

IMPRESIÓN POR CHORRO DE TINTA PARA LA DECORACIÓN DE BALDOSAS: TECNOLOGÍA Y OPORTUNIDADES



Ian Hutchings

Inkjet Research Centre, Institute for Manufacturing, University of Cambridge,
Cambridge CB3 0FS, RU

Catedrático Ian Hutchings. Titular de la cátedra GKN de Ingeniería de Fabricación de la Universidad de Cambridge.

Sus intereses de investigación son interdisciplinarios y sobrepasan las fronteras entre la ciencia de los materiales y la ingeniería. Desde hace muchos años posee un gran interés en la tribología: la ciencia y la tecnología de la fricción, el desgaste y la lubricación.

Ha sido galardonado con la Medalla de Plata de la Tribología, el premio más importante del Reino Unido en este campo, en 1994, y fue elegido miembro de la Royal Academy of Engineering en 2002. Es editor jefe de la revista internacional Wear.

Sus otros intereses de investigación incluyen la deformación de los materiales bajo altas velocidades de deformación y la modificación de las superficies para aplicaciones tecnológicas: la ingeniería de superficies. Ha llevado a cabo investigaciones sobre el proceso de pulido para baldosas de gres porcelánico, presentadas en ediciones anteriores de Qualicer. Más recientemente, se ha interesado por la ciencia y las aplicaciones de la impresión por chorro de tinta y es el director del Inkjet Research Centre (Centro de Investigación de Chorro de Tinta) de Cambridge, centro que trabaja con socios industriales y académicos con vistas a profundizar en el conocimiento de la tecnología y la ciencia básica de este proceso de fabricación que está experimentando un rápido desarrollo.

RESUMEN

La impresión por chorro de tinta se utiliza frecuentemente en la impresión de gráficos y textos a pequeña escala (en casa y en oficinas pequeñas). También se está empezando a aplicarla, y cada vez en mayor medida, en la impresión comercial, y hay ciertas características que la hacen especialmente atractiva para la impresión en el contexto de la fabricación industrial. En los 10 últimos años, se han explorado las posibilidades de la impresión por chorro de tinta en la decoración de baldosas, y se han dado avances significativos en las tecnologías relacionadas con el diseño de los cabezales de impresión y la formulación de las tintas. Hay varios sistemas comerciales de impresión, tanto para el uso en línea como fuera de línea, en el mercado. Este trabajo repasa los principios básicos de la impresión por chorro de tinta, y comenta las características del proceso que la hacen adecuada para la decoración de baldosas en un contexto industrial. Se analiza el nivel actual de desarrollo de la impresión por chorro de tinta para esta aplicación y se presentan unas breves consideraciones sobre las posibles oportunidades futuras.

1. INTRODUCCIÓN

En estos últimos años se ha dado una explosión en cuanto al número de empresas que ofrecen nuevas impresoras basadas en la tecnología del chorro de tinta para la decoración de baldosas. Sólo en 2008, hubo cinco empresas que lanzaron nuevas impresoras en línea, frente a tres que lo hicieron fuera de línea. De hecho, el año 2008 ha sido denominado como el “año de la revolución digital para el sector cerámico” (CeramicWorldWeb, enero de 2009). La rapidísima expansión de esta tecnología que se ha dado en la última década se puede observar claramente en la figura 1, donde se presenta las empresas que ofrecen impresoras de chorro de tinta para baldosas en línea.

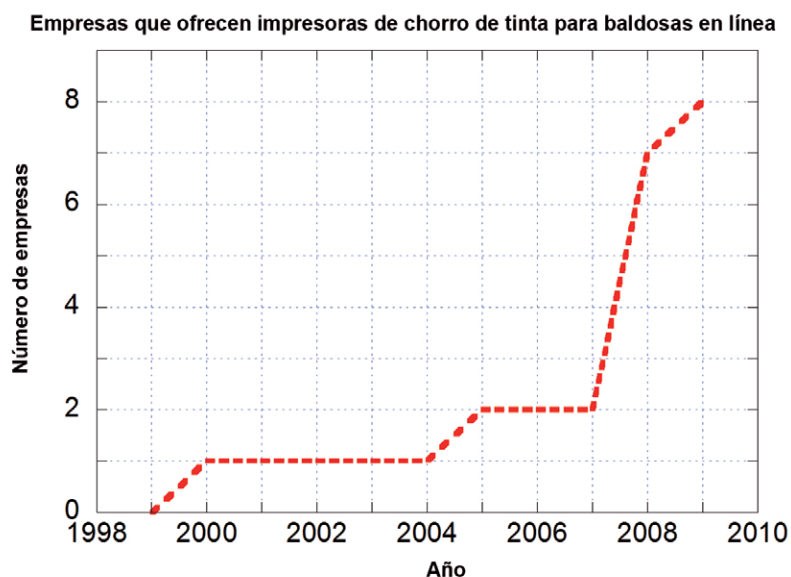


Figura 1. Número de empresas que ofrecen impresoras comerciales para baldosas en línea, basadas en la tecnología de chorro de tinta (datos de la tabla 1, más abajo).

Parece muy probable que, a pesar de las dificultades económicas actuales a nivel mundial, y de los efectos que éstas tienen sobre la industria cerámica arquitectónica, esta nueva tecnología ha venido para quedarse y, una vez que la producción cerámica inicie su recuperación, habrá una renovación de interés hacia la inversión en este método de decoración de baldosas. Este trabajo pretende explicar lo que puede hacer la impresión por chorro de tinta, y demostrar porqué ésta tienen características que pueden aportar valor y flexibilidad a los fabricantes y usuarios de las baldosas cerámicas. Repasaremos los principios básicos de la impresión por chorro de tinta, y comentaremos las características del proceso que hacen posible imprimir sobre la superficie cerámica. Consideraremos el nivel de desarrollo actual de la impresión por chorro de tinta para aplicaciones cerámicas, y realizaremos una breve consideración de algunas especulaciones en cuanto a las oportunidades futuras para la aplicación de esta tecnología.

Los principios básicos de la impresión convencional no han cambiado durante cientos de años: los distintos procesos que damos por sentado incluyen la reproducción repetida de la misma imagen o texto muchas veces. Normalmente, esto último se obtiene transfiriendo un modelo de tinta líquida o semilíquida a partir de algún modelo o patrón maestro a través del contacto directo con el papel o con otro sustrato. Los cambios sobre este modelo de impresión sólo se pueden conseguir modificando el patrón maestro, lo que implica realizar modificaciones físicas y mecánicas dentro de la máquina de impresión.

El proceso de impresión convencional usado para las baldosas es, esencialmente, el mismo que se desarrolló para la impresión del papel, del cartón y de los productos textiles: impresión de pantalla plana, durante la década de 1960, impresión de pantalla rotatoria en la década de 1970, e impresión flexográfica e intaglio en la década de 1990 (De Carlo 2003). A diferencia de estos métodos, la impresión por chorro de tinta proporciona un proceso fundamentalmente distinto. La creación y deposición de cada pequeña gotita de tinta se lleva a cabo usando un control digital, para que cada dibujo o patrón impreso en una secuencia pueda diferenciarse con facilidad de otro, o ser el mismo. Este método se usa a gran escala para la impresión de textos, y de gráficos, a pequeña escala (en casa y en oficinas pequeñas). Ahora se está usando, cada vez más, en la impresión comercial sobre papel y cartón, y el proceso también ofrece un amplio espectro de posibilidades para la deposición de materiales en los procesos de fabricación. Existen varios factores que lo hacen especialmente atractivo para estas aplicaciones (Hutchings 2009).

En primer lugar, se trata de un proceso digital. La localización de cada gotita de material puede ser predefinida en unas coordenadas X-Y, y se puede modificar, si es necesario, en tiempo real, por ejemplo para ajustar la distorsión o la falta de alineamiento del sustrato. Debido a que es un proceso digital, pueden diferenciarse los productos unos de otros en una secuencia, a pequeña escala o realizando grandes modificaciones; los productos realizados a medida se generan tan fácilmente

como las múltiples réplicas del mismo diseño. Debido a que el modelo a imprimir se encuentra en forma de datos digitales, puede haber un ahorro significativo del coste en procesos que incluyen el uso de una máscara física o plantilla.

En segundo lugar, es un método sin contacto, las únicas fuerzas que se aplican al sustrato son el resultado del impacto de gotas de líquido muy pequeñas. Por tanto, pueden procesarse sustratos frágiles que serían difícil, o incluso imposibles, de manipular mediante métodos de impresión convencionales. Los sustratos no planos pueden imprimirse, ya que el proceso se puede operar a una distancia de al menos 1 mm y, en algunos casos, incluso mucho más.

En tercer lugar, se puede depositar una amplia gama de materiales; la única limitación es que en el punto de impresión el material esté en forma líquida con sus propiedades físicas (sobre todo viscosidad y tensión superficial) en un intervalo adecuado. Los pigmentos, tintas, fritas de vidrio y partículas metálicas se imprimen con facilidad a partir de suspensiones, así como una amplia gama de materiales que se pueden usar para realizar funciones ópticas y electrónicas.

Las ventajas de la impresión por chorro de tinta para decorar baldosas se basan en estos tres factores. En concreto, se han reconocido los siguientes beneficios en comparación con los métodos de impresión convencionales (Harvey y Sainz 2000, Burzacchini y Zannini 2009):

- la definición de la imagen digital y la flexibilidad del proceso implican que cada baldosa puede ser diferente si así se requiere, permitiendo una representación más realista del material natural, como la piedra, existiendo también la posibilidad de imprimir productos únicos como murales o suelos únicos;
- los distintos modelos de baldosa pueden procesarse en secuencia, o incluso juntos;
- se puede obtener una alta definición de imagen;
- se acorta el tiempo de producción global para prototipos y nuevos productos;
- la personalización, a través de pequeños cambios en un diseño básico, es sencilla;
- el almacenamiento de diseños en forma de datos digitales es sencillo y con un coste muy bajo;
- la impresión de extremo a extremo permite patrones sin interrupciones que sobrepasan los límites de la baldosa;
- las baldosas con relieve se pueden decorar automáticamente, evitando la costosa manipulación manual;
- los tiempos de montaje son significativamente más bajos que en los métodos de impresión convencionales;

- los cambios del tamaño de la imagen se pueden realizar fácilmente para acomodar distintos tamaños de baldosa;
- se logra una capacidad cromática en el proceso, con una pequeña gama de tintas, generalmente los 4 colores tipo usados en la impresión convencional (CMYK), es decir, cian, magenta, amarillo y negro;
- el uso de tintas es más eficiente, y por lo tanto hay menos desperdicio;
- las huellas ecológicas de la máquina son más pequeñas que en los procesos convencionales.

La finalidad de esta revisión es explorar los principios de la impresión por chorro de tinta, y ver cómo se está usando en la decoración cerámica. Repasaremos las tecnologías de impresión actualmente en uso, y comentaremos los desarrollos para aplicaciones futuras.

2. PRINCIPIOS DE LA IMPRESIÓN POR CHORRO DE TINTA

Hay dos métodos distintos que se usan de forma común para generar gotas en la impresión por chorro de tinta, denominados chorro de tinta continuo (CIJ) y gota bajo demanda (DOD) (Martin et al. 2008). Ambos se ilustran en la figura 2. En el CIJ (figura 2a) se emite un chorro de tinta continuo desde una boquilla y éste se rompe formando una corriente de gotas de tinta esféricas. La ruptura se causa por fuerzas de tensión superficial que hacen un chorro inestable (inestabilidad de Plateau-Rayleigh), pero que también se controla aplicando una vibración bien definida a la corriente. Cada una de las gotas individuales se carga luego eléctricamente por inducción desde un electrodo cercano, y se guía (desvía) por medio de fuerzas electroestáticas para que dibuje puntos sobre el sustrato. Al variar el nivel de carga inducida se puede controlar la desviación que experimenta la gota, y por tanto su posición final sobre el sustrato. Las gotas que no se cargan de esta forma son introducidas en un canalón y luego recicladas. Los sistemas sencillos de CIJ usan boquillas sencillos, pero también hay algunos sistemas con boquillas múltiples. La impresión por CIJ es un proceso bien establecido que se usa ampliamente dentro de la industria, por ejemplo para imprimir las fechas y los códigos de lotes, y se encuentra en la industria cerámica para etiquetar y embalar, y en algunos casos para imprimir los códigos de identificación en los bordes de las baldosas. Sin embargo, no se usa para la decoración de las baldosas.

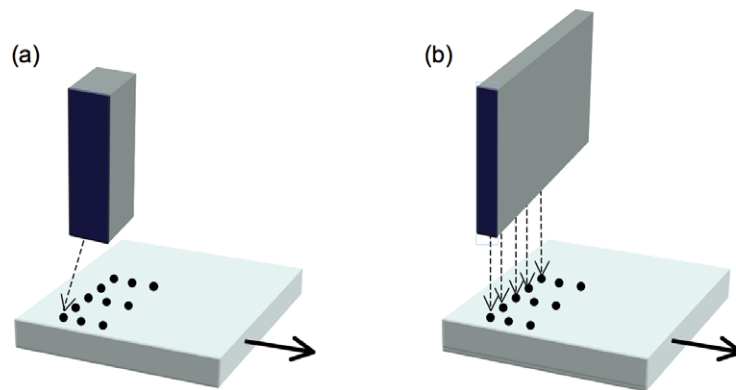


Figura 2. Ilustración de los principios de operación de (a) impresión por chorro de tinta continuo (CIJ), y (b) impresión por chorro de tinta de gota bajo demanda (DOD). En cada caso, las gotas de tinta se emiten desde un cabezal de impresión: en la impresión por CIJ se dirigen de forma individual sobre el sustrato desde una boquilla individual, mientras que en la impresión por DOD se emiten desde un conjunto de boquillas en respuesta a señales digitales.

En el método por DOD, una boquilla individual, normalmente dentro de un conjunto con un gran número de boquillas, se controla individualmente para expulsar una gota única bajo demanda, al inducir un pulso de presión transitoria en una cámara de tinta detrás de la boquilla. A continuación, la gota viaja por línea recta desde la boquilla para luego formar un depósito sobre el sustrato. Todas las impresoras actuales que usan tecnología de chorro de tinta para decorar baldosas cerámicas (con excepción de una que comentaremos luego) usan el principio de DOD, y nos centraremos aquí en este método.

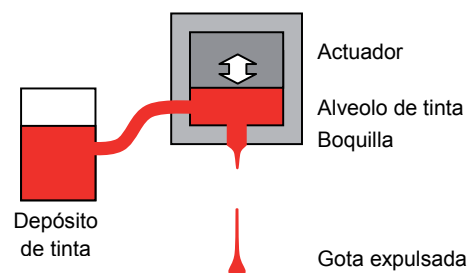


Figura 3. Ilustración esquemática del principio operacional de un cabezal de impresión de gota bajo demanda (DOD).



Figura 4. Ejemplo de un cabezal de impresión piezoeléctrico industrial DOD con 1000 boquillas y una anchura de impresión de 70 mm (Xaar plc, Reino Unido).

En la impresión por DOD, el líquido es expulsado desde un alveolo, como respuesta a la señal de un gatillo, tal y como se muestra de forma esquemática en la figura 3, a través de la generación de un pulso de presión por medio de un actuador. Hay dos tipos de actuadores comunes. El método de DOD térmico (o chorro de burbujas) que es ampliamente usado en las impresoras domésticas y en las oficinas pequeñas; el calentamiento de transición veloz de la tinta por medio de un pequeño elemento de calentamiento eléctrico, situado en el alveolo de la tinta, cerca de la boquilla, crea una burbuja de vapor de escasa duración que impulsa un chorro de tinta fuera de la boquilla. A continuación, la burbuja estalla, extrayendo tinta desde el depósito para luego volver a llenar el alveolo, y a continuación se puede repetir el proceso nuevamente. La mayor parte de los sistemas de chorro de tinta industriales, no obstante, usan un método distinto, en el que un elemento piezoeléctrico cambia el volumen interno del alveolo con la aplicación de un campo eléctrico y genera ondas de presión que, a su vez, expulsan tinta desde la boquilla y luego vuelven a llenar el alveolo. Debido a que el sistema de DOD térmico incluye la vaporización de un pequeño volumen de tinta, esto impone restricciones significativas en lo que se refiere a los materiales que pueden ser sometidos a chorro por medio de este método; es decir, deben de ser relativamente volátiles, o al menos han de tener un componente volátil. Para el método de DOD piezoeléctrico no hay tales restricciones.

Los cabezales de impresión para ambos métodos de impresión DOD contienen, habitualmente, cientos de boquillas separadas, alimentadas a partir de un colector de tinta único, pero se puede dirigir cada una de ellas de forma individual. La figura 4 muestra un cabezal de impresión DOD piezoeléctrico de tipo industrial con 1000 boquillas distribuidas a lo largo de una anchura de 70 mm; se pueden dirigir todas de forma individual. La distancia entre las boquillas en el cabezal (en este caso 70 μm) define la resolución 'nativa' que se logrará en una única pasada de impresión, aunque esto puede incrementarse de varias formas, por ejemplo imprimiendo con un cabezal que esté en ángulo con la dirección de la impresión, o bien usando más de un cabezal, montados en paralelo. La impresión por múltiples pasadas, que se trata más abajo, puede usarse también para aumentar la resolución. La resolución del proceso de impresión se establece por regla general en "puntos por pulgada (dpi)" (donde 1 dpi equivale a una gota impresa por cada 25.4 mm).

El cabezal de impresión expulsa un pequeño volumen de líquido que sale en forma de chorro corto. Una vez el chorro abandona la boquilla, las fuerzas de tensión superficiales hacen que se forme una gota principal seguida de un ligamento fluido que puede colapsar, formando una o más gotas satélites de menor tamaño. Estos satélites pueden combinarse con la gota principal, o permanecer separados, tal y como se muestra en el ejemplo de la figura 5. En un sistema ideal, la tinta habrá formado una gota única en el punto en el que impacta sobre el sustrato, generalmente a una distancia de 1 mm, pero a veces esto no se consigue. Por regla general, una mayor distancia dará más tiempo para que se forme la gota esférica, pero a expensas de una velocidad de gota más baja y con menos precisión en la posición exacta en la que impacta sobre la superficie.

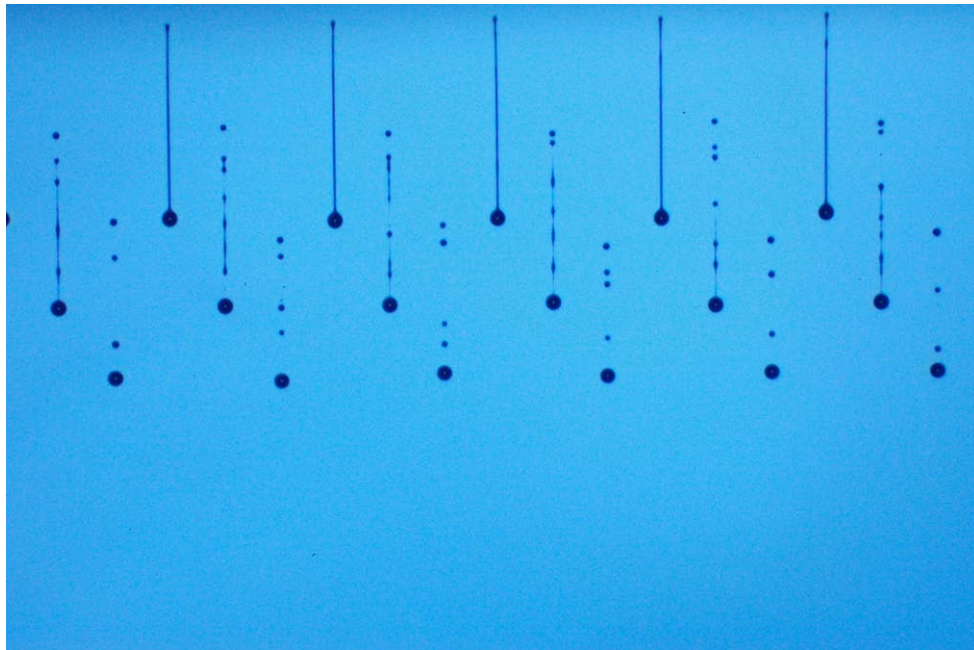


Figura 5. Imagen flash de alta velocidad que muestra los chorros formados a partir de una fila de boquillas (fuera de la parte superior de la imagen) en tres intervalos de tiempo distintos tras la eyección. Las gotas de la fila superior tienen largos ligamentos que forman "colas" tras las gotas esféricas principales. Las filas segunda y tercera muestran gotas en fases de evolución posteriores; en este caso, el ligamento se rompe formando gotas satélite muy pequeñas.

El diámetro de la gota, que es lo que en última instancia limita la resolución del proceso de impresión, es similar al de la boquilla. Generalmente es de aproximadamente 50 μm , lo que corresponde a un volumen de gota de unos 60 pL (picolitros), aunque hay cabezales industriales disponibles que producen gotas tan pequeñas como 1 pL ($\sim 10 \mu\text{m}$ de diámetro). Usando una boquilla pequeña y una forma de onda impulsora compleja, algunos sistemas de segunda generación (cabezales de "escala de grises") pueden producir una corriente de sub gotas que se fusionan formando una gota única con un tamaño controlable antes de que impacte sobre el sustrato. La figura 6 muestra la diferencia entre el denominado cabezal "binario" (a) en el que se emite un tamaño único de gota en respuesta a la señal impulsora, y el cabezal de "escala de grises" en el que se generan una o más sub gotas al aplicar una señal impulsora adecuada: luego, estas se fusionan y dan como resultado una gota final única con un tamaño controlable (b-d). En este tipo de cabezal, el tamaño de cada gota de cada boquilla puede controlarse de forma individual durante la impresión, que, en comparación con un cabezal binario, permite obtener una calidad de imagen superior para el mismo orificio de boquilla nativa (Knight 2009).

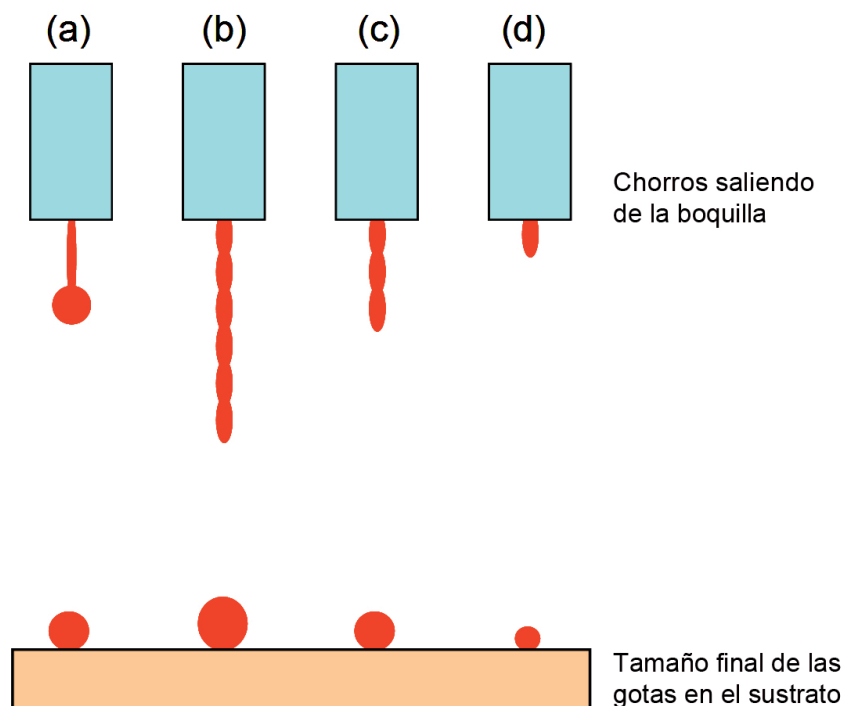


Figura 6. Los principios operativos de (a) un cabezal binario que aporta un tamaño de gota único, y (b-d) un cabezal de escala de grises en el que puede modificarse el tamaño final de la gota al combinarse una serie de subgotas.

Las velocidades de gota en la impresión por DOD son generalmente de entre 5 y 10 m/s. El proceso de expulsión del chorro y la formación de gota incluye las fases de expulsión de fluido diferenciadas y secuenciales, y el reabastecimiento del alveolo, y la frecuencia máxima operativa se rige por la escala de tiempo de estos eventos. En un sistema DOD típico, esto da como resultado un espaciado mínimo de las gotas a lo largo del chorro expulsado desde una boquilla única que es más o menos de 10 a 20 veces el diámetro de la gota.

3. IMPRESIÓN EN LÍNEA DE BALDOSAS CERÁMICAS

En principio, el proceso por el que la impresión por chorro de tinta se puede usar para decorar las baldosas cerámicas es sencillo. Para integrar la impresión por chorro de tinta de forma eficiente en una línea de producción de baldosas, se requiere un proceso con una única pasada, en el que las baldosas pasan de forma continuada a través de la máquina. En esta pasada única, la impresora debe depositar las intensidades de color de forma precisa y fiable sobre toda la superficie a decorar. La figura 7 muestra, de forma esquemática, los componentes de un sistema típico para la impresión por cuatricromía de pasada única.

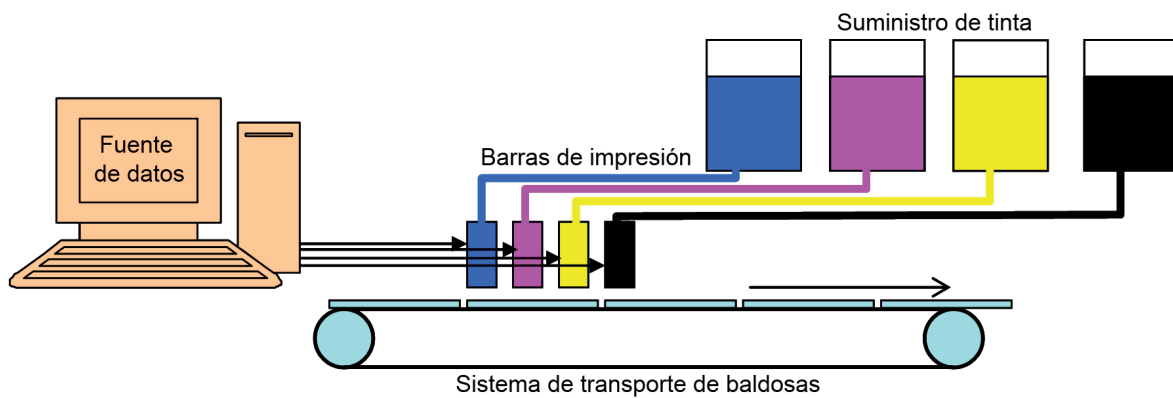


Figura 7. Diagrama esquemático de una impresora de chorro de tinta de cuatricromía en línea, de pasada única.

Para cada color, se ensamblan los cabezales de impresión en un conjunto (conocido como barra de impresión) que presenta una fila continua de boquillas a lo largo del ancho de la baldosa: para los anchos típicos de baldosa y cabezal esto puede implicar diez o más cabezales. Estos generalmente están escalonados tal y como muestra la figura 8.

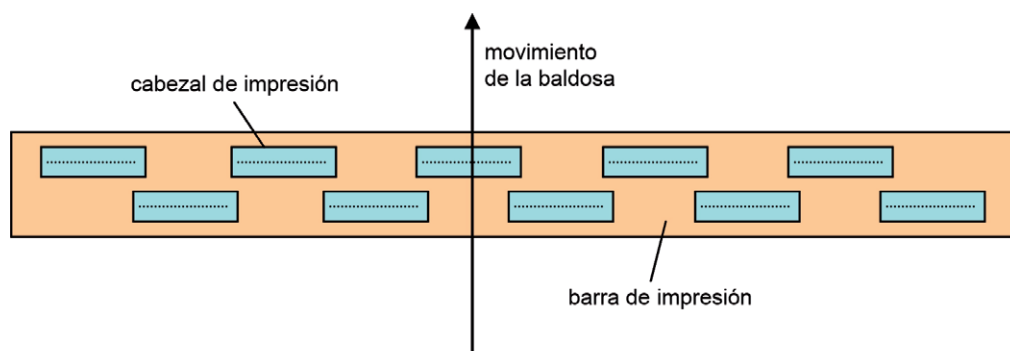


Figura 8. Diagrama que muestra cómo diez cabezales de impresión individuales se pueden ensamblar para formar una barra de impresión larga y única. Para la impresión en línea se utiliza una barra de impresión para cada uno de los colores.

Las barras se montan sobre el sistema de transporte de la baldosa, y la imagen definida digitalmente se genera dirigiendo los cabezales de impresión, alimentados con tinta, con señales adecuadas que están sincronizadas con el movimiento continuado de las baldosas bajo la barra de impresión. Los elementos claves de la impresora consisten, pues, en los cabezales de impresión, el sistema de transporte de la baldosa, el sistema de suministro de la tinta, la alimentación de datos y los sistemas de control asociados. No obstante, el diseño y optimización de estos componentes, y su integración en una máquina precisa, fiable y robusta capaz de operar de forma continuada con un mantenimiento mínimo en un entorno de producción cerámica, lleva asociados retos de ingeniería significativos. Existen, probablemente, muchas razones económicas y comerciales que explican el rápido crecimiento reciente de la disponibilidad de las impresoras de chorro de tinta en línea, pero también existen razones técnicas.

Los requisitos informáticos de la impresión en línea son sustanciales. Las señales de datos han de ser enviadas a cada una de las boquillas, en tiempo real, de modo que, por ejemplo, para imprimir a una resolución de 360 dpi en una baldosa de 70 cm de ancho, con una velocidad de producción de 35 m/min, se han de transmitir más de 80 millones de señales por segundo a cada barra de impresión: un proceso de cuatricromía requeriría una cantidad 4 veces superior. Estas señales deben de ser sincronizadas de forma precisa, unas con otras, y con el sistema de transporte de baldosas requerido para mover las baldosas suavemente y a una velocidad constante bajo las barras de impresión, ya que las irregularidades en el movimiento llevarían a defectos en el registro del color y del modelo. Las exigencias de los cabezales de impresión son muy estrictas. La fabricación incluye la micro fabricación de precisión, por ejemplo para producir boquillas muy pequeñas y precisas con precisión y reproducibilidad, aunque deben de ser capaces de operar en un entorno pesado e industrializado, con un mantenimiento mínimo durante períodos de tiempo prolongados. Las tintas para la decoración cerámica deben de ser desarrolladas de forma específica, con propiedades particulares, tal y como se trata más abajo. Todos estos componentes del sistema deben de ser compatibles para proporcionar un proceso de fabricación consistente, y sólo en fechas recientes se han venido dando, e integrando para estas finalidades, avances informáticos en el diseño de los cabezales y en el desarrollo de las tintas. Es significativo que los retos de la impresión en línea no se hayan restringido a la industria cerámica. Se ha dado una explosión similar en la reciente disponibilidad de sistemas de impresión de pasada única a nivel comercial, como resultado de desarrollos técnicos en otros mercados relacionados con la impresión también (Baker y Chrusciel 2008, Alexander 2008), aunque, podría argumentarse que, en comparación con la impresión continua en papel o en redes de polímeros, la impresión de baldosas cerámicas plantea retos adicionales en términos de entorno industrial, formulación de tintas, y manipulación del sustrato.

4. TINTAS PARA LA DECORACIÓN CERÁMICA

Las tintas usadas para la decoración de baldosas cerámicas deben de satisfacer al menos dos criterios importantes. Primero, deben de tener una reología adecuada, y otras propiedades para poder ser usadas en este proceso, es decir, han de ser imprimibles; segundo, deben de producir los colores deseados tras su aplicación sobre la baldosa y su procesamiento posterior.

Nuestra comprensión de la influencia de las propiedades reológicas de un líquido y su capacidad para formar gotas bien definidas durante la impresión con chorro de tinta con pocas, o sin ninguna gota satélite, aún está en fase de desarrollo. Para un líquido simple con una viscosidad independiente del gradiente de cizalladura o del historial de cizalladura (un líquido Newtoniano), las propiedades que importan son: su viscosidad y su tensión superficial. Los cabezales de impresión

del chorro de tinta de gota bajo demanda requieren, frecuentemente, una tinta con una viscosidad, a la temperatura de impresión, dentro del intervalo de 8 a 25 mPa s, aunque algunos pueden imprimir tintas con viscosidades de hasta 100 mPa s. A modo comparativo, la viscosidad del agua a temperatura ambiente es de aproximadamente 1 mPa s (= 1 centipoise). El cabezal de impresión y la temperatura de la tinta son controlados generalmente en la impresora para mantener valores de viscosidad estables y precisos.

Los efectos combinados de viscosidad y tensión superficial en la imprimibilidad de la tinta pueden expresarse a través del valor del número de Ohnesorge (Oh), donde $Oh = \eta / (\rho \sigma D)^{1/2}$. Aquí η , ρ y σ son la viscosidad, densidad y tensión superficial del fluido respectivamente, y D el diámetro de la boquilla (o gota). El número de Ohnesorge describe la importancia relativa que tienen las fuerzas de viscosidad y de superficie sobre el fluido. La impresión DOD de un fluido es práctica sólo si el valor de Oh se encuentra dentro del intervalo, aproximadamente, de 0.1 y 1. Para $Oh > 1$ la disipación de viscosidad en el fluido evita la formación del chorro, mientras que para $Oh < 0.1$ se forman gotas múltiples, en vez de una gota única bien definida. Los criterios de imprimibilidad de un fluido Newtoniano incluyen, por tanto, esta viscosidad, y también la densidad y la tensión superficial, a través de su influencia sobre el número de Ohnesorge. Son de aplicación condiciones adicionales para tintas que no son Newtonianas: la presencia de polímeros, o incluso de partículas sólidas por ejemplo, puede hacer que la tinta se comporte de forma viscoelástica, lo que puede afectar la facilidad con la que se expulsa la tinta desde la boquilla, y también la forma en la que colapsa el chorro para formar una o más gotas.

Los colores generados a partir de una tinta tras la impresión sobre la baldosa cerámica dependen, de forma crítica, de la naturaleza de los agentes colorantes presentes en la tinta misma, y de sus interacciones con el soporte o con el esmalte, los cuales a su vez dependen del proceso usado (por ejemplo, si se trata de monococción o de una segunda o tercera cocción, etc.). La mayoría de las tintas contienen pigmentos molidos muy finos e inorgánicos (que han de ser muy refractarios para sobrevivir a la temperatura de cocción) o bien compuestos metálicos solubles que reaccionan con el esmalte para generar el color deseado (Gardini et al. 2006, Burzacchini y Zannini 2009). La formulación de las tintas para esta aplicación es por tanto un reto, ya que se debe obtener no sólo el color final correcto (color e intensidad), sino que además también deben de optimizarse para la impresión por chorro de tinta las propiedades físicas (como son la viscosidad, la tensión superficial, la densidad, y el comportamiento visco elástico). Debido a que la viscosidad de una dispersión de partículas sólidas se ve incrementada con el contenido en sólidos, hay limitaciones en cuanto a la cantidad de carga de pigmento que se puede lograr. También hay limitaciones en cuanto a los tamaños máximos de partícula de los pigmentos, que deben de ser de un tamaño inferior al micrómetro, para evitar atascos en la boquilla, y también es necesaria una estabilidad a plazo largo, para evitar la sedimentación (Allen 2008). El tamaño de partícula del pigmento también

puede tener efectos importantes sobre el color. Las mejoras y desarrollos de las formulaciones de la tinta han estado también sujetas a una intensa investigación y es importante considerar las tintas para la decoración cerámica como componentes esenciales del sistema de producción completo, ya que, para obtener resultados óptimos, éstas han de adecuarse no sólo a los cabezales de impresión, sino al proceso de cocción en su conjunto.

5. IMPRESORAS COMERCIALES BASADAS EN EL CHORRO DE TINTA PARA BALDOSAS

Hemos visto anteriormente que ha habido un rápido incremento en el número de empresas que ofrecen una tecnología de chorro de tinta para la decoración de baldosas cerámicas, enumeradas en la tabla 1.

España e Italia han tenido un papel muy importante a la hora de cultivar esta tecnología que está en aumento, habiendo creado varias impresoras desde el año 2000.

5.1. Impresoras de pasada única en línea.

Los primeros métodos comerciales basados en el chorro de tinta para la decoración de baldosas surgieron en Castellón, España, en el año 1998, cuando la empresa Ferro inició su exploración del uso de impresoras informáticas estándar para producir imágenes monocromáticas sobre baldosas (en blanco y negro), y luego demostró la viabilidad de la impresión por cuatricromía. Este trabajo llevó a la primera impresora Kerajet práctica, que fue exhibida en la feria Cevisama en 2000 (De Carlo 2003). Desde entonces, la línea de producto Ferro ha evolucionado hasta llegar a la gama de máquinas Kerajet actual, que se están usando actualmente de forma extendida en la producción de baldosas, y que usa cabezales binarios de SII Printek para la impresión por cuatricromía (CMYK), con tintas cerámicas de marca registrada.

Año de lanzamiento	Empresa	País	Cabezales de impresión	Tintas	Nombre de la impresora	Ancho de baldosa; dpi; velocidad
En línea						
2000	Ferro	España, Italia	SII binario	Ferro KeramINK	KERAjet 350, 560	56 cm; 180 - 610 dpi; 10 - 50 m/min
2005	Durst Phototechnik	Austria, Italia	Fujifilm Dimatix binario		Gamma 60/70; 61/71 lanzada en 2008	60 cm; 200-924 dpi; 1 - 64 m/min
2008	Cretaprint	España	Xaar escala de grises	Itaca	Cretaprinter (Xennia OEM)	28 - 112 cm; 260 - 575 dpi; 15 - 35 m/min
2008	Jettable	Israel	Fujifilm Dimatix binario	Jettable	Glider 3000	70 cm; 360 - 720 dpi; hasta 60 m/min
2008	Newtech	Italia	Xaar escala de grises		Keramagic 350, 700	70 cm; 360 dpi; hasta 25 m/min
2008	SACMI	Italia	Flatjet		DWD065	65 cm; 50 dpi; hasta 30 m/min
2008	System Ceramics	Italia	Fujifilm Dimatix binario		Rotodigit	100 - 600 dpi; 30 - 55 m/min
2009	Hope Ceramics	China	Xaar escala de grises	Chimigraf	Hope Jet 600	70 cm; a 25 m/min
Fuera de línea						
2008	Sertam	Italia	Fujifilm Dimatix binario	Sicer	Pink	80 x 120 cm máx.; hasta 720 dpi; múltiples pasadas
2008	TSC	Italia	Binario	Sicer	Jet Digital Printer JDP08	180 - 545 dpi; múltiples pasadas
2008	Jettable	Israel	Fujifilm Dimatix binario	Jettable	731/732	80 x 120 cm máx.; hasta 545 dpi; múltiples pasadas

Tabla 1. Empresas que ofrecen impresoras comerciales de chorro de tinta para la decoración de baldosas a finales de 2009 (fuentes: sitios Web de las empresas).

Durst, una empresa dedicada al procesado de imagen desde el año 1936 y con sede en instalaciones de Italia (el Sur Tirolés) y Austria, ofreció, por primera vez, un sistema comercial para la decoración de baldosas usando tintas cerámicas pigmentadas en 2005 y afirma que ahora tiene más de 75 de estas impresoras funcionando a nivel mundial. Los últimos modelos (Gamma 60/61 y 70/71) disponen de impresión de tricromía o de cuatricromía (CMYK) para tamaños de baldosas de hasta 60 x 120 cm, y usan cabezales binarios de Fujifilm Dimatix. El sistema imprime sobre los mismos esmaltes que los usados para sistemas decorativos de tipo más convencional.

No menos de cinco empresas lanzaron sistemas en 2008. System SpA (Italia) presentó el Rotodigit, una estación de impresión por chorro de tinta que usa cabezales binarios de Fujifilm Dimatix, que se pueden integrar con facilidad en las líneas de impresión rotatorias intaglio más convencionales producidas por la empresa misma. En vez de imprimir toda la decoración de baldosa usando métodos de chorro de tinta, esto permite detalles en uno o más colores, por ejemplo, para aplicar a modelos suplementarios producidos usando el proceso convencional basado en la transferencia de tinta desde los cilindros de goma de silicona con patrones.

Existe una actividad significativa en el desarrollo del chorro de tinta en Israel, país desde el que una empresa nueva, Jettable, ha lanzado una impresora en línea para baldosas (Glider 3000) usando cabezales binarios de Fujifilm Dimatix y una amplia gama de tintas especialmente desarrolladas, adecuadas para aplicaciones bajo cubierta (primera y segunda cocción) y también sobrecubierta (tercera cocción).

En 2008, dos empresas lanzaron máquinas basadas en el cabezal de impresión de gota bajo demanda de escala de grises Xaar 1001: Cretaprint de España, y Newtech de Italia. La impresora Cretaprinter (presentada como ejemplo en la figura 9) usa un motor de impresión desarrollado por una empresa de Reino Unido, Xennia, y tiene una barra de impresión muy ancha, capaz de realizar una impresión de una única pasada con un ancho de baldosa total de 112 cm. Las impresoras Newtech Keramagic ofrecen anchos de hasta 700 mm, que corresponden a diez cabezales por color. El mismo tipo de cabezales para escala de grises se usa en Hope Ceramics, empresa con sede en China, que lanzó una máquina en 2009 (Hope Jet 600), nuevamente con un ancho de impresión de 700 mm.



Figura 9. Ejemplo de una impresora de pasada única en línea (Cretaprinter: imagen de Xaar plc).

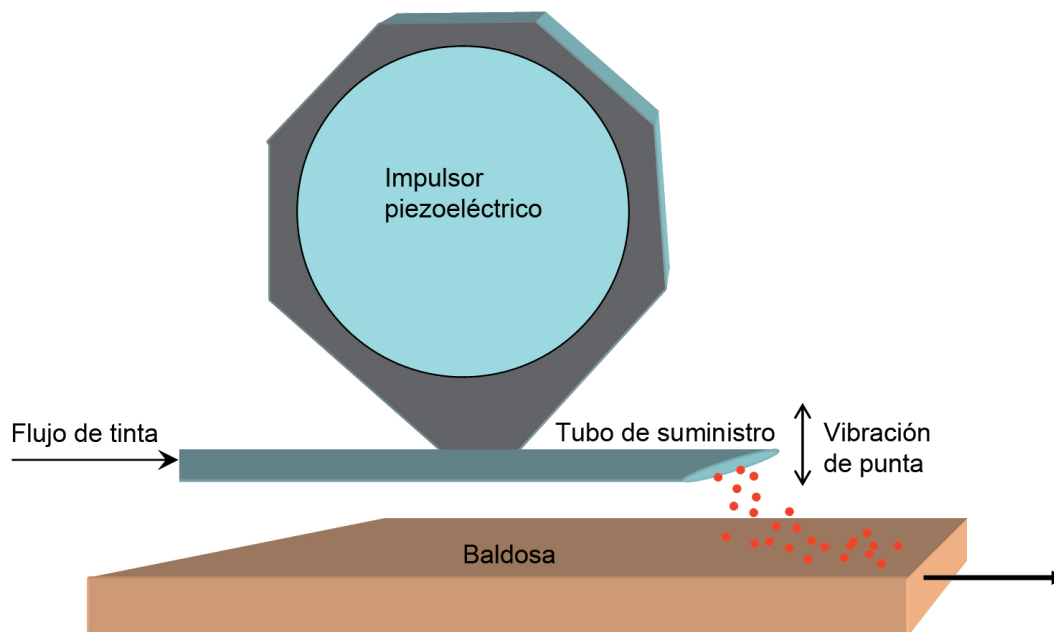


Figura 10. El principio operativo de la impresora Flatjet, en la que las gotas de tinta se generan desde la punta de un tubo de suministro vibrador.

Por el contrario, la tecnología Flatjet usada por Sacmi en la impresora DWD065, desarrollada originalmente en Hungría, es esencialmente distinta de la impresión por chorro de tinta normal de gota bajo demanda (ver figura 10). Utiliza tubos de suministro de tinta mucho mayores ($500\text{ }\mu\text{m}$ de diámetro interno) a los que unos impulsores piezoeléctricos montados sobre dos placas metálicas resonantes hacen vibrar de forma separada. La tinta sale como un spray de finas gotitas que forman una zona de color difusa en la baldosa; la intensidad del color se controla por la duración de la señal de vibración enviada al tubo de suministro. La distancia entre ambos tubos contiguos suele ser de $1/10$ pulgada (2.54 mm), y se obtiene la resolución efectiva de imagen de 50 dpi usando cinco conjuntos de tubos. Se afirma que la tecnología produce imágenes que son comparables, a distancias de visualización normales, con las de las impresoras de chorro de tinta más convencionales a resoluciones más altas, ya que, a pesar de que los píxeles sean mayores, las pequeñas gotitas de tinta están distribuidas de forma más uniforme sobre el sustrato, produciendo cambios de tono más graduales. El método permite la utilización de una amplia gama de fluidos, por ejemplo que contengan sólidos con tamaños de partícula mucho mayores que los usados en los cabezales de gotas bajo demanda.

5.2. Impresoras de múltiples pasadas, fuera de línea.

Aunque las impresoras en línea son ideales para la producción rápida de baldosas de tamaño estándar, existen también aplicaciones en las que una impresora más flexible y autónoma puede ser valiosa. Ejemplos incluyen lotes de producción pequeños de baldosas planas y pedidos especializados con un alto valor como trabajos artísticos y murales, así como la decoración de formas complejas y recortes

con contorno y piezas especiales, que pueden llegar a exigir grandes variaciones en la altura de la superficie dentro de la pieza. Para estos casos, en los que no es esencial una producción rápida, la impresión por múltiples pasadas en el contexto de una tercera cocción puede resultar más adecuada que el método de una pasada única usada en máquinas en línea para imprimir sobre el soporte crudo de una baldosa. La impresión por múltiples pasadas utiliza menos cabezales (generalmente sólo uno por color), que se mueven de forma relativa al sustrato para cubrir el área total impresa varias veces, conformando una intensidad cromática y una resolución en fases. Este es el enfoque que se usa en las impresoras de chorro de tinta de los ordenadores de sobremesa, y puede resultar también rentable para aplicaciones de impresión en cerámica. El bajo número de cabezales puede hacer que el ajuste de la máquina y su funcionamiento se hagan más fáciles que operar una estación de impresión en línea más compleja. Aunque la operación de cuatricromía es normal, algunas máquinas pueden operar con más cabezas, permitiendo así una gama de colores más amplia. Como en el caso de la impresión en línea, ha habido un desarrollo comercial rápido en este campo en el año 2008, cuando tres empresas distintas lanzaron impresoras fuera de línea: Sertam (Pink), TSC (Jet Digital Printer) y Jettable (731 y 732).

6. POTENCIAL PARA FUTUROS DESARROLLOS

De la tabla 1 se deduce con claridad que, con excepción de la tecnología Flattjet, existen pocas diferencias importantes en la especificación (en términos de resolución y velocidad de impresión) entre las impresoras de chorro de tinta disponibles en la actualidad. Sean por pasada única en línea o por múltiples pasadas fuera de línea, todas ellas usan cabezales de impresión de un número reducido de proveedores, y el rendimiento básico de las máquinas queda determinado por el de los cabezales. Hay diferencias en cuanto a las formas en las que los otros componentes principales de la impresora, resumidos en la sección 3, se diseñan e integran, en la formulación de las tintas, y en el software y hardware usados para controlar la impresora, y convertir el patrón de impresión deseado en el flujo de datos que se envía a los cabezales de impresión. Estos factores, junto con la calidad de construcción general, tendrán un impacto innegable en el grado de fiabilidad de la impresora, su facilidad de uso, la calidad de la salida, y el coste operativo, y todos estos influyen en el valor que le da el usuario a la máquina. Como sucede con cualquier nueva tecnología, no es muy probable que el mercado sea capaz de sostener un gran número de proveedores de diferentes máquinas, alguno de los cuales, inevitablemente, logrará tan sólo una pequeña cuota del mercado, y es posible que se de algo de racionalización en el futuro.

Las mejoras tecnológicas de la tinta y de los cabezales de impresión van a dar como resultado, muy probablemente, desarrollos técnicos futuros. Podemos prever más avances en la química de las tintas y pigmentos, que puede que in-

cluyan cada vez más las nanopartículas (Gardini et al. 2006), para lograr colores más intensos con una mayor precisión y estabilidad y una gama de colores más amplia, que se facilite a través de tintas más estables que se pueden imprimir en condicione diversas. Existe una fuerza impulsora actual dentro de la industria de impresión comercial (para el papel, el cartón o el polímero) orientada hacia mayores resoluciones y mayores velocidades de impresión en procesos de una pasada única, para que estas se puedan hacer más competitivas directamente con procesos convencionales como la flexografía y la impresión en offset. Las velocidades de impresión en línea de las impresoras de baldosa actuales (0.5 hasta ~ 1 m/s) coinciden con los límites de la impresión por chorro de tinta actual para otras aplicaciones, y parece probable que a medida que se desarrollen nuevos cabezales de impresión para estas aplicaciones, estos también se vayan adoptando rápidamente para la decoración cerámica. De todas formas, los retos técnicos que conllevan no deberían de ser subestimados: incrementar la velocidad de impresión implicará no sólo un proceso de datos mayor, así como tasas de transferencia mayores, sino también un incremento en la frecuencia de generación de gotas y en la velocidad de las gotas, que a su vez, impone demandas extra sobre la reología de la tinta. Sólo se van a conseguir avances en las velocidades de impresión mediante la mejora del rendimiento de los cabezales de impresión cuando se unan a los desarrollo en la formulación de las tintas.

Hasta ahora, nos hemos centrado en el uso de la impresión por chorro de tinta para la decoración de baldosas por deposición de tintas de color, pero el proceso puede usarse también para depositar una gama de materiales mucho más amplia: cerámica, metales, y polímeros, para aplicaciones muy diversas (Hutchings 2009). Hay un interés considerable en añadir funcionalidad a las baldosas por medio de la incorporación de características novedosas, a menudo electrónicas (Berto 2007). Por ejemplo, pueden elaborarse baldosas que incorporen sensores táctiles, de presión o proximidad – para que puedan usarse como conmutadores o detectores de pisadas para controlar las luces, abrir las puertas, o contar el tránsito humano etc. Se podrían incorporar transductores acústicos para que las baldosas emitan sonidos como respuesta a señales eléctricas. Capas reflectoras o que emitan luz y que puedan controlarse electrónicamente podrían permitir que las baldosas, de forma individual, o bien áreas en el interior de las mismas, actuaran como píxeles de color conmutables, permitiendo la creación de presentaciones en el área embaldosada. Se ha realizado demostraciones de células fotovoltaicas, integradas en baldosas, para la generación de energía eléctrica (Iencinella et al. 2009). La impresión por chorro de tinta tiene el potencial de tener una función importante en todas estas mejoras funcionales, y en otras, para las baldosas cerámicas: se ha demostrado y su capacidad como un proceso para la deposición de pistas metálicas conductoras, para la fabricación de visualizadores con un área grande basados en polímeros de emisión de luz (LEDs orgánicos), y para la impresión de transistores basados en polímeros. Es una de las tecnologías claves para una industria de impresión electrónica que está en rápido crecimiento. La integración de los componentes

eléctricos y electrónicos impresos en baldosas cerámicas puede aportar soluciones importantes en un futuro.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] Alexander M. (2008) The Xaar guide to single pass printing, Technical White Paper, Xaar plc, UK.
- [2] Allen H. (2008) Pigmentation of inks for emerging inkjet applications on glass, ceramics and metals, Actas 24th Int. Conf. on Digital Printing Technologies, NIP24, USA, 853-855.
- [3] Baker R. and Chrusciel E. (2008) Single-pass digital production printing and deposition, SGIA Journal 1st quarter 2008, 31-34.
- [4] Berto A.M. (2007) Ceramic tiles: above and beyond traditional applications, J. European Ceram. Soc., 27 1607-1613.
- [5] Burzacchini B. and Zannini P. (2009), Digital ceramic decoration: development of non-impact inkjet decoration systems, in Digital decoration of ceramic tiles, ACIMAC, Italia, pp. 6-12 (disponible también en italiano: La decorazione digitale delle piastrelle ceramiche).
- [6] De Carlo A. (2003) The digital revolution in tile decoration, Ceramic World Review 51 78-84.
- [7] Gardini D. et al. (2006) Chemical-physical properties of nano-sized ceramic inks for ink-jet printing, Actas Qualicer 2006, P.BC 397-408.
- [8] Harvey R.A. and Sainz J.G. (2000) Proc. 16th Int. Conf. on Digital Printing Technologies, NIP16, Society for Imaging Science and Technology, USA, 516-518.
- [9] Hutchings I.M. (2009) Ink-jet printing in micro-manufacturing: opportunities and limitations, International Conferences on Multi-Material Micro Manufacture (4M)/International Conferences on Micro Manufacturing (ICOMM), Karlsruhe, octubre de 2009, DOI: 10.1243/17547164C0012009006.
- [10] Iencinella D., Centurioni E., Busana M.G. (2009) Thin-film solar cells on commercial ceramic tiles, Solar Energy Materials & Solar Cells 93 206-210.
- [11] Knight E. (2009) Xaar: innovative inkjet technology for the ceramic tile industry, in Digital decoration of ceramic tiles, ACIMAC, Italia, pp. 70-73, (disponible también en italiano: La decorazione digitale delle piastrelle ceramiche). Véase también Knight E., The Xaar guide to digital print for the ceramic sector, White paper, Xaar plc, 2009.
- [12] Martin G. D., Hoath S.D. and Hutchings I. M. (2008), 'Inkjet printing - the physics of manipulating liquid jets and drops, Journal of Physics: Conference Series 105 012001.