

VIABILIDAD DE LAS ROTACIONES DISCRETAS DE BALDOSAS DENTRO DEL TREN DE PULIDO

Fábio J. P. Sousa^{(1)*}; Jan C. Aurich⁽¹⁾, Walter L. Weingaertner⁽²⁾; Orestes E. Alarcon⁽²⁾

⁽¹⁾ Institute for Manufacturing Technology and Production Systems. FBK Department of Mechanical and Process Engineering. Universidad de Kaiserslautern PO Box 3049, D-67653 Kaiserslautern. Alemania

⁽²⁾ Departamento de Ingeniería Mecánica. Universidad Federal de Santa Catalina PO Box 476, CEP 88040-900. Florianópolis. SC. Brasil

RESUMEN

El presente trabajo investiga la posibilidad de adoptar una nueva cinemática en las líneas de pulido industriales de piezas de gres porcelánico. La idea básica es la utilización de una rotación discreta de las baldosas durante el proceso de pulido, para poder obtener un patrón o dibujo de pulido más homogéneo. Todos los movimientos típicos de los cabezales de pulido se mantienen sin modificaciones. No se requiere ninguna modificación radical en las instalaciones industriales, excepto la introducción de un transportador de placa giratoria en un punto dado dentro del tren de pulido. Las consecuencias de esta cinemática alternativa han sido analizadas de forma cuantitativa, considerando cuatro grados de rotación: 0°, 90°, 180° and 270°, y tres diferentes condiciones cinemáticas. Asimismo, se ha tomado en cuenta también el efecto del solapamiento generado al suponer múltiples cabezales de pulido. La uniformidad espacial esperada del proceso del pulido para las baldosas ha sido representada de forma cuantitativa por la desviación típica de la distribución del tiempo de pulido sobre toda la superficie de seis baldosas adyacentes. Estas distribuciones se han determinado, a su vez, mediante simulaciones computacionales. Los resultados simulados revelaron una ventaja importante para la operación posterior de la colocación de las baldosas, y también que se pueden alcanzar mejoras de hasta un 10% en la uniformidad de pulido según la cinemática del pulido.

* Autor de contacto. Tel.: +49-(0)631 – 205-3769 Fax: +49-(0)631 – 205-3238
E-mail: sousa@cpk.uni-kl.de

1. INTRODUCCIÓN

En el mercado de los pavimentos cerámicos, el efecto del brillo está muy valorado por el cliente. A pesar de los costes adicionales generados por el proceso de pulido requerido, la mayoría de las piezas de gres porcelánico se pulen después de la cocción y, en este caso, el brillo final constituye el criterio más importante de calidad^{1,2,3}.

Los costes del pulido surgen principalmente por la alta demanda de energía, agua y útiles abrasivos^{4,5}, y de manera inverosímil también por la reducida eficiencia del proceso de pulido^{6,7}. En las industrias, el pulido se lleva a cabo por medio de una secuencia de varios cabezales de pulido tangenciales con tamaños de abrasivos que se van reduciendo, de este modo generando largos trenes de pulido. Se pueden utilizar típicamente más de 30 cabezales de pulido y hasta 18 diferentes tamaños de abrasivos para asegurar la producción de baldosas con el nivel del brillo requerido actualmente por el mercado^{6,8}.

La cinemática disponible en el tren de pulido puede considerarse como una característica clave en la definición final del patrón o dibujo del brillo prevista en la superficie de las piezas pulidas. La distribución de los contactos abrasivos recogida durante el pulido se rige puramente por los parámetros cinemáticos y geométricos preestablecidos. Como consecuencia, el máximo nivel de homogeneidad ofrecido por el tren de pulido también limita la eficiencia global del proceso de pulido.

Los trenes de pulido modernos poseen una cinemática que consiste básicamente en tres diferentes componentes: la rotación W [$\text{rad}\cdot\text{s}^{-1}$] de los bloques abrasivos (llamados fickerts) alrededor del centro de cada cabezal de pulido, la oscilación transversal del cabezal de pulido, con la amplitud A [mm] y frecuencia f [s^{-1}], y finalmente el movimiento de avance V [$\text{mm}\cdot\text{s}^{-1}$] de la cinta transportadora. Este último define no solo la dirección, sino también la productividad del proceso de pulido.

La realización del movimiento de avance y de oscilación transversal al mismo tiempo lleva a cada cabezal de pulido a efectuar una trayectoria sinusoidal con relación a la superficie de la baldosa. Según el trabajo de Cass⁹, se puede generar un dibujo de zigzag no deseado de brillo en la superficie pulida. Además, la ausencia de abrasivos en el centro de los cabezales de pulido desplaza las zonas más pulidas fuera del centro, generando gradientes direccionales.

Según trabajos previos⁹, los defectos mencionados anteriormente pueden ser parcialmente remediados al proporcionar un solapamiento conveniente de estas trayectorias onduladas. Sin embargo, debido a la alineación fija de las baldosas en la cinta transportadora, la distribución de los gradientes de pulido tiende a ser más intensa a lo largo del sentido del pulido (definido por el movimiento de avance), independientemente de la cinemática adoptada.

Teniendo en cuenta este concepto, el objetivo principal del presente trabajo es la consideración de una rotación discreta de las baldosas dentro del tren de pulido, de modo que se pueden conseguir diferentes alineaciones entre las baldosas y el movimiento de avance. Por consiguiente, se puede obtener una distribución menos direccional de los defectos de pulido. A su vez, esto puede conducir a dibujos de brillo más uniformes en la superficie pulida y, de esta forma, se pueden prever mejoras en la estética y en la eficiencia. En la figura 1 se presenta una explicación de la idea básica.

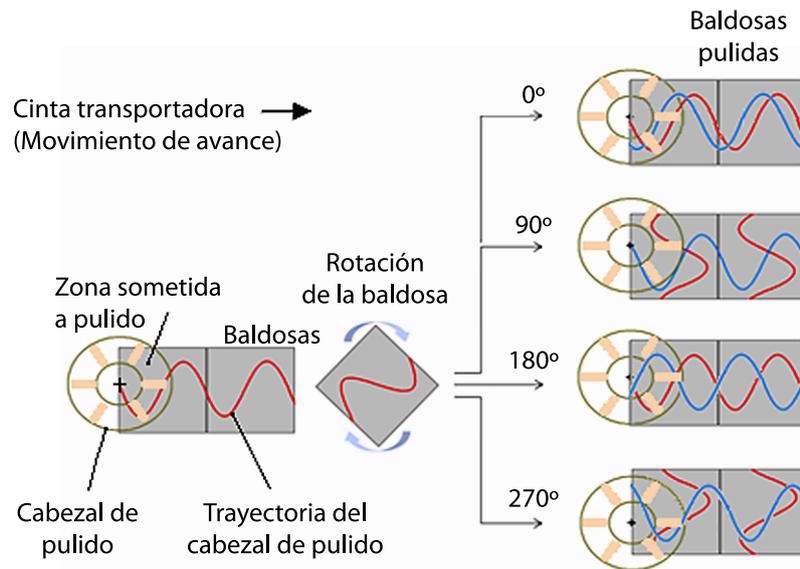


Figura 1 – Rotación de las baldosas dentro del tren de pulido y el solapamiento resultante

Las curvas onduladas representan la trayectoria sinusoidal del centro de los cabezales de pulido sobre la superficie de la baldosa. Después del pulido por el primer cabezal de pulido, las baldosas están listas para ser giradas convenientemente, para que los siguientes cabezales de pulido puedan encontrar diferentes patrones de pulido anteriores con los cuales solapar.

En el marco del alcance de este trabajo, se ha supuesto viable la rotación de las baldosas mediante la utilización de una placa giratoria en un punto dado entre dos cabezales de pulido adyacentes distribuidos a lo largo de la cinta transportadora. Cabe señalar que la implantación de este dispositivo requiere un segmento adicional dentro de la línea de pulido, ya que no se puede permitir ningún hueco entre las baldosas mientras que éstas se están llevando hacia los siguientes cabezales de pulido. Esto sirve para evitar la re-entrada brusca de los bloques abrasivos en la propia superficie de la baldosa, la cual da lugar muy a menudo a rayas gruesas.

2. CONSIDERACIONES TEÓRICAS

En los trenes de pulido típicos, los cabezales de pulido oscilan juntos, de modo que el solapamiento de los cabezales de pulido adyacentes se asemeja a la inte-

racción de las ondas coherentes clásicas. La interferencia constructiva total tiende a potenciar el dibujo de brillo ofrecido ya por un solo cabezal de pulido, mientras que las interferencias destructivas ofrecen generalmente una mejor cobertura de pulido⁹.

La longitud de onda λ de la trayectoria de pulido se define por la relación entre el movimiento de avance V y la frecuencia de la oscilación transversal f , es decir $\lambda = V/f$. El nivel final de la uniformidad esperado para el proceso de pulido depende tanto de λ como del solapamiento entre los cabezales de pulido sucesivos^{2,11}. Según la bibliografía¹⁰, cuando todos los cabezales de pulido están espaciados de forma equidistante H , y realizan la oscilación transversal al mismo tiempo, la condición para el mayor solapamiento (interferencia destructiva) se da por la ecuación 1:

$$H = \lambda \cdot \left(n + \frac{1}{2}\right) \tag{1}$$

donde $n \in \mathbb{N}$ es el número de los nodos de onda, representando simultáneamente la posición inicial donde se pueden situar los cabezales de pulido en un tiempo inicial. En este trabajo, cabe señalar que una rotación de la baldosa de 180° también afecta este criterio de interferencia, ya que normalmente promueve un cambio repentino en la distancia H entre los cabezales de pulido.

En la figura 2a, se presenta el dibujo sinusoidal típico resultante después del paso de un solo cabezal de pulido, basado en los resultados simulados solo para dos baldosas adyacentes. El dibujo se refiere al tiempo durante el cual cada región en la superficie de la baldosa ha sufrido con eficacia el proceso de pulido. Después del paso de los sucesivos cabezales de pulido, estos gradientes de pulido pueden desaparecer o incluso potenciarse según el grado de solapamiento mencionado anteriormente. En la figura 2c se presenta un ejemplo del proceso de superposición.

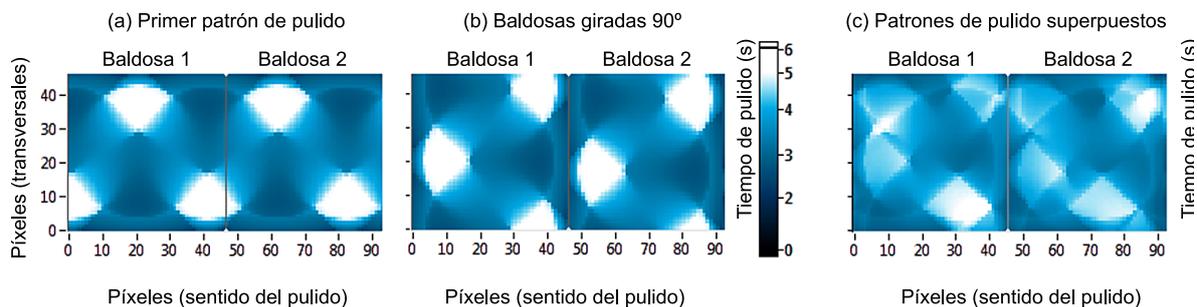


Figura 2 – Superposición del patrón de pulido.

El tiempo de pulido efectivo E_{PT} para cada región superficial centrada en (X_C, Y_C) se determina según la siguiente ecuación:

$$E_{PT}(X_C, Y_C) \tag{2}$$

siendo V la velocidad de avance y S_T la distancia de pulido la cual, como se ha descrito en otro trabajo¹¹, se obtiene a partir de las ecuaciones 3 y 4:

$$S_T = \frac{d}{dY_C} \left[\int_{X_{c-R}}^{X_{c+R}} f_s - f_{ocU} \left| \frac{dx}{2} \right. \right] - \frac{d}{dY_C} \left[\int_{X_{c-r}}^{X_{c+r}} f_s - f_{icU} \left| \frac{dx}{2} \right. \right] - \frac{d}{dY_C} \left[\int_{X_{c-R}}^{X_{c+R}} f_s - f_{ocI} \left| \frac{dx}{2} \right. \right] + \frac{d}{dY_C} \left[\int_{X_{c-r}}^{X_{c+r}} f_s - f_{icI} \left| \frac{dx}{2} \right. \right] + (R-r) \quad (3)$$

; si $Y_C \geq 0$

y:

$$S_T = \frac{d}{dY_C} \left[\int_{X_{c-R}}^{X_{c+R}} f_s - f_{ocI} \left| \frac{dx}{2} \right. \right] - \frac{d}{dY_C} \left[\int_{X_{c-r}}^{X_{c+r}} f_s - f_{icI} \left| \frac{dx}{2} \right. \right] - \frac{d}{dY_C} \left[\int_{X_{c-R}}^{X_{c+R}} f_s - f_{ocU} \left| \frac{dx}{2} \right. \right] + \frac{d}{dY_C} \left[\int_{X_{c-r}}^{X_{c+r}} f_s - f_{icU} \left| \frac{dx}{2} \right. \right] - (R-r) \quad (4)$$

; si $Y_C < 0$

donde f_s representa la función de seno de la trayectoria del pulido. A su vez, la función f_{ocU} representa la mitad superior del círculo externo (radio R), definiendo por lo tanto el alcance de los *fickerts*. De forma análoga, f_{icU} es la función que corresponde a la mitad inferior del círculo interno (radio r), la cual delimita la ausencia de abrasivo en el centro del cabezal de pulido.

Se ha desarrollado un algoritmo computacional con el software *LabVIEW®*, versión 2010, para poder realizar todos los cálculos y simulaciones necesarios. El algoritmo resuelve y presenta las soluciones numéricas de las ecuaciones 3 y 4 a lo largo de toda la superficie pulida. Los resultados de las simulaciones se han presentado por medio de gráficos de superficie con escala de color, en los cuales la posición de cada pixel se asocia directamente y de forma unívoca a una región cuadrada en la superficie de la baldosa, con un ancho de 8.75 mm.

Por otra parte, a lo largo de todas las simulaciones se han tomado como constantes los siguientes parámetros: $W = 47.12 \text{ rad}\cdot\text{s}^{-1}$ (450 rpm), $A = 60 \text{ mm}$, $f = 0.20 \text{ Hz}$, $R = 230 \text{ mm}$, $r = 110 \text{ mm}$, y los cabezales de pulido adyacentes espaciados a una distancia $H = 550 \text{ mm}$. Para computar el efecto de la cinemática, se han considerado tres valores de velocidad de avance: $V = \{25, 50, 75\} \text{ mm/s}$, generando los siguientes valores posibles para la longitud de onda de la trayectoria de pulido $\lambda = \{125, 250, 375\} \text{ mm}$. La selección de estas condiciones cinemáticas fue basada en los resultados de trabajos anteriores sobre la optimización cinemática^{2,9,11,12}.

Una vez obtenida la distribución prevista del tiempo de pulido, se puede evaluar de forma cuantitativa la uniformidad de pulido correspondiente mediante la desviación típica σ de toda la superficie pulida. En este trabajo, para ello se han tomado seis baldosas. Para asegurar el mismo empaquetado a lo largo de la cinta transportadora, las baldosas se han considerado como cuadradas, con un ancho nominal de 420 mm. Como se puede observar en la figura 1, el nivel de rotación se limitó a $\theta = \{0^\circ, 90^\circ, 180^\circ, 270^\circ\}$, con vistas a mantener una simetría rotacional.

Los valores de la longitud de onda adoptados en este trabajo no son un múltiplo perfecto de la longitud de la baldosa. Por otra parte, debido a la naturaleza oscilatoria de la trayectoria sinusoidal del pulido, su posición relativa con respecto a los bordes de la baldosa variará con el tiempo. Como consecuencia, el solapamiento de los patrones de pulido antes y después de las rotaciones de la baldosa cambiará tanto en intensidad como en el dibujo final. Estos efectos se han tomado en cuenta al suponer que la posición de la trayectoria de pulido se haya desplazado, pixel por pixel, a lo largo de todo el sentido del pulido, según se describe en la figura 3. Las simulaciones se realizan para cada posición individual desplazado, de modo que las curvas correspondientes representando la variación de la uniformidad (σ) según la posición de los píxeles del frente de onda se han ensambladas para cada combinación cinemática (λ) y ángulo de rotación θ .

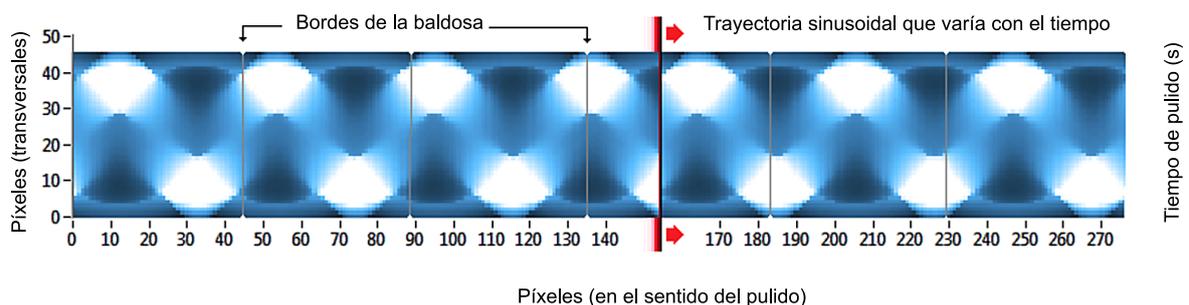


Figura 3 – Frente de onda que varía a lo largo de la dirección del pulido

3. SIMULACIONES

El efecto simulado de un solo cabezal de pulido con respecto a la distribución del tiempo de pulido sobre la superficie de seis baldosas se presenta en la figura 4a, considerando en primer lugar el valor más pequeño de la velocidad de avance, $V = 25$ mm/s. Los resultados simulados para los procesos posteriores de rotación y de superposición se presentan en las figuras 4b y 4c respectivamente. La última figura contiene el trabajo de dos cabezales de pulido, y por lo tanto la escala correspondiente de colores se ha doblado.

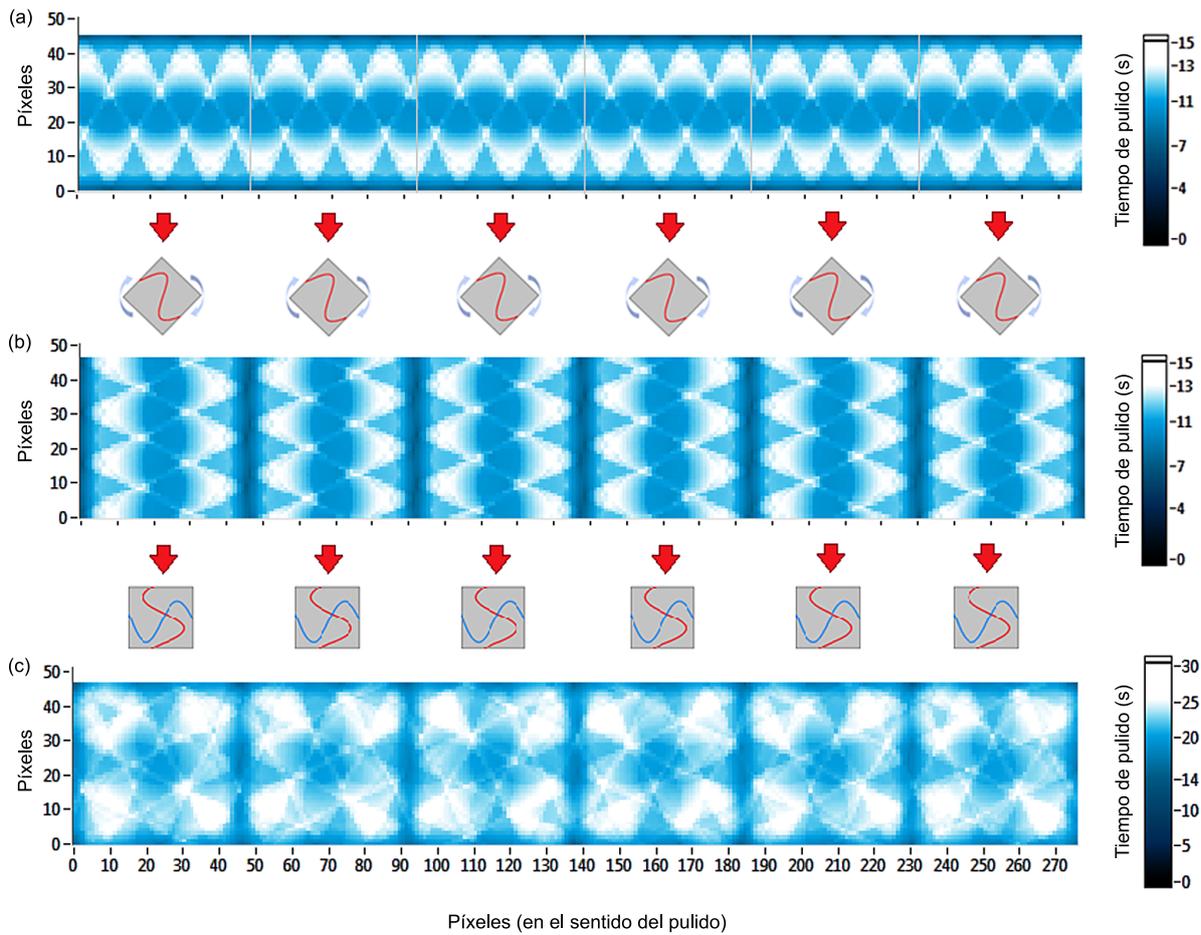


Figura 4 – Patrones de pulido simulados para $V = 25 \text{ mm/s}$. (a) Antes y (b) después de la rotación de la baldosa de $\theta = 90^\circ$, y (c) la superposición resultante de los dibujos.

Al observar el dibujo superpuesto resultante obtenido a partir de las simulaciones, parece realizable una mejora de la uniformidad del pulido al introducir una rotación discreta de las baldosas de 90° . En términos cualitativos por lo menos, la opción de este movimiento de rotación adicional ha sido capaz de proporcionar un patrón de pulido con gradientes de pulido menos direccionales, la cual por sí misma ofrece una ventaja práctica importante para la operación posterior de colocación de la baldosa. Sin embargo, hay que recordar que la secuencia en la figura 4 se refiere a una posición estacionaria del movimiento de oscilación transversal. Como se ha explicado anteriormente, estos patrones de pulido varían a medida que el frente de onda avanza a lo largo de la línea de pulido.

En este sentido, la figura 5 presenta un análisis cuantitativo de los patrones de pulido simulados, al computar todas las posibles posiciones del frente de onda a lo largo del sentido del pulido. Como se ha explicado anteriormente, la uniformidad de pulido se ha representada mediante la desviación típica σ de la distribución espacial del tiempo de pulido, considerando las superficies de todas las seis baldosas. Cuanto más pequeño el valor de σ , tanto mejor es la uniformidad de pulido. Cada curva incluida en el gráfico representa un nivel de rotación diferente. Hay que tener en cuenta que se debe tomar la curva $\theta = 0^\circ$ como referencia para fines

comparativos, ya que representa una línea de pulido típica, en la cual no existe la disponibilidad de una rotación de la baldosa. Por lo tanto, la viabilidad técnica de adoptar un nivel determinado de rotación para mejorar el patrón de pulido previsto para las baldosas pulidas se llega a poder detectar cuando la curva correspondiente permanece debajo de la curva de referencia durante suficiente tiempo.

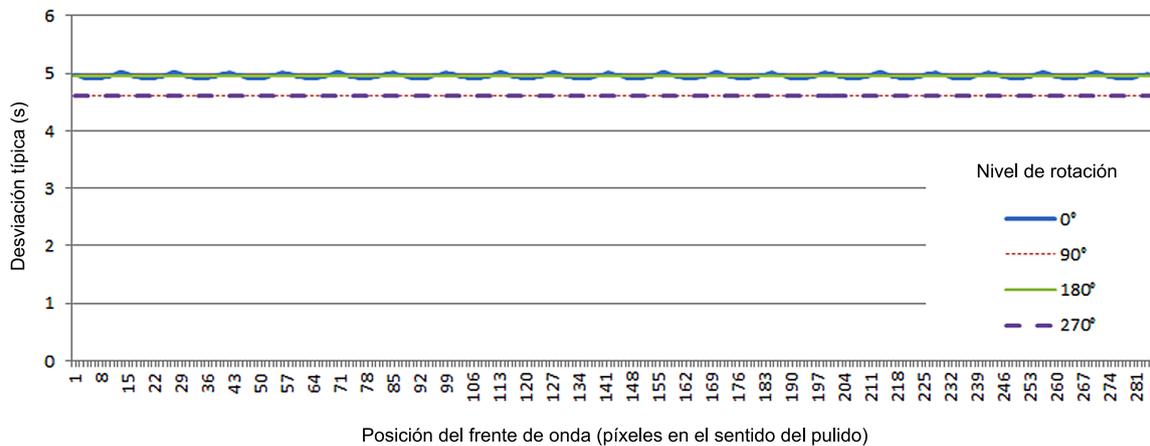


Figura 5 – Variación de la uniformidad de pulido durante el proceso para $V = 25 \text{ mm/s}$

Según el gráfico de la figura 5, y considerando los parámetros de pulido ya mencionados, la desviación típica σ del tiempo de pulido ofrecido por una línea de pulido típica varía suavemente y de forma periódica dentro del intervalo de 4.9–5.1 segundos. Como era de esperar, esta variación presenta la longitud de onda λ definida por la relación $V/f = 125 \text{ mm}$ (aprox. 14 píxeles). Una rotación de la baldosa de $\theta = 180^\circ$ puede ofrecer menos variabilidad, pero ninguna mejora significativa de uniformidad. Por lo contrario, se calculó un valor estable de $\sigma = 4.6 \text{ s}$ para una rotación de la baldosa de $\theta = 90^\circ$ y también para $\theta = 270^\circ$. Por lo tanto, se puede esperar una mejora de cerca del 8% en la uniformidad de pulido al adoptar un nivel de rotación de 90° o bien de 270° . La coincidencia de las dos últimas curvas significa que, como promedio, el dibujo final es el mismo tanto para las rotaciones en contra del sentido como según el sentido de las agujas del reloj, ya que la cantidad de tiempo de pulido es idéntica por encima y por debajo del centro de la baldosa.

Valores de velocidades de avance más altos son muy atractivos para las industrias, ya que proporcionan un aumento directo de la productividad de la línea de pulido. Considerando entonces una velocidad de avance de $V = 50 \text{ mm/s}$, en la figura 6a se presenta el patrón de pulido simulado después del paso de un solo cabezal de pulido. La figura 6b presenta el dibujo sobrepuesto considerando una rotación de la baldosa de 90° .

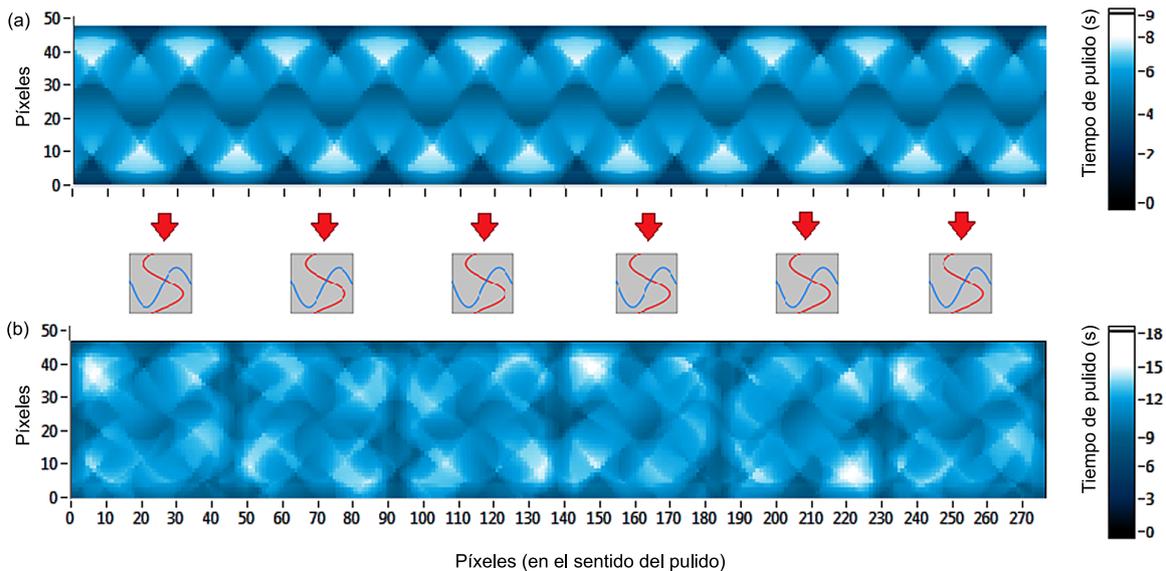


Figura 6 – Patrones de pulido simulados para $V= 50 \text{ mm/s}$, considerando (a) el paso de un solo cabezal de pulido, y (b) la superposición después de una rotación de 90°

Tal y como ha sucedido en los gráficos anteriores, la adopción de la rotación de la baldosa parece proporcionar patrones de pulido con gradientes menos direccionales. La reducción del tiempo de pulido observado en la leyenda pone de relieve la permuta entre el aumento de la productividad y la disminución del tiempo durante la cual las baldosas se exponen al pulido a lo largo de la cinta transportadora. Por otra parte, con el aumento de la velocidad de avance la diferencia entre los patrones de pulido de las seis baldosas se hizo evidente. Como se ha explicado anteriormente, estas diferencias se presentan a medida que el frente de onda se desplaza. La figura 7 ofrece un análisis cuantitativo con respecto al comportamiento de la uniformidad de pulido, así como el efecto final de los cuatro niveles de rotación de la baldosa considerados.

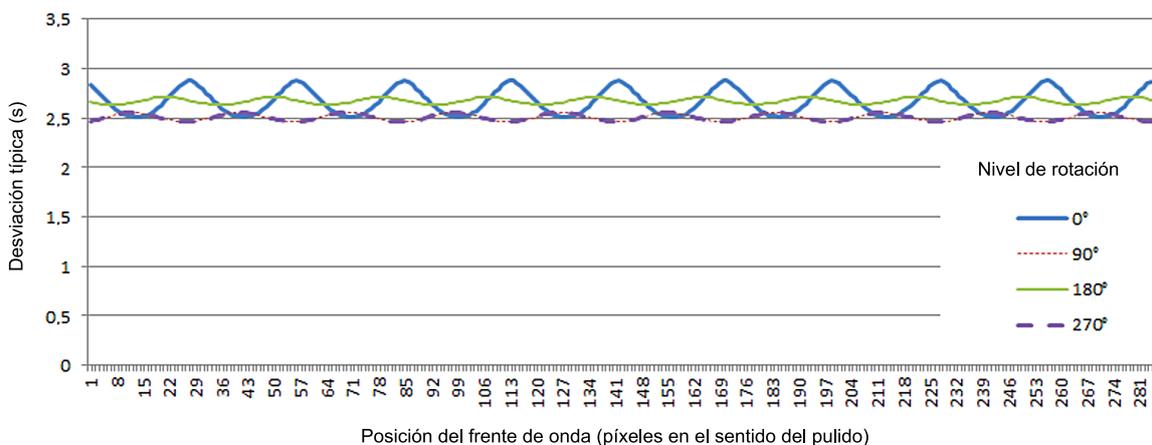


Figura 7 – Variación de la uniformidad de pulido durante el proceso para $V = 50 \text{ mm/s}$

Se verificó que una variación periódica de la uniformidad de pulido (σ) también se producía para $V = 50$ mm/s, pero esta vez en un intervalo más amplio de 2.5–2.9 segundos. Al igual que antes, todas las variaciones siguieron la misma longitud de onda λ dada por $V/f = 250$ mm (aprox. 28 píxeles), y se podía alcanzar un intervalo más reducido de variación al adoptar $\theta = 180^\circ$, pero todavía con mejoras solo puntuales en la uniformidad de pulido. Asimismo, se ha producido también una ligera variación en las dos curvas $\theta = 90^\circ$ and 270° , con σ de aproximadamente 2.5 s. A la vista de todas estas variaciones, la mejora de la uniformidad no es constante a lo largo de la línea de producción, sino varía desde 0% hasta 10%. En la figura 8 se presentan los patrones de pulido simulados que consideran la velocidad de avance $V = 75$ mm/s.

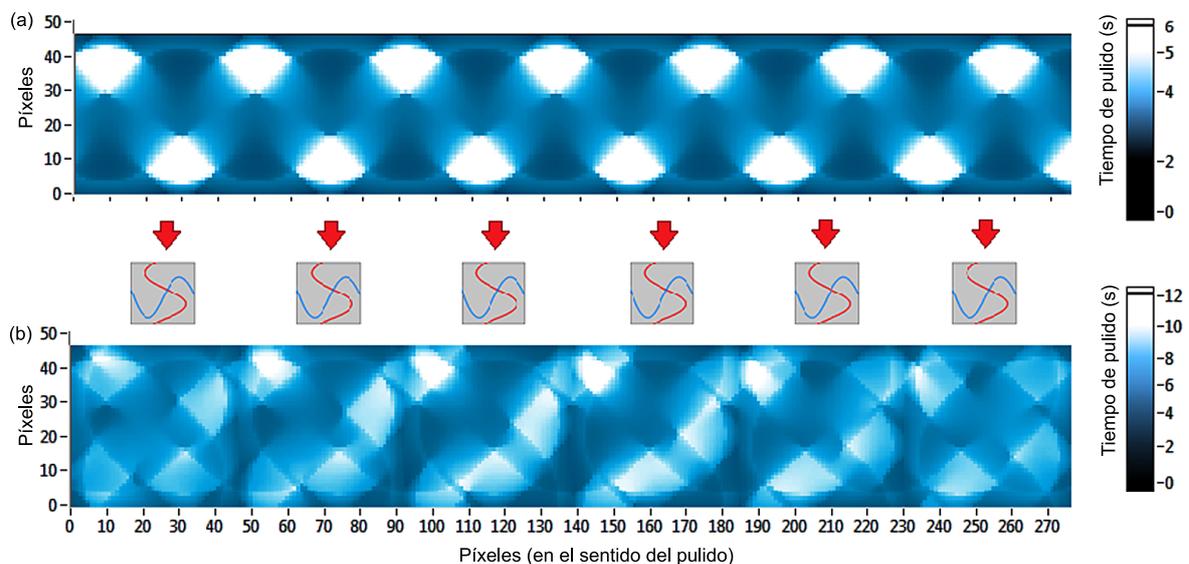


Figura 8 – Patrones de pulido simulados para $V= 75$ mm/s, considerando (a) el paso de un solo cabezal de pulido, y (b) la superposición después de una rotación de 90°

La comparativa entre las figuras 8a and 8b no indica ninguna mejora notable con respecto a la uniformidad de pulido. La evaluación cuantitativa del efecto final puede apreciarse en la figura 9. A primera vista, no se puede esperar ninguna ganancia permanente de uniformidad al girar las baldosas a cualquiera de los niveles considerados. En general, tampoco se ha podido conseguir ninguna mejora significativa.

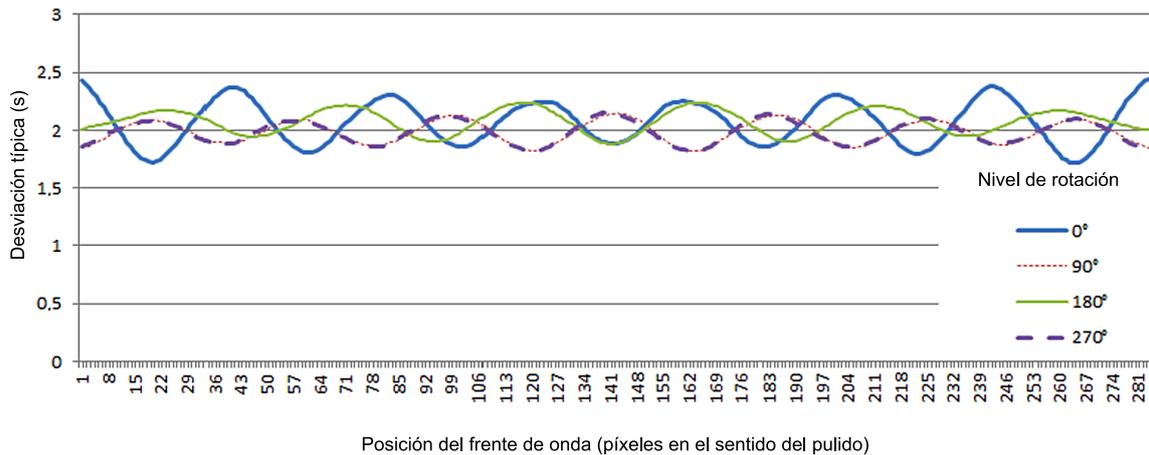


Figura 9 – Variación de la uniformidad de pulido durante el proceso para $V = 75 \text{ mm/s}$

La trayectoria de pulido correspondiente presenta una longitud de onda $\lambda = 375 \text{ mm}$. Este valor puede generar una variación más intensa de los patrones de pulido a lo largo del proceso, pero como se puede observar en la figura 8b, estas variaciones únicamente llegarán a manifestarse al contrastar baldosas procedentes de posiciones mucho más espaciadas, y no dentro de baldosas adyacentes. A pesar de generar productividades más elevadas, la aceleración del movimiento de avance de la cinta transportadora limita la viabilidad de la adopción del movimiento de rotación adicional propuesto en este trabajo.

4. CONCLUSIONES

Observando todos los patrones de pulido resultantes de las simulaciones, se pueden conseguir mejoras significativas de la uniformidad de pulido al introducir una rotación discreta de las baldosas de 90° o 270° . En términos cualitativos, este movimiento de rotación adicional ha podido proporcionar un dibujo de pulido con gradientes de pulido menos direccionales.

Se ha verificado que la uniformidad de pulido ofrecida por una línea de pulido típica variaba suavemente y de forma periódica a medida que el frente de onda avanzaba a lo largo de la línea de pulido. Para las rotaciones de baldosa de 90° y de 270° , se puede prever una mejora de aproximadamente el 8% en la uniformidad del pulido final al adoptar una velocidad de avance de 25 mm/s . Este nivel de mejora fue estable durante el proceso de pulido y como la cantidad de tiempo de pulido es idéntico por encima y por debajo del centro de la baldosa, el efecto era igual tanto para las rotaciones en contra del sentido como según el sentido de las agujas del reloj.

A pesar de la conveniencia de utilizar valores más altos de velocidades de avance, ya que proporcionan un aumento directo de la productividad, la reducción del tiempo de pulido durante el cual las baldosas se exponen al pulido a lo largo de la cinta transportadora reveló la existencia de una permuta entre la productividad

y la uniformidad de pulido, ya que las diferencias en los patrones de pulido entre las seis baldosas se hicieron evidentes.

Por consiguiente, con relación a las velocidades de avance más elevadas, se ha observado que se producen solo mejoras puntuales en la uniformidad de pulido. La mejora de la uniformidad no es constante a lo largo de la línea de producción, sino varía desde 10% hasta ninguna mejora apreciable en absoluto.

AGRADECIMIENTOS

Este trabajo se ha realizado con el apoyo de las siguientes entidades: La Coordinación para la Mejora del Personal de Enseñanza Superior – CAPES y la Deutsche Forschungsgemeinschaft – DFG, dentro del marco de la Iniciativa de Investigación Cooperativa Brasileña-Alemana de Tecnología de Fabricación - BRAGECRIM, y también de la fundación Carl-Zeiss, en Alemania.

BIBLIOGRAFÍA

- [1] C. Y. Wang, T. C. Kuang, Z. Qin, X. Wei, "How abrasive machining affects surface characteristics of vitreous ceramic tile", American Society Ceramic Bulletin, 9201-9208 (2003).
- [2] F. J. P. Sousa, N. V. Júnior, W. L. Weingärtner, O. E. Alarcon, "Glossiness distribution over the surface of stoneware floor tiles due to the polishing process", Journal of Material Science, 10124-10132 (2007).
- [3] A. Tucci, L. Espósito, "Polishing of porcelain stoneware tile: surface aspects", Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico - QUALICER, Castellón – España (2000).
- [4] M. Hutchings, K. Adachi, Y. Xu, E. Sánchez, M. J. Ibáñez, M. F. Quereda, "Analysis and laboratory simulation of an industrial polishing process for porcelain ceramic tiles", Journal of the European Ceramic Society, 3151-3156 (2005).
- [5] M. Hutchings, K. Adachi, Y. Xu, E. Sánchez, M. J. Ibáñez, "Laboratory simulation of the industrial ceramic tile polishing process", Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico - QUALICER, Castellón – España, 19-30 (2004).
- [6] I. M. Hutchings, Y. Xu, E. Sánchez, M. J. Ibáñez, M. F. Quereda, "Optimización del proceso de pulido para piezas de gres porcelánico", Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico - QUALICER, Castellón – España (2006).
- [7] L. Espósito, A. Tucci, D. Naldi, "The reliability of polished porcelain stoneware tiles", Journal of the European Ceramic Society, 785-793 (2005).

- [8] M.J. Ibáñez, E. Sánchez, J. García-Ten, M. J. Orts, V. Cantavella, J. Sánchez, C. Soler, J. Portolés, J. Sales, Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico - QUALICER, Castellón – España (2002).
- [9] C. Cass, "Optical haze on polished porcelain tiles, a consumer's perspective", Congreso Mundial de la Calidad del Azulejo y del Pavimento Cerámico - QUALICER, Castellón – España (2010).
- [10] F. J. P. Sousa, J. C. Aurich, W. L. Weingaertner, O. E. Alarcon, "Kinematics of a single abrasive particle during the industrial polishing process of porcelain stoneware tiles", Journal of the European Ceramic Society, 3183-3190 (2007).
- [11] F. J. P. Sousa, J. C. Aurich, W. L. Weingaertner, O. E. Alarcon, "Analytical determination of the Distribution of Polishing Time over the Surface of Polished Tiles", Journal of the American Ceramic Society, 3468-3477 (2007).
- [12] F. J. P. Sousa, J. C. Aurich, W. L. Weingaertner, O. E. Alarcon, "Optimization of the Kinematics Available in the Polishing Process of Ceramic Tiles by Computational Simulations", V. 92, 41 – 48 (2009).