digital de la Industria Española”. Informe Preliminar.
-
- Oltra, Raúl Francisco (2015): “Sistemas ERP (Enterprise Resources Planning)”. Departamento de Organización de Empresas. UPV (Universitat Politècnica de València).
-
- Parrot, Aaron y Warshaw, Lane (2017): “Industry 4.0 and the digital twin”. Deloitte University Press.
-
- Pérez, Hugo (2017): “Introducción a SCADA”. Universidad Nacional Abierta y a Distancia (UNAD). Colombia.
-
- Pérez-López, Esteban (2015): “Los sistemas SCADA en la automatización industrial”. Tecnología en Marcha, Vol. 28, N° 4.
-
- Ruessmann, Michael y otros (2015): “Industrie 4.0 The future of Productivity and Growth in Manufacturing Industries”. The Boston Consulting Group (BCG).
-
- Salazar, César Augusto y Correa, Luis Carlos (2011): “Buses de Campo y protocolos en Redes Industriales”. Facultad de Ciencias e Ingeniería. Universidad de Manizales. Colombia.
-
- Schuh, Günter y otros (2017): “Industrie 4.0 Maturity Index. Managing the Digital Transformation of Companies”. Acatech STUDY.
-
- Siemens (2013): “Instrumentación de Campo para la automatización de procesos”. Catálogo F1.01.2013. Siemens AG.
-
- Singh, Nanua (1996): “Systems approach to computer-integrated design and manufacturing”. Wiley. New York. (Mencionado por Wu, Ch. y otros, 2001)
-
- Sirkin, Harold y otros (2015): “The Robotics Revolution. The Next Great Leap in Manufacturing”. The Boston Consulting Group (BCG).
-
- Smit, Jan y otros (2016): “Industry 4.0”. Industry, Research and Energy-Policy Department; Economic and Scientific Policy. Directorate-General for Internal Policies. European Parliament.
-



- Tecnológico de Monterrey (2015): “Industria 4.0: fundamentos y sus alcances en el Sistema eléctrico”. ITESM (Instituto Tecnológico y de Estudios Superiores de Monterrey). México.
-
- Universidad Carlos III: “Actuadores”. UC3M: Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.
-
- Universidad Carlos III: “Comunicaciones Industriales”. UC3M: Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.
-
- Universidad Carlos III: “Sensores”. UC3M: Departamento de Ingeniería de Sistemas y Automática.
-
- Wollschlaeger, Martin y otros (2017): “The Future of Industrial Communication. Automation Networks in the Era of the Internet of Things and Industry 4.0”. IEEE Industrial Electronics Magazine.
-
- Wu, Cheng y otros (2001): “Computer Integrated Manufacturing”. Part 1 Handbook of Industrial Engineering. Department of Automation, Tsinghua University, Beijing, China.
-
- Zakoldaev, D. A. y otros (2019): “Modernization stages of the Industry 3.0 company and projection route for the Industry 4.0 virtual factory”. IOP Conference series: Materials Science and Engineering.



RECOPIACIÓN DE SIGLAS

- AIC : Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas.
- ANN : Artificial Neural Network.
- ASCER : Asociación Española de Fabricantes de Azulejos y Pavimentos Cerámicos.
- ASCII : American Standard Code for Information Interchange.
- ASEBEC : Asociación de Fabricantes de Maquinaria y Bienes de Equipo para la Industria Azulejera.
- AS-i : Actuator-Sensor Interface.
- BCG : The Boston Consulting Group
- BOM : Bill of Materials.
- CAD : Computer-Aided Design.
- CAM : Computer-Aided Manufacturing.
- CAN : Controller Area Network.
- CD : Construction Documentation.
- CEBRA+ : Ceramic Brain.
- CEM : (EMC) Electromagnetic Compatibility.
- CIM : Computer Integrated Manufacturing.
- CLEM : Encuesta de Clima Empresarial.
- CNC : Computerized Numerical Control.
- Cps : Centipoise (unidad de viscosidad).
- CPS : Cyber Physical System.
- CPU : Central Processing Unit.
- DCS : Distributed Control Systems.
- DEC : Digital Equipment Corporation.
- DFKI : Centro Alemán de Investigación de Inteligencia Artificial.
- DL : Deep Learning.
- DM: Data Matrix
- DMC : Dynamics Matrix Control.
- DP : Distributed Peripherals.
- ERP : Enterprise Resource Planning.
- FC : Ferrule Connector.
- FMS : Field Message Specification.
- 5G : Fifth Generation.
- GMAO : Gestión del Mantenimiento Asistido por Ordenador.
- HDC : High Density Connector.
- HMI : Human-Machine Interface.
- IA : Inteligencia Artificial (AI : Artificial Intelligence).
- IDESCAT : Instituto de Estadística de Cataluña.
- IEC : International Electrotechnical Commission (CEI: Comisión Electrotécnica Internacional).
- IEEE : Institute of Electrical and Electronics Engineers.
- IIoT : Industrial Internet of Things.
- IoT : Internet of Things.
- IP : Internet Protocol.
- IT : Information Technology - Internet Technology.
- ITC : Instituto de Tecnología Cerámica.
- IVACE : Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial.



- LAN : Local Area Network.
- LPWAN : Low Power Wide Area Network.
- LVDT : Linear Variable Differential Transformer.
- MEMS : Microelectromechanical Systems.
- MES : Manufacturing Execution System.
- ML : Machine Learning.
- Mmca : Milímetros de columna de agua.
- MOM : Manufacturing Operations Management.
- MRP : Material Requirement Planning.
- MTU : Master Terminal Unit.
- NAT : Network Address Translation.
- OEE : Overall Equipment Effectiveness.
- OLE : Object Linking and Embedding.
- OPC : Open Platform Communication.
- OPs : Open Systems.
- OT : Operational Technology.
- PA : Process Automation.
- PAC : Programmable Automation Controller.
- PC : Personal Computer.
- PD : Program Documentation.
- PG : Processing Group (redes).
- PID : Proportional Integral Derivative.
- PLC : Programmable Logic Controller.
- PLM : Product Lifecycle Management.
- PYMEs : Pequeñas y Medianas Empresas.
- RAMI 4.0 : Reference Architectural Model for Industrie 4.0.
- RDBMS : Relational Database Management System.
- RTD : Resistance Temperature Detector.
- RTU : Remote Terminal Unit.
- SC : Suscriptor Connector.
- SCADA : Supervisory Control and Data Acquisition.
- SDS : Smart Distributed System.
- SME : Society of Manufacturing Engineers.
- TCP : Transmission Control Protocol.
- TD : Technological Documentation.
- TSN : Time Sensitive Network.
- UDP : User Datagram Protocol.
- VDC : Volts Direct Current.
- VLAN : Virtual LAN.
- WAN : Wide Area Network.



**ANEXO I. RELACIÓN DEL TRABAJO CON LOS OBJETIVOS DE
DESARROLLO SOSTENIBLE DE LA AGENDA 2030**
**TRANSFORMACIÓN HACIA LA INDUSTRIA 4.0 DE UNA FACTORÍA
TIPO DE AISLADORES ELECTROCERÁMICOS**

Trabajo Fin de Máster

**Máster Universitario en Ingeniería Avanzada de
producción Logística y Cadena de Suministro**

Autor: Víctor Carbó Martínez

Tutor: Andrés Boza García

Haga clic aquí para escribir texto.



Objetivos de Desarrollo Sostenibles	Alto	Medio	Bajo	No Procede
ODS 1. Fin de la pobreza.			X	
ODS 2. Hambre cero.				X
ODS 3. Salud y bienestar.				X
ODS 4. Educación de calidad.		X		
ODS 5. Igualdad de género.				X
ODS 6. Agua limpia y saneamiento.				X
ODS 7. Energía asequible y no contaminante.				X
ODS 8. Trabajo decente y crecimiento económico.	X			
ODS 9. Industria, innovación e infraestructuras.	X			
ODS 10. Reducción de las desigualdades.				X
ODS 11. Ciudades y comunidades sostenibles.				X
ODS 12. Producción y consumo responsables.	X			
ODS 13. Acción por el clima.				X
ODS 14. Vida submarina.				X
ODS 15. Vida de ecosistemas terrestres.				X
ODS 16. Paz, justicia e instituciones sólidas.				X
ODS 17. Alianzas para lograr objetivos.				X



ODS 1 – Fin de la pobreza : Un efecto que puede llevar a controversia es el de la incidencia que tendrá la implantación de la Industria 4.0 sobre el empleo. Si bien, en este aspecto, hay que pensar que ocurrirá como en las anteriores revoluciones industriales. Puede que se produzca una cierta pérdida de puestos de trabajo a corto plazo, debida a la automatización de procesos. Pero, como en las anteriores, esta cuarta revolución industrial supondrá un aumento cualitativo de rentas a largo plazo, con la creación de nuevos puestos de mayor nivel técnico. Por lo cual se deberá velar por la formación continua del personal en todos los niveles.

ODS 4 – Educación de calidad: Tal y como se comenta en el apartado anterior, con la implantación de la Industria 4.0 se debe velar por una formación continua y de calidad, tanto a nivel profesional como universitario para hacer frente a las consecuencias de la digitalización.

ODS 8 – Trabajo decente y crecimiento económico: La Industria 4.0 supone un crecimiento económico y comparten un aumento cualitativo de rentas a largo plazo ya que se trata de la cuarta revolución industrial (como ocurrió en las anteriores revoluciones industriales).

ODS 9 – Industria, innovación e infraestructura : Los conceptos que forman parte de la Industria 4.0 tales como digitalización, conectividad, visualización, transparencia, capacidad predictiva... son cada vez más factibles de ser implantados en toda su amplitud en las empresas actuales, gracias al progreso y a la gran infraestructura tecnológica que presentan como: Big Data, Robótica, Ciberseguridad, Internet Industrial de las Cosas, la Nube, Realidad Aumentada,... Todo ello abre unas expectativas inmensas en cuanto a las capacidades del Sector Industrial, que alcanzan a toda su cadena de valor y al ciclo completo de vida de los productos.

ODS 12 – Producción y consumo responsables : Con la Industria 4.0 se crea una integración digitalizada de los procesos de producción cuyo objetivo final es el de alcanzar un día la creación de una empresa totalmente digitalizada, inteligente y con capacidad predictiva, que sea además capaz de generar autónomamente decisiones que puedan adoptarse ágilmente, como la de optimizar recursos para los propios procesos productivos y de esta manera obtener un consumo responsable de los mismos.

