

INDUSTRIA CERÁMICA 4.0, UN CASO REAL

**G. Mallol⁽¹⁾, J. Boix⁽¹⁾, D. Llorens⁽¹⁾, J.J. Clausell⁽¹⁾, J.I. Cantero⁽¹⁾,
R. Debón⁽²⁾, J.A. Ureña⁽²⁾, C. Vallejo⁽²⁾
S. Herrando⁽³⁾, P. Alcoriza⁽³⁾**

⁽¹⁾ Instituto de Tecnología Cerámica (ITC). Asociación de Investigación de las Industrias Cerámicas (AICE). Universitat Jaume I. Castellón. España.

⁽²⁾ COLORKER, S.A

⁽³⁾ Core Digital Industry

Palabras clave: industria 4.0, control automático, digitalización, costes de fabricación, trazabilidad

Tipo de comunicación: oral

Resumen

En los próximos años, todos los sectores industriales deberán necesariamente adaptar sus entornos productivos a la digitalización, la interconectividad y la automatización que requiere la implementación de los estándares propios de la Industria 4.0. En el presente trabajo se describen los avances que, en este sentido, se están llevando a cabo en la planta de fabricación de baldosas cerámicas que la empresa COLORKER tiene en Xilxes.

El proceso de transformación digital de la planta se ha iniciado habilitando y/o adaptando las comunicaciones de las diferentes máquinas y equipos productivos para disponer de la información de proceso gestionada por estas. Toda la información generada en planta ha quedado integrada mediante una red de comunicaciones industriales con fibra óptica especialmente desplegada. A través de esta red se han centralizado en tiempo real los datos necesarios para calcular los costes de fabricación por lotes, los rendimientos de las diferentes etapas productivas, los consumos de energía y las emisiones de CO₂. Para garantizar la continuidad de la información dentro del proceso de fabricación, ha sido necesario desarrollar y poner a punto un sistema propio de trazabilidad de las piezas fabricadas que asegura su identificación individualizada.

Finalmente, se ha iniciado la implementación de una plataforma MOM (Manufacturing Operations Management) adaptada a las necesidades de la Industria Cerámica 4.0. Esta plataforma integra en un mismo sistema todas las operaciones, garantizando la correcta consolidación de todos los datos relevantes, tanto del proceso productivo, como de la gestión empresarial, para hacer posible una gestión integrada y optimizada de las operaciones de las compañías.

1 Introducción

El concepto Industria 4.0, término acuñado por primera vez en 2011 durante la Feria de tecnologías industriales de Hannover, hace referencia a una nueva manera de organizar los medios productivos, con el fin de disponer de sistemas ágiles y flexibles que respondan rápidamente a los constantes cambios y alteraciones en el entorno de producción. Las industrias de proceso en general, tienen que ser capaces de responder a las cada vez más exigentes necesidades de los mercados actuales y de las cadenas de suministro. La tendencia hacia la personalización de la producción en masa, la exigencia de tiempos rápidos de respuesta, los cada vez más cortos ciclos de vida del producto y el uso eficiente de la energía y los recursos están obligando a las compañías a replantearse aspectos tan importantes como la flexibilidad de sus plantas, la capacidad de

reconfiguración de sus flujos productivos o la descentralización y la integración de los proveedores [1].

La aparición de nuevas tecnologías basadas en el Internet de las Cosas (Internet of Things, IoT) y el Internet de los Servicios (Internet of Services, IoS) ha facilitado la integración de nuevos tipos de dispositivos en las cadenas de producción. Estas tecnologías permiten que dispositivos, como por ejemplo sensores, actuadores o teléfonos inteligentes, interactúen y cooperen entre ellos para lograr objetivos comunes. A los conjuntos de estos dispositivos se les conoce como sistemas ciber-físicos (Cyber-Physical Systems, CPS) porque actúan como nexo de unión entre el mundo real (físico) y el virtual (ciber). De hecho, la integración de estas tecnologías en los procesos de fabricación, junto con la hiperconectividad y el Big-Data, entre otros, ha marcado el inicio de la conocida como cuarta revolución industrial, utilizando el concepto de Industria 4.0 para describirla [2]. La nueva revolución industrial está sustentada en la llamada fábrica inteligente (Smart Factory), caracterizada por la interconexión de máquinas y de sistemas en el propio emplazamiento de producción, y también por un fluido intercambio de información a todos los niveles de producción y gestión de la planta.

Las llamadas Industrias 4.0 se caracterizan por la interoperabilidad, modularidad, capacidad de integración, seguridad, digitalización, descentralización y capacidad en tiempo real de sus sistemas. La implementación de estas medidas en los procesos de producción es clave para el futuro de las industrias, ya que conseguirán aumentar la productividad a la vez que se aumenta la calidad de los productos, traducándose esto en un incremento de competitividad y, por lo tanto, de la rentabilidad de la empresa.

Un claro ejemplo de la importancia que implican para los sectores industriales los cambios tecnológicos propugnados por la Industria 4.0 son las iniciativas que muchos países están adoptando en los últimos años. Así, Industrie 4.0 es un proyecto clave de la estrategia tecnológica del gobierno alemán, que promueve la revolución digital de las industrias. Los Estados Unidos, a través de iniciativas como el proyecto "Smart Manufacturing Leadership Coalition", se orientan a la fabricación industrial del futuro. O la propia UE, en el plan Horizon 2020, contempla estos aspectos en líneas prioritarias de actuación como "Factories of the Future (FoF)" o "Sustainable Process Industry (SPIRE)". El gobierno español presentó en 2015 el Plan Industria Conectada 4.0, para desarrollarlo en los próximos años a través del Ministerio de Industria.

Actualmente el proceso de fabricación de baldosas cerámicas puede considerarse un proceso tecnológicamente maduro, desde el punto de vista de su grado de automatización [3]. En todo el proceso, la manipulación del producto se realiza de forma automatizada y sin intervención humana de ningún tipo. Sin embargo, desde un punto de vista del control de proceso y la gestión de las operaciones en planta, el proceso cerámico requiere de una importante adaptación para alcanzar los estándares de la Industria 4.0. Actualmente, la información que se gestiona es manual, discontinua, poco elaborada, desfasada en el tiempo respecto a la producción real, y en muchas ocasiones, no permite un análisis fiable de las operaciones. Es más, a nivel de control del proceso, las diferentes etapas de fabricación constituyen islas de control aisladas en las que la información no fluye de forma automática entre unas y otras.

Este bajo grado de madurez a nivel del control, comparado con otras industrias mucho más avanzadas en este campo, como la industria química o la petroquímica, resta mucha competitividad a las empresas cerámicas. En efecto, el desconocimiento de la información del proceso de producción impide que exista una correcta trazabilidad de la producción en continuo y en tiempo real, la cual permitiría conocer con exactitud aspectos tan importantes como, por ejemplo, el coste real de fabricación de una baldosa cerámica, el rendimiento de un sistema en el proceso de producción o el consumo energético derivado de la producción de un lote, entre otros. Todo ello, sin olvidar que

una explotación correcta de la información generada en el proceso productivo permitiría utilizar modelos de negocio avanzados para mejorar la competitividad de las empresas.

Hoy en día, los principales fabricantes de equipos y maquinaria para la industria cerámica están proponiendo, en las plantas productivas de nueva creación, soluciones y herramientas que garantizan un cierto grado de hiperconectividad e integración de los procesos de fabricación de baldosas. Sin embargo, existe un gran parque de maquinaria industrial, todavía en perfectas condiciones de uso, que requiere de su adaptación para asegurar la digitalización de la industria cerámica. El trabajo aquí descrito se enfoca precisamente en las adaptaciones que es necesario realizar en una planta cerámica tipo, para conseguir una correcta hibridación entre el mundo de las tecnologías de la información y las propias operaciones de planta.

2 Objetivo

El principal objetivo del trabajo es mostrar el proceso de transformación que debería experimentar una planta de fabricación de baldosas cerámicas para adaptar la gestión de sus operaciones a los estándares de la industria 4.0. Para ello se plantea la implantación de un proyecto piloto de integración industrial que, asistido por un nuevo sistema de trazabilidad del proceso basado en la codificación de piezas, permita optimizar las operaciones de las compañías y mejorar su competitividad.

3 Situación de partida

Para la implantación del proyecto piloto demostrativo se ha considerado necesario seleccionar una unidad productiva típica que garantice la demostración del proceso de transformación en un entorno productivo real. El despliegue de dicho proyecto piloto se está llevando a cabo en las instalaciones productivas que la compañía Colorker posee en Xilxes y en las que fabrica, por monococción, productos de pavimento de gres porcelánico y azulejo poroso de pasta blanca.

3.1 Descripción del proyecto piloto

El proyecto piloto consta de dos líneas de preparación de producto crudo constituidas, cada una de ellas, por una prensa hidráulica con capacidad de fabricar piezas de tamaños desde 20 cm x 40 cm hasta 120 cm x 60 cm, un secadero horizontal de cinco planos y una línea de esmaltado con diferentes tipos de aplicaciones decorativas, entre las que destaca, una máquina de impresión por chorro de tinta.

El producto crudo fabricado en estas dos líneas es almacenado en vagonetas en un stock intermedio para, posteriormente, ser cocido en un horno monoestrato de rodillos. Completan el equipamiento del proyecto piloto, dos máquinas de clasificación del producto acabado y una máquina de corte y rectificado. Tras su cocción las piezas vuelven a ser almacenadas en el stock intermedio y, dependiendo de las características del producto final, se clasifican directamente para su embalado y expedición o se rectifican previamente a su clasificación.

3.2 Niveles de control previos

Al igual que en la mayoría de las compañías dedicadas a la fabricación de baldosas cerámicas, el nivel de automatización previo existente en las instalaciones objeto de la transformación es muy elevado. Las líneas de fabricación están completamente automatizadas, siendo controladas todas las operaciones de manipulación y procesado de piezas mediante autómatas programables.

A pesar de esto, el grado de control de proceso existente es relativamente bajo. Los controles de las variables críticas de fabricación se realizan únicamente a nivel de cada

equipo o, en algunos casos, a nivel de etapas de fabricación concretas. Así, por ejemplo, en la operación de conformado, la prensa hidráulica controla de forma automática la presión máxima de prensado en cada ciclo, sin embargo, otra variable crítica para el proceso, como es la densidad aparente, se controla de forma puntual realizando actuaciones manuales sobre el proceso para tratar de mantenerla constante. Además, la mayoría de los registros de control se realizan de forma manual mediante anotaciones en hojas de control, sin que exista un flujo de información entre las diferentes etapas de fabricación o hacia niveles superiores de gestión.

Únicamente, como punto más destacable de la metodología empleada en la planta de fabricación, previamente al inicio de la transformación, cabría mencionar la existencia de un sistema de mejora continua, basado en la metodología LEAN Manufacturing.

4 Proceso de transformación

A continuación, se describen las diferentes etapas a través de las cuales se está abordando la transformación digital del proceso productivo en el proyecto piloto demostrativo implementado.

4.1 Hiperconectividad de las diferentes etapas de proceso

Las primeras tareas llevadas a cabo en el proceso de transformación han consistido en evaluar el grado de conectividad de los diferentes equipos que constituían las líneas del proyecto piloto. En base a los diagnósticos realizados se han encontrado tres posibles formas de garantizar la hiperconectividad entre todos los elementos de la cadena productiva:

- Para el equipamiento principal de las líneas de fabricación, tales como prensas, secaderos, hornos o máquinas de clasificar, la solución más adecuada, para garantizar la hiperconectividad en niveles superiores de control, ha sido contactar con el fabricante de los mismos para que lleve a cabo las modificaciones oportunas y/o habilite los puertos de comunicación que permiten adquirir la información de proceso generada en cada etapa.
- La segunda forma de garantizar la hiperconectividad completa ha sido mediante la incorporación de transductores externos que permitan el envío de información a los elementos de almacenamiento de datos. Tal es el caso, por ejemplo, de la incorporación de módulos de conversión analógica/digital en los contadores de gas natural de los hornos y secaderos.
- Finalmente, la tercera vía para asegurar la interoperabilidad de la planta ha sido la sustitución de los autómatas programables de las diferentes máquinas y equipos encargados de la manipulación de piezas, tales como, las líneas de transporte y las máquinas de carga/descarga de piezas en las vagonetas, entre otros. Esto ha sido motivado por el bajo, o incluso nulo, grado de conectividad ofrecida por la generación de autómatas existente en el equipamiento industrial del proyecto piloto. Por esta razón se han incorporado autómatas con capacidad de comunicación remota soportando los protocolos de comunicación industrial estandarizados. Además, el sistema ha sido dotado de un autómata controlador central con capacidad para gestionar la información procedente de todo el parque de autómatas del proyecto piloto y guardarla directamente en las bases de datos pertinentes, sin necesidad de incorporar PCs o sistemas de adquisición de datos intermedios.

Para permitir la correcta transmisión de datos, se ha incorporado una nueva red de comunicaciones industrial de fibra óptica que conecta las diferentes secciones productivas del proyecto piloto. Con el fin de garantizar la ciberseguridad del entorno industrial

transformado, dicha red industrial ha sido diseñada de manera que sólo exista un punto de acceso desde la red exterior, punto en el cual el tráfico de información está controlado por un "firewall" especialmente dedicado.

4.2 Incorporación de un sistema de trazabilidad

El proceso de fabricación de baldosas cerámicas no permite actualmente obtener la traza que va dejando el producto fabricado por todos los procesos internos de las compañías. Esto es fundamentalmente debido a que, aunque no lo parezca, el proceso no es realmente un proceso de fabricación continua al uso. En efecto, la existencia en la mayoría de factorías de un pulmón o parque intermedio en el que se almacena, tanto el material en verde previamente a su cocción, como el producto cocido previamente a su clasificación final, dificulta enormemente el correcto trazado de la producción. Esto ha hecho necesario el desarrollo de un sistema específico para garantizar la trazabilidad del producto fabricado. Entre las diferentes posibilidades evaluadas para trazar la producción, la opción más adaptada a las necesidades del proceso cerámico ha sido el marcado mediante códigos bidimensionales DataMatrix (DM) del dorso de las piezas fabricadas.

Tal y como se ilustra en el esquema de la figura 1, el sistema en su conjunto consta, por un lado, de un cabezal de impresión (1) colocado a la salida de la prensa, que marca las piezas procesadas con un identificador único (2) y, por otro lado, de una serie de cámaras de detección (3) ubicadas en los puntos de las líneas de fabricación en los que se desea controlar el paso de las piezas.

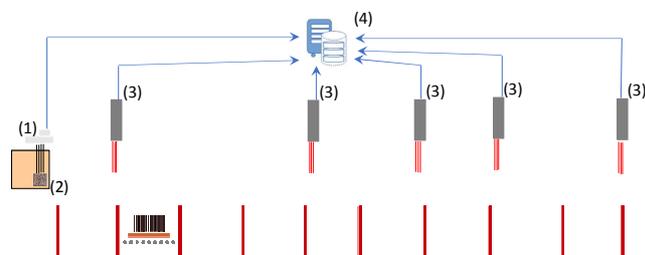


Figura 1. Esquema del funcionamiento del sistema de trazabilidad desarrollado.

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. De esta manera, posteriormente, es posible conocer las condiciones de proceso y el resto de eventos de operación que se estaban dando en el momento justo en el que se procesó dicha pieza. Para garantizar la integridad de las codificaciones durante los tratamientos térmicos a los que se someten las baldosas, ha sido necesario emplear tintas basadas en pigmentos cerámicos que quedan fijadas al soporte durante la cocción. La potencialidad del sistema es muy elevada. Así, por ejemplo, podrán relacionarse, en tiempo real y pieza a pieza, variables tales como el tamaño de pieza a la salida de horno con las condiciones de cocción y/o prensado o defectos de una pieza, registrados con los sistemas de inspección automática, con condiciones de operación o eventos de línea.

4.3 Integración industrial de información

Para conseguir la integración industrial de todos los datos procedentes de la planta se ha configurado un servidor informático exclusivamente utilizado para la gestión de los datos industriales. Sobre esta máquina se ha desplegado la herramienta Nexus-Integra, desarrollada y comercializada por la empresa CORE Digital Industry. Esta plataforma tecnológica es capaz de integrar el proceso productivo de forma unificada sobre una base común de manera controlada y segura.

La plataforma Nexus permite un control sencillo sobre las tres capas en las que se estructura el flujo de datos en el área productiva:

- Integración de equipos, sensores, líneas de producción y campo, así como el resto de fuentes de información industrial.
- Gestión optimizada del almacenamiento y consulta de datos en tiempo real y de forma controlada sobre servicios Big Data.
- Presentación y aplicaciones de negocio en continua evolución para explotación de los datos, el control de la producción y/o la optimización de procesos, ofreciendo una respuesta completa al proceso de transformación digital.

Frente a otras posibles soluciones, se ha preferido el uso de la herramienta Nexus fundamentalmente por tres razones:

- Garantiza una gran flexibilidad y escalabilidad del sistema, de manera que, una vez desplegado en su entorno, cualquier elemento adicional que se desee incorporar al sistema dispone de una capa común a todos los activos de producción y recursos de negocio, lo cual supone un importante ahorro en desarrollo.
- Se trata de una plataforma abierta completamente gestionable por el usuario, que proporciona independencia completa para integrar los recursos deseados, crear visualizaciones y consultas propias y controlar la producción, facilitando una capacidad de adaptación continua a los cambios en el ecosistema industrial en el que se implanta.
- Proporciona interoperabilidad completa y libre de exclusividad con fabricantes industriales lo que la hace compatible con todos los sistemas de información existentes en las plantas (BBDD, ERP, MES, SAP, etc).

Tomando como base de partida los datos que se han empezado a adquirir gracias a la hiperconectividad alcanzada en el piloto, se ha iniciado el desarrollo de una serie de módulos específicos sobre la plataforma Nexus con el fin de adaptar su uso a los requisitos de la industria cerámica. Dichos módulos contemplan los siguientes aspectos:

- *Control de producción y tiempo real*: ofrece una forma rápida y sencilla de visualizar la realidad del proceso productivo en tiempo real, apoyándose en el sistema de trazabilidad desarrollado.
- *Eficiencia energética*: permite un control pormenorizado del consumo energético, ofreciendo de forma adicional un gestor documental para manejar la información requerida por la norma ISO50001.
- *OEE (Overall Equipment Effectiveness)*: control pormenorizado sobre las métricas OEE en cada punto de producción, ofreciendo un análisis detallado sobre las causas de la pérdida de eficiencia.
- *Alarmas y eventos*: centraliza la gestión de alarmas de todas las variables de producción, de forma integrada con los módulos de tiempo real y OEE.
- *Data Analytics*: mediante las APIs estándar del sistema, este módulo de gestión permitirá enlazar con herramientas y algoritmos avanzados de Machine Learning.
- *Informes*: herramientas sencillas y prácticas para diseñar informes propios basados en MS Excel y Power Point, permitiendo que cualquier usuario pueda cruzar información compleja mediante una herramienta estándar.

- *Business Intelligence y Dshboards*: se ofrece un sistema ágil y abierto para la gestión de cuadros de mando propios que permiten una representación gráfica de los datos y Kpis de interés para la organización.

5 Principales resultados

Aunque el proceso de transformación no puede darse por concluido en el momento de redactar el presente trabajo, existen una serie de resultados que es interesante comentar.

5.1 Trazado de la producción

Tras una etapa previa de desarrollo en laboratorio y a escala piloto, se ha conseguido poner a punto un sistema de trazabilidad industrial de piezas cerámicas que permite seguir el flujo de piezas a través de las diferentes etapas de fabricación. El marcado del dorso de las piezas con códigos DM se ha efectuado con un cabezal de impresión especialmente adaptado a la impresión en vertical. El sistema, que funciona con una tinta cerámica de las habitualmente empleadas en la decoración de las baldosas, reconoce el paso de los soportes recién prensados, imprimiendo en la cara inferior de cada uno de ellos un código de identificación único (ver figura 2).



Figura 2. De izquierda a derecha: cabezal de impresión para el marcado de piezas, pieza codificada y cámara de detección.

Justo a la salida del marcador, se ubica una primera cámara de detección que, además de registrar el paso de piezas entre las etapas de prensado y secado, permite evaluar la integridad de los códigos impresos. El sistema dispone de un mecanismo retráctil que permite la limpieza automática del cabezal cada cierto tiempo o cuando se detectan códigos con un cierto grado de deterioro.

Las cámaras de detección se han colocado en la parte inferior de las líneas de fabricación, incorporando, en las zonas con una mayor tendencia al ensuciamiento de las mismas, un sistema de limpieza por aire a presión. Cada cámara ha sido conectada a la red industrial desplegada, de manera que la gestión de las mismas y de la información generada se realiza desde el servidor central.

5.2 Interoperabilidad de equipos

Con la hiperconexión de todo el equipamiento de las líneas del proyecto piloto, se ha conseguido digitalizar por completo el proceso productivo cerámico, creando un gemelo virtual, disponiendo así de toda la información de proceso integrada en una única herramienta para su posterior explotación (ver figura 3). Esta integración, unida al flujo de información generado por la herramienta de trazabilidad permite, no únicamente asignar correctamente la información a lotes concretos de producción, sino también dentro de los propios lotes.

Además, también se han desplegado una serie de dispositivos adicionales de control, que permiten generar información clave para la optimización del proceso (ver figura 4). En concreto, se ha implantado, en la sección de prensado, un sistema no destructivo de control de la densidad aparente por absorción de rayos X [4] y un control automático de la operación de prensado [5] en base a la medida de humedad y, a la salida del horno, un sistema de control dimensional. La información generada por estos dispositivos será de gran ayuda a la hora de incorporar, en un futuro, algorítmica de Machine Learning a la gestión del proceso.

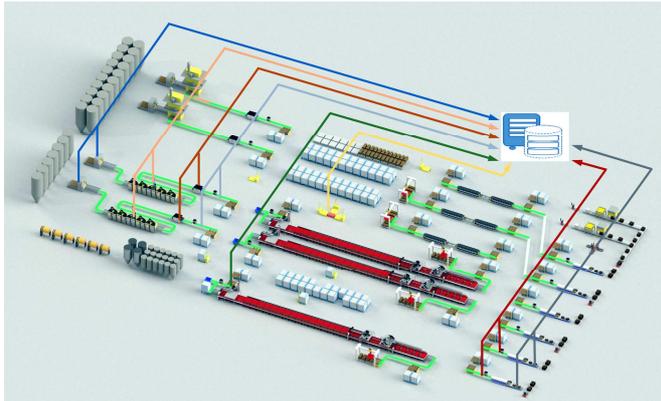


Figura 3. Esquema mostrando el grado de interoperabilidad alcanzado en el piloto demostrativo.

Mediante este tipo de análisis Big Data se espera poder detectar situaciones como la representada en la figura 5. En dichos gráficos, se muestra, utilizando una escala de tiempo unificada gracias al uso del sistema de trazabilidad, por una parte, la evolución para un lote completo de la densidad aparente media de los soportes recién prensados (figura 5 izq.), estimada con los parámetros de control adquiridos de la propia prensa y las leyes de comportamiento del material compactado. Y, por otra parte, la evolución del tamaño de las piezas a la salida del horno para el mismo lote (figura 5 der.).



Figura 4. Dispositivos de control incorporados. De izq. a der.: Densexplorer® control de densidad aparente, control automático del prensado y control dimensional a salida de horno.

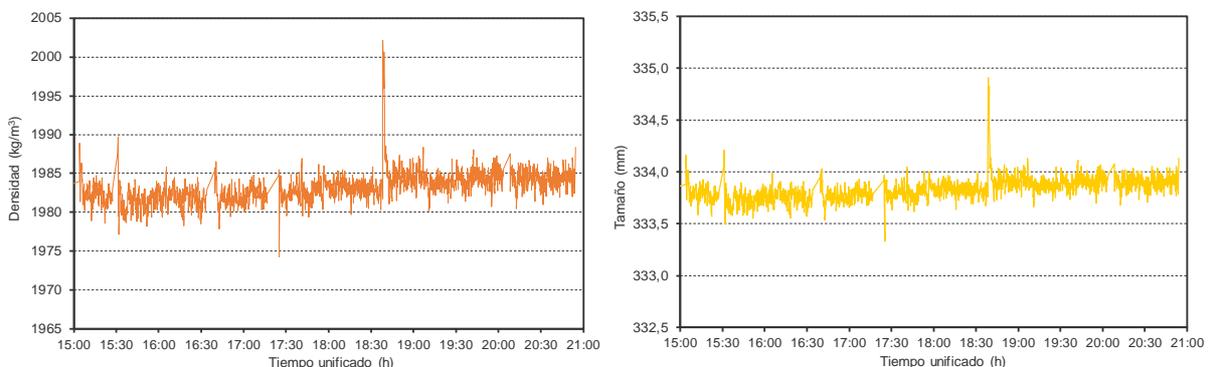


Figura 5. Izq.: evolución de la densidad aparente en prensa. Der.: evolución del tamaño de pieza cocida.

Como puede observarse, a lo largo de las 6 horas registradas, la densidad aparente presenta una tendencia al alza que queda posteriormente reflejada en un aumento progresivo del tamaño final de las piezas cocidas. Del mismo modo, la fluctuación brusca de la densidad aparente detectada entre las 18:30 y las 19:00 h se traduce,

posteriormente tras la cocción, en un cambio significativo del tamaño de las piezas cocidas. La idea es adquirir progresivamente grandes cantidades de datos procedentes del proceso para, una vez consolidados gracias al sistema de trazabilidad desarrollado, establecer modelos de análisis de proceso que permitan predecir situaciones futuras y actuar para corregirlas en tiempo real. El caso de la predicción del tamaño final de pieza es un caso paradigmático, dada la especial incidencia de los defectos de "calibres" en el producto final, sin embargo, estas mismas herramientas podrán emplearse para evaluar el efecto de las condiciones de procesamiento sobre otros parámetros de interés como son los defectos detectados por las máquinas de inspección, las curvaturas del producto a la salida del horno, los consumos energéticos o los costes de fabricación del producto.

5.3 Desarrollo de módulos de gestión adaptados al entorno cerámico

Finalmente, para adaptar los módulos del sistema de integración Nexus a las necesidades de proceso cerámico, se ha llevado a cabo una identificación de todas aquellas variables y parámetros que es necesario medir y/o controlar en cada una de las etapas del proceso. A modo de ejemplo, a continuación, se describe el análisis realizado para la etapa de conformado y secado de soportes.

En la tabla 1 se recoge la información mínima que se considera necesaria para llevar a cabo una correcta gestión de las dichas operaciones en una planta de fabricación de baldosas. La información se agrupa en base a cuatro campos: rendimientos productivos, variables de proceso, consumo de recursos y costes variables.

Información	PRENSA	SECADERO
RENDIMIENTO PRODUCTIVO	Disponibilidad (D) = Tiempo productivo / Tiempo disponible (%)	
	Rendimiento (R) = Producción real / Producción Teórica (%)	
	Calidad (C) = Piezas buenas / Piezas producidas (%)	
	OEE = D x R x C (%)	
VARIABLES DE PROCESO	Humedad (%)	Temperatura salida (°C)
	Densidad aparente (kg/m ³)	Temperatura máxima (°C)
CONSUMO DE RECURSOS	Consumo Polvo (kg)	Consumo gas (kcal/m ²)
	Consumo eléctrico (kw h/m ²)	Consumo eléctrico (kw h/m ²)
	Consumo eléctrico (kw h/m ²)	Emisiones de CO ₂ (kg/m ²)
COSTES VARIABLES	Coste polvo atomizado (€/m ²)	Coste energía térmica (€/m ²)
	Coste energía eléctrica (€/m ²)	Coste energía eléctrica (€/m ²)

Tabla 1. Información mínima requerida para la gestión de las operaciones de prensado y secado.

Etapas	Variable medida	Sensor empleado
Prensado	Filas prensadas	Proporcionado por prensa
	Humedad	Sensor infrarrojos
	Consumo eléctrico	Medidor eléctrico
	Piezas buenas	Sistema trazabilidad
Secado	Piezas buenas	Sistema trazabilidad
	Consumo eléctrico	Medidor eléctrico
	Volumen GN consumido	Caudalímetro GN

Tabla 2. Variables medibles requeridas para la gestión de las operaciones de conformado y secado.

Para la obtención de dicha información es imprescindible disponer de las variables directamente medibles indicadas en la tabla 2 y las variables no medibles reflejadas en la tabla 3. En ambas tablas se muestra, junto a las variables, la forma en la que pueden ser obtenidas. Aunando estas variables con, por un lado, el conocimiento en tiempo real de los estados de marcha/paro y/o alarma del equipamiento y, por otro lado, con la información generada por el sistema de trazabilidad, es posible conocer de forma precisa y en tiempo real la información de gestión reflejada en la tabla 1.

El correcto almacenamiento en las bases de datos empleadas por el sistema Nexus de toda la información de gestión indicada en la tabla 1, permitirá, a posteriori, realizar análisis sobre lotes de producción concretos, gracias al control de la trazabilidad

alcanzado con el sistema desarrollado. En efecto, desde el primer momento en el que se fabriquen piezas asignadas a una determinada orden de fabricación, gracias a la trazabilidad alcanzada con el sistema de codificación, la información generada quedará perfectamente indexada y referida a dicha orden de fabricación. Esto permitirá tener, tanto un perfecto seguimiento en tiempo real del proceso productivo, como una fácil segmentación de la información para su posterior explotación mediante herramientas de análisis Big Data.

6 Conclusiones

- La industria de fabricación de baldosas cerámicas dispone de unos procesos manufactureros con unos niveles de automatización lo suficientemente maduros como para abordar su transformación digital hacia la industria 4.0. sin excesos en el coste.
- Se ha demostrado que es posible alcanzar la hiperconexión de los diferentes elementos productivos de una planta de fabricación de baldosas cerámicas.
- Se ha desarrollado y validado en condiciones industriales un sistema de trazabilidad que garantiza el flujo de información a lo largo de todo el proceso productivo.
- Se están desarrollando módulos de gestión especialmente adaptados a la industria cerámica para la integración completa de la información industrial bajo la herramienta Nexus.

Información adicional	Ref.	Información asociada a la adicional	Localización información no medible	Variable calculada
Salidas molde	N	-	Prensa	Rendimiento Calidad OEE Consumo polvo
Velocidad prensa	G	-	Prensa / Sensor humedad	Rendimiento Calidad OEE Consumo polvo
Referencia artículo u Orden Fabricación	S	Tamaño (mm x mm)	Base datos Artículos	Rendimiento Calidad OEE
	M	Peso específico (kg/pieza)	Base datos Artículos	Consumo polvo
Coste polvo (€/kg)	Cat	-	ERP	Coste polvo
Poder Calorífico Inferior (J/Nm ³)	PCI	-	ERP	Coste térmico
Poder Calorífico Superior (J/Nm ³)	PCS	-	ERP	Coste térmico
Coste energía térmica (€/J)	Cet	-	ERP	Coste térmico
Coste energía eléctrica (€/Kw h)	Cee	-	ERP	Coste eléctrico
Factor Emisión GN (kg CO ₂ /J)	FE	-	ERP	Emisiones CO ₂

Tabla 3. Variables no medibles requeridas para la gestión de las operaciones de conformado y secado.

7 Bibliografía

- [1] Kagermann, H.; Wahlster; W.; Helberg, J. Recommendations for implementing the strategic initiative Industrie 4.0: Final report of the Industrie 4.0 working group, 2013.
- [2] Hermann, M.; Pentek, T.; Otto, B., Design principles for Industrie 4.0 scenarios: a literature review, 2015.
- [3] Mallol, G. Control y automatización en la industria cerámica. Evolución y perspectivas. *Cerámica Información*, 347, 63-80, 2007
- [4] Amorós J.L.; Boix, J.; Llorens, D.; Mallol, G.; Fuentes, I.,; Feliu, C. Non-destructive measurement of bulk density distribution in large-sized ceramic tiles, *J. Eur. Ceram. Soc.* 30 (2010) 2927-2936.
- [5] Amorós, J.L.; Mallol, J.G.; Mezquita, A.; Llorens, D.; Castro-Lopes, F.; Cerisuelo, J.A.; Vargas, M. Mejora de la estabilidad dimensional de piezas de gres porcelánico a través de la medida en continuo de la humedad de los soportes prensados. *Cerámica Información*, 311, 117-126, 2004

Agradecimientos

Los autores de este trabajo quieren agradecer al Instituto Valenciano de Competitividad Empresarial (IVACE) el apoyo económico brindado, a través de fondos FEDER, para poder llevar a cabo esta investigación mediante el programa de ayudas a Centros Tecnológicos de la Comunidad Valenciana para el desarrollo de proyectos de I+D y el programa INNOVA i4.0-CV.