

Inspección Automática de Defectos de Superficie en Baldosas Cerámicas

Lucas Echeverz¹, Matías Melograno¹, Lucas Leiva^{1,2}

¹Universidad Nacional del Centro de la Pcia. de Buenos Aires, Tandil, Argentina, lucas.echeverz@gmail.com, ds.matias@gmail.com, lleiva@exa.unicen.edu.ar

²Universidad FASTA, Facultad de Ingeniería, Mar del Plata, Argentina

Abstract. La industria de fabricación de baldosas cerámicas se sustenta fuertemente en la calidad de la producción lograda. En este sentido, los productos son clasificados en diferentes categorías, y su precio (o descarte) está sujeto a esto. Actualmente este proceso es generalmente realizado por operadores humanos, sin embargo muchas de las industrias pretenden aumentar el rendimiento de producción, así como los rindes, a través de la automatización del proceso. En este trabajo se propone un conjunto de algoritmos que permiten identificar defectos sobre baldosas con texturas aleatorias. El conjunto de defectos está comprendido por blobs (gotas), scratches (rayaduras), pinholes (agujeros), esquinas, dimensión y bordes. Los resultados obtenidos demuestran que el conjunto de algoritmos desarrollado pueden ser aplicados al problema, y en el futuro ser integrados en un sistema de clasificación automático completo.

Keywords: inspección de superficie, procesamiento de imágenes, industria cerámica.

1 Introducción

La calidad del producto final define el futuro de la industria y sólo una inspección objetiva y estricta puede prometer la mejor calidad del producto [1]. La incorporación de sistemas de inspección automática en la industria (Machine Vision) [2-4] tiene como objetivo recopilar la información necesaria para determinar si el producto se encuentra dentro de los parámetros correctos utilizando bases de conocimiento. Estos sistemas son robustos y operan en tiempo real sobre las líneas de producción, brindando una salida determinística y pueden ser incorporados en ambientes hostiles para los humanos (radiación, temperatura, sustancias tóxicas, entre otros).

El éxito de la implementación de un sistema de inspección visual automática se basa en: la justificación de la aplicación, las consideraciones sistemáticas de la eficiencia y el rendimiento del sistema (considerando la capacidad de integración, robustez, facilidad de uso y la capacidad de incluir inteligencia), la adaptación a las condiciones ambientales existentes, la calidad y resolución de la adquisición de imágenes, el rendimiento de la línea de producción, las técnicas de preprocesamiento de imágenes y el estudio de opciones en relación con el análisis de imágenes.

El control de calidad en la fabricación de baldosas se realiza en entornos no adecuados para los operadores al estar sujetos a altos niveles de ruido, polvo, temperaturas extremas, entre otros. Generalmente estas industrias incluyen en sus líneas de producción un alto grado de automatización [5-6], pero el control de calidad sigue siendo realizado por operarios. En este sentido, la capacidad de un ser humano para llevar a cabo este proceso depende de su entrenamiento, conocimiento y experiencia, pudiendo resultar además en clasificaciones erróneas de los productos sujetas al nivel de fatiga y la subjetividad [7].

El origen de los defectos pueden ocurrir en cualquiera de las fases de producción: desde el comienzo del proceso, reflejándose como irregularidades de la estructura en la composición geométrica del mismo, hasta el final del proceso observándose como fisuras. Durante todo el proceso de fabricación, existe la posibilidad que las baldosas se dañen mientras se transportan de una fase de producción a otra [8]. En [9] se definen ocho tipos de defectos posibles para la industria de fabricación de baldosas:

- *Scratch*: ruptura de baldosa
- *Pinhole*: punto blanco-negro aislado disperso
- *Blob*: gota en la superficie de la baldosa
- *Spot*: discontinuidad del color en la superficie
- *Corner*: ruptura de esquina
- *Border*: ruptura de borde
- *Scratch*: rayadura en la superficie
- *Glaze*: superficie borrosa en baldosa

A nivel regional, existe interés en las industrias cerámicas por integrar en sus líneas de producción sistemas de inspección y clasificación automática de productos en sus plantas. Particularmente, Loimar SRL [10] es una de las fábricas radicadas en la ciudad de Tandil desde hace más de 40 años constituida como una de los principales productos de cerámica roja, dedicándose a la fabricación de tejas, baldosas y ladrillos (Fig. 1). Posee una producción mensual de 60,000 m² de pisos rústicos.



Fig. 1 Fábrica Loimar.

Si bien existen soluciones comerciales que abordan el problema, como las ofrecidas por Sacmi Ibérica [11] (FlawMaster y ProcessMaster), su costo es elevado y la calibración de estos sistemas para un correcto desempeño puede alcanzar los seis meses. En el ámbito académico, puede encontrarse literatura que aborda la detección de defectos en la industria de baldosas y cerámicos utilizando sistemas de visión [12.]. En general, las investigaciones proponen limitaciones a subgrupos de defectos a detectar y su funcionamiento puede estar basado en reconocimiento de patrones estadísticos, extracción de vectores de características o clasificación de texturas.

En este trabajo se presenta un conjunto de algoritmos que permitan detectar defectos en productos basado en el reconocimiento de patrones estadísticos, con un

nivel de precisión que se ajuste a la necesidad del problema y que puedan ser incorporados en tecnologías de bajo costo para su implementación. Los algoritmos desarrollados comprenden un subconjunto de defectos seleccionados a partir de las necesidades de la industria particular sobre la cual se basa este trabajo: scratch, pinholes, blobs, corners y borders. Además se incorpora un nuevo parámetro de dimensión que es determinado por el área del producto. En la sección 2 se presentan los algoritmos desarrollados para la detección de los defectos y la sección 4 presenta los resultados experimentales de aplicar los algoritmos a los productos provistos por Loimar SRL. Finalmente se detallan las conclusiones y los trabajos futuros.

2 Desarrollo

El desarrollo de los algoritmos para la detección de los diferentes defectos fue realizado para borders, corners, scratches, pinholes, y blobs. Siendo que los algoritmos de identificación de esquinas, bordes y dimensión comparten la secuencialidad de los pasos estos se presentan en conjunto. No sucede así con los restantes (scratches, pinholes y blobs).

Los algoritmos parten desde una imagen capturada de una baldosa sobre un fondo con características absorbente, desde una cámara con ubicación cenital. Se utilizó iluminación natural, que puede ser recreada de forma artificial. El entorno de desarrollo para la implementación de los algoritmos fue Matlab R2016b, siendo este un entorno apto para el prototipado de algoritmos de procesamiento de imágenes. Las siguientes secciones describen los algoritmos desarrollados para el reconocimiento de cada uno de los defectos analizados en este trabajo.

2.1 Algoritmo de detección de Borders, Corners y Dimensión

Los algoritmos de verificación de área de la baldosa, así como también el análisis de bordes y la detección de esquinas, están basados en un detector de corners. En particular, el algoritmo seleccionado fue el algoritmo de Harris-Stephens, el cual detecta los cambios de intensidades en una ventana. Para su correcta ejecución, fue necesario incorporar una etapa de preprocesamiento de la imagen, basado en una operación de umbral. Durante esta etapa se descartan los puntos del fondo de la imagen. Sin embargo esta operación puede producir puntos internos dentro de la superficie del producto, que no son relevantes al análisis. Este problema se soluciona mediante el llenado de huecos.

El conjunto de corners detectado es analizado, determinando los vértices de la baldosa. Estos vértices, permiten además realizar un cálculo de área de la superficie permitiendo la verificación de este aspecto. Si bien, se descartan otras verificaciones, como pueden ser anchos y altos, la implementación de estos aspectos carece de complejidad. Por otra parte, el conjunto de puntos obtenido, permite verificar que el producto cumpla con los estándares definidos para su clasificación respecto a los bordes y esquinas.

La secuencia de pasos involucrada para la determinación de la calidad en cuanto a dimensión, bordes y esquinas, se transcribe a continuación.

- Paso 1.** Umbralado entre un rango $[min, max]$, pudiendo ser parametrizado a través de *cornerThreshold*.
- Paso 2.** Eliminación de elementos con superficie menor a *minsize* píxeles (*bwareaopen*).
- Paso 3.** Llenado de huecos (*imfill*).
- Paso 4.** Detección de esquinas (*Harris-Stephens*).
- Paso 5.** Clasificación de puntos en vértices de baldosa $(v0, v1, v2, v3)$, y puntos erróneos.
- Paso 6.** Cálculo de la dimensión basada en $(v0, v1, v2, v3)$.

2.2 Detección de Blobs

El algoritmo de detección de blobs se basa en dos aspectos: el contraste de las manchas en la superficie, y su aspecto circular. Esto motiva a aplicar, como base de ejecución algoritmos de segmentación que permitan detectar elementos circulares. En este sentido el conjunto de pasos que comprende la técnica desarrollada es el siguiente:

- Paso 1.** Umbralado (*threshold*).
- Paso 2.** Eliminación de elementos (*bwareaopen*) con superficie menor a *areaNotIncluded*.
- Paso 3.** Operación de cierre (*imclose*) con discos de valor indicado por *blobsDisk*.
- Paso 4.** Llenado de huecos (*imfill*).
- Paso 5.** Selección de elementos (*bwareafilt*) con superficie en el rango $[minAreaFilt, maxAreaFilt]$
- Paso 6.** Cálculo de redondez de los elementos seleccionados (*getRoundness*)
- Paso 7.** Selección de elementos con redondez mayor a *thresholdRound*.

2.3 Detección de Pinhole

En comparación con el análisis de blobs, se observa que la naturaleza del problema es similar. Por este motivo el algoritmo desarrollado para la detección de pinholes posee semejanza al presentado anteriormente. Sin embargo, los pinholes poseen una textura menos homogénea que los blobs, por lo que utilizar solo una técnica de umbralado como fase de segmentación no es suficiente. En este caso se incorpora un paso de dilatación, el cual permite unificar las áreas abarcadas por los pinholes. La secuencia de pasos para esta etapa es la siguiente:

- Paso 1.** Umbralado (*threshold*).
- Paso 2.** Operación de dilatación (*imdilate*).
- Paso 3.** Eliminación de elementos (*bwareaopen*) con superficie menor a *areaNotIncluded*.
- Paso 4.** Operación de cierre (*imclose*) con discos de valor indicado por *pinHoleArea*.
- Paso 5.** Llenado de huecos (*imfill*).
- Paso 6.** Selección de elementos (*bwareafilt*) con superficie en el rango [*minAreaFilt*, *maxAreaFilt*]
- Paso 7.** Cálculo de redondez de los elementos seleccionados (*getRoundness*)
- Paso 8.** Selección de elementos con redondez mayor a *thresholdRound*.

2.4 Identificación de scratches

Para la identificación de scratches se realizaron versiones de algoritmos basadas en detección de bordes (Canny, Sobel, Prewitt), y detección de líneas (Transformada de Hough), en conjunto con umbralados y operaciones morfológicas (Erosión, Dilatación, Apertura y Cierre). Sin embargo, el uso de estas técnicas obligaron a considerar un gran número de parámetros por cada baldosas, y estos parámetros son totalmente dependiente de la baldosa particular a analizar. Además, el número de falsos positivos obtenidos de la ejecución fue alto, por lo que se descartó el uso de estas técnicas.

En consecuencia, se optó por incluir el análisis de texturas utilizando un algoritmo basado en la desviación estándar local (*stdfilt*). El algoritmo desarrollado comprende la siguiente secuencia de pasos presentada a continuación.

- Paso 1.** Conversión de la imagen a escala de grises (*rgb2gray*).
- Paso 2.** Ecuilización de histograma (*histeq*).
- Paso 3.** Cálculo del desvío estandar local (*stdfilt*).
- Paso 4.** Umbralado (*threshold*) con nivel de iluminación *scratchThreshold*.
- Paso 5.** Operación morfológica de cierre (*imclose*) con un tamaño *scratchDisk*.
- Paso 6.** Llenado de los huecos (*imfill*).
- Paso 7.** Creación lista de todos los objetos detectados (*bwareafilt*) con tamaño dentro del rango [*minAreaFilt*, *maxAreaFilt*].

3 Resultados experimentales

El conjunto experimental utilizado para realizar la evaluación de los algoritmos está constituido por 32 muestras otorgadas por la empresa Loimar SRL, de sus productos de pisos Fiorentinos con dimensiones de 35cm x35cm, en sus diferentes versiones Laja Vecchia (21) y Curado a fuego (11).

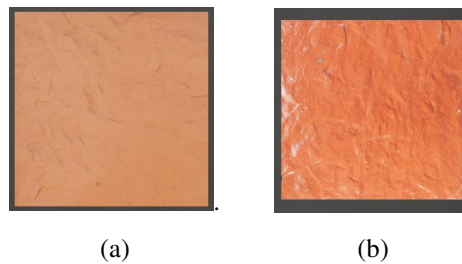


Fig. 2 Ejemplos de muestras capturadas correspondientes a: a) Laja Vecchia y b) Curado a fuego.

Los dos tipos de productos a analizar (Fig. 2) cuentan con características disímiles, ya que las baldosas del tipo curado a fuego reciben un esmaltado en su superficie. Esto implica que el brillo desprendido de la superficie durante la captura de las imágenes puede afectar a la identificación correcta de los defectos presentes en la superficie (blobs, scratches y pinholes).

El conjunto de muestras está comprendido por 4 baldosas con defectos en sus bordes, 4 con defectos en las esquinas, 4 presentan fallas de dimensiones, 6 presentan blobs, 8 pinholes y 6 scratches.

Los algoritmos fueron ejecutados utilizando sobre una PC con un procesador Intel Core i5-4590 CPU @ 3.30 GHZ, 8 Gb de memoria RAM y disco rígido SATA. El sistema operativo utilizado fue Windows 10.

Las imágenes fueron capturadas con una cámara estándar utilizando como sistema de iluminación luz natural, sobre un fondo con capacidades de absorción de luz, de manera de evitar reflexiones que impidan una correcta captura de los defectos del producto. Las resoluciones de las imágenes capturadas fueron de 5152x3864 píxeles.

Tabla 1. Resultados experimentales obtenidos respecto a tasas de acierto y errores, del análisis del lote de baldosas,

Algoritmo	Muestras analizadas	Muestras con fallas	Porcentaje de acierto	Falsos positivos
Bordes	32	4	100%	0
Esquinas	32	4	100%	0
Dimensión	32	4	100%	0
Blobs	17	6	100%	0
Pinhole	17	5	94.7%	0
Scratches	17	6	94.7%	1

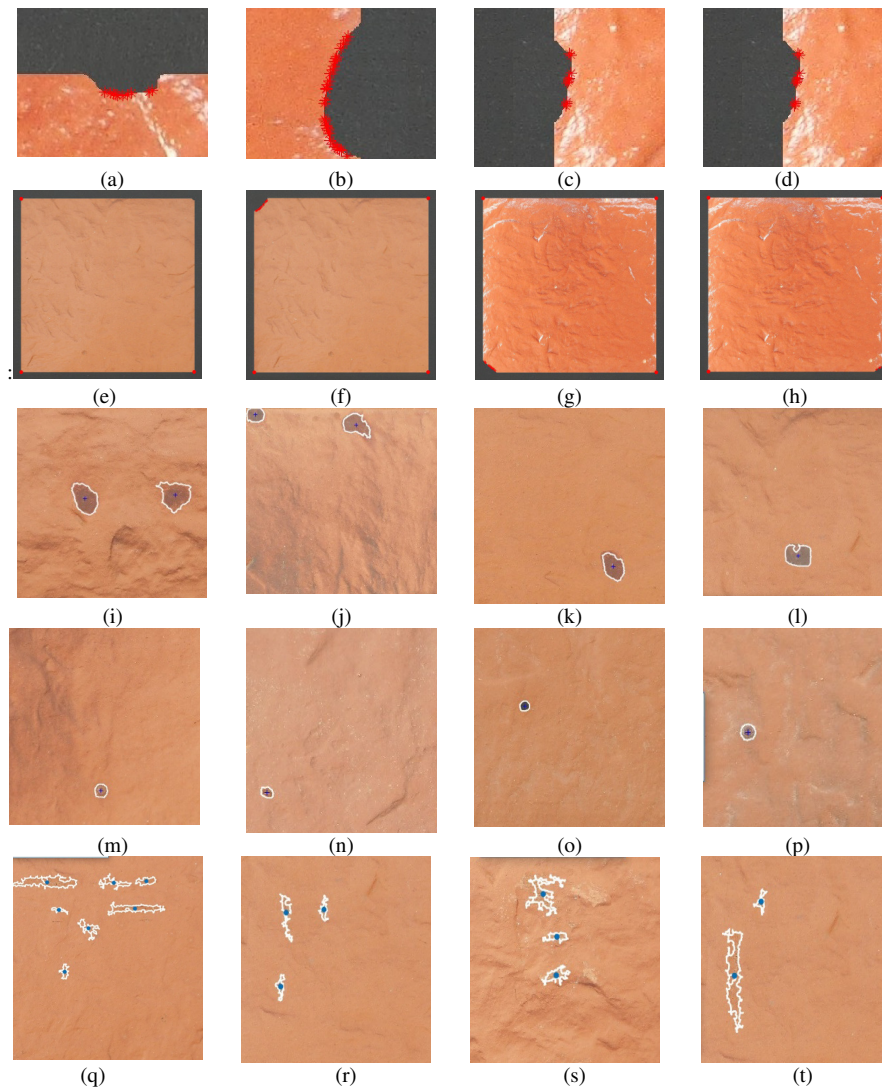


Fig. 3 Resultados obtenidos del proceso para cada uno de los algoritmos: Identificación de defectos en bordes (a, b, c, d); Identificación de defectos en esquinas (e, f, g, h); Identificación de presencia de blobs (i, j, k, l); Identificación de presencia de pinholes (m, n, o, p); Identificación de presencia de scratches (q, r, s, t).

Del número total de muestras, los resultados relativos al conjunto completo de muestras (Tabla 1) se observa que la primera etapa de clasificación que identifica fallas de bordes, esquinas y dimensión posee una tasa de error nula. Las figuras Fig. 3.(a-h) presentan los resultados obtenidos de las muestras. En este sentido, para la siguiente etapa (identificación de blobs, pinholes y scratches) se descartan el lote de piezas defectuosas (4 con errores de bordes, 4 con errores de esquina y 4 con errores de dimensiones). Si bien el lote restante se encuentra conformado por un total de 20

balosas, los algoritmos correspondientes a la segunda etapa (blobs, pinholes y scratches) presentan dificultades para la identificación de fallas en el subconjunto de baldosas del tipo curado a fuego (con esmalte). Considerando esto, el análisis presentado se realizó sobre un total de 17 piezas, es decir sobre el lote del tipo Laja Vecchia sin defectos de corners, borders ni dimensión.

El algoritmo de identificación de blobs, presentó resultados con la máxima precisión (Fig. 3.i, Fig. 3.j, Fig. 3.k y Fig. 3.l), mientras que el algoritmo de identificación de pinholes, pudo identificar el defecto en 4 de las 5 piezas con presencias de este tipo de errores (Fig. 3.m, Fig. 3.n, Fig. 3.o y Fig. 3.p). El caso particular del falso negativo (Fig. 4.a), se corresponde con un defecto con características muy similar al resto de la superficie, tanto en intensidad de color como de textura. La ausencia de un contorno oscuro característico en este tipo de defectos, provoca que el umbralado, con la parametrización seleccionada, no pueda detectarlo.

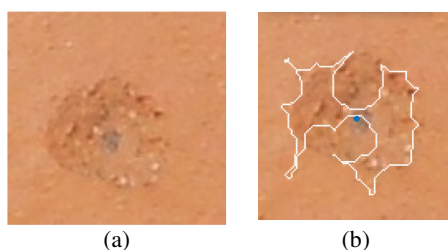


Fig. 4 Resultados en baldosa con pinhole usando: a) algoritmo de detección de pinholes, b) algoritmo de detección de scratches.

Durante la ejecución del algoritmo de identificación de scratches, si bien todas las fallas son encontradas (Fig. 3.q, Fig. 3.r, Fig. 3.s y Fig. 3.t), el algoritmo recae en un falso positivo. Analizando la detección errónea, se observa que el defecto encontrado en la superficie no se trata de la presencia de un scratch, sino es el pinhole omitido por el algoritmo de detección de pinholes (Fig 4.b).

De esta manera se puede concluir, que si bien uno de los defectos fue mal clasificado, el total de los errores de superficie del lote fue identificado de manera correcta, excluyendo los productos con esmaltado.

Tabla 2. Promedio de tiempos de cada algoritmo en diferentes computadoras.

PC / Defecto	PC1		PC2	
	5152x3864	1700x1275	5152x3864	1700x1275
Bordes, Corners y Dimensión	5,33 s	0,6 s	3,26 s	0,34 s
Blobs	0,24 s	0,04 s	0,17 s	0,03 s
Pinholes	0,29 s	0,05 s	0,2 s	0,03 s
Scratches	0,49 s	0,07 s	0,29 s	0,04 s

Respecto a los tiempos de ejecución, se analizó el tiempo de respuesta utilizando el hardware descrito (PC1), así como también en una PC de mayor rendimiento (PC2), con un procesador Intel Core i7-7700 CPU @ 3.60 GHZ, 16.00 Gb de memoria RAM y disco de estado sólido. Además se utilizaron dos resoluciones de imágenes de

entrada para la evaluación de la performance de los algoritmos. En la tabla 2 se detallan los tiempos de las combinaciones resultantes para cada una de las configuraciones de hardware como resolución.

Los resultados demuestran que si bien el aumento de la potencia del hardware incide sobre los tiempos de respuesta, el aumento de rendimiento máximo alcanzado es inferior a 2X. Sin embargo una reducción del mapeo espacial de la imagen, a través de la utilización de imágenes de menor resolución, presentan una aceleración superior a 5X, e incluso en los algoritmos de bordes, corners y dimensión cercano a 9X. Lo expuesto denota que si se desea un aumento considerable del rendimiento, es recomendable utilizar imágenes de menor resolución, siempre y cuando se considere que la resolución utilizada sea lo suficientemente grande como para permitir identificar los defectos.

Agradecimientos

Los autores del trabajo agradecen a Loimar, por la donación del material utilizado para la realización del mismo. Este trabajo fue parcialmente financiado por la SeCAT de UNICEN (Código de Proyecto 03/C287) y la Secretaría de Investigación de la Facultad de Ingeniería, Universidad FASTA.

Conclusiones

La actividad que involucra la industria de fabricación de baldosas tiene especial interés en realizar adecuados controles de calidad en sus líneas de producción, siendo estas etapas las que definen el impacto en el mercado. En este trabajo se desarrolló un conjunto de algoritmos capaces de detectar defectos de superficie en baldosas cerámicas. El alcance del trabajo comprende la detección de defectos en borders, corners, dimensión, blobs, scratches y pinholes. Los resultados obtenidos de la ejecución de los algoritmos se encuentran dentro de los requerimientos iniciales de aplicación en cuanto a precisión y demuestran la factibilidad de proveer una solución automática. Se han detectado todos los defectos existentes en las distintas baldosas sin la presencia de falsos positivos. Si bien los algoritmos poseen una latencia considerable, se plantea migrar estas soluciones a sistemas embebidos industriales utilizando hardware especialmente diseñado para procesamiento de imágenes. Los resultados de los algoritmos demuestran además que son aplicables en la detección de defectos sobre superficies de texturas aleatorias.

Los resultados obtenidos demuestran que mayores aceleraciones de rendimiento pueden ser obtenidas utilizando imágenes con resoluciones menores que permitan la identificación de los defectos. En este sentido se recomienda realizar un análisis minucioso respecto del tamaño de los defectos a inspeccionar, y la representación de los mismos en las imágenes de entrada al sistema, durante la especificación del sistema.

Finalmente, se plantea realizar un estudio de modelos de iluminación, que permita una correcta ejecución de los algoritmos sobre el lote de baldosas esmaltadas. Las

características de brillo existente en este tipo de producto, impidió realizar una inspección de superficie satisfactoria.

Referencias

1. D. T. Pham y R. J. Alcock, *Smart Inspection Systems: Techniques and applications of intelligent vision*, Academic Press, 2003.
2. E. R. Davies, *Machine Vision: Theory, algorithms, practicalities*, Fourth Edition, Academic Press, 2004.
3. U. S. Khan, «Automatic inspection system using Machine Vision», *Proceedings of the 34th Applied Imagery and Pattern Recognition Workshop*, pp. 217-222, 2005.
4. H. Golnabi, «Design and application of industrial Machine Vision systems», *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, vol. 23, issue 6, pp. 630-637, December 2007.
5. Y. Meena y A. Mittal, «Blobs and Scratches Detection on Plain Ceramic Tile Surface», *International Journal of Advanced Research in Computer Science and Software Engineering*, vol. 3, issue 7, pp. 647-652, 2013.
6. H. Elbehiery, A. Hefnawy y M. Elewa, «Surface Defects Detection for Ceramic Tiles Using Image Processing and Morphological Techniques», *World Academy of Science, Engineering and Technology*, pp. 158-162, 2005.
7. S. Singh y M. Kaur, «Machine Vision System for Automated Visual Inspection of Tile's Surface Quality», *IOSR Journal of Engineering*, vol. 2, issue 3, pp. 429-432, 2012.
8. Ž. Hocenski y T. Keser, «Failure Detection and Isolation in Ceramic Tile Edges Based on Contour Descriptor Analysis», *Mediterranean Conference on Control and Automation*, 2007.
9. G. M. Atiqur Rahaman, Md. Mobarak Hossain, *Automatic Defect Detection and Classification Technique from Image: A Special Case Using Ceramic Tiles*, (IJCSIS) *International Journal of Computer Science and Information Security*, Vol. 1, No. 1, May 2009
10. Loimar, <http://www.loimar.com>
11. Sacmi Ibérica, <http://www.sacmiiberica.com/>
12. Karimi, Mohammad H., and Davud Asemani. "Surface defect detection in tiling Industries using digital image processing methods: Analysis and evaluation." *ISA transactions* 53.3 (2014): 834-844