

APLICACIÓN DE ALGORITMOS BREADTH-FIRST SEARCH Y VISIÓN POR COMPUTADORA APLICADOS AL PROCESO DE CORTE DE CALZADO

¹Dolores Ayala Muñoz, dolores.am@purisima.tecnm.mx

²Daniel Jimenez Mendoza, daniel.jm@purisima.tecnm.mx

³Carlos Daniel Hernández Mojica, lrs19110547@purisima.tecnm.mx

⁴Ángel Alexis González flores, lrs19110749@purisima.tecnm.mx

RESUMEN

En el proceso de fabricación del calzado, el material más importante es la piel o el sintético del exterior del zapato ya que representa alrededor del 70% del costo de todo el producto, por lo que es fundamental desarrollar sistemas que mejoren el control del material utilizado en el corte. Esta propuesta utiliza herramientas de análisis de métodos, procesamiento digital de imágenes y algoritmos de búsqueda para generar un algoritmo que optimice el acomodo de las piezas de calzado para controlar mejor el consumo de material en este proceso. Se obtuvieron los diagramas de flujo del proceso de corte, y a través del procesamiento y tratamiento de imágenes, se obtuvieron los parámetros de áreas necesarios para la propuesta del algoritmo para el acomodo de las piezas en el área de material. Los resultados preliminares muestran la viabilidad en comparación con las técnicas tradicionales de consumo; la propuesta se perfila como una aplicación de impacto en los procesos de fabricación.

PALABRAS CLAVE

Algoritmos de búsqueda
Procesamiento de imágenes
Proceso de corte de calzado.

ABSTRACT

In the footwear manufacturing process, the most important material is the leather or the synthetic outside of the shoe since it represents around 70% of the cost of the entire product, so it is essential to develop systems that improve control of the material used in cutting. This proposal uses method analysis tools, digital image processing and search algorithms to generate an algorithm that optimizes footwear pieces accommodation to better control material consumption in this process. The flow charts for the cutting process were obtained, and through the processing and treatment of images, the parameters of areas required for the proposal of the algorithm for the accommodation of the pieces on the material area were obtained. Preliminary results show feasibility compared to traditional consumption techniques; the proposal is emerging as an impact application in manufacturing processes.

KEYWORDS

Algorithms of search
Processing of images
Cutting process shoe

*1,2 Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón/Docentes
3,4 Instituto Tecnológico Superior de Purísima del Rincón/Estudiantes*

I. INTRODUCCIÓN

En las empresas de cuero y calzado se lleva a cabo el proceso de corte de cuero y sintético; si se quiere optimizar el proceso, los cortadores deben buscar una disposición adecuada de las piezas para obtener un ahorro en el material; esto depende de la disposición y distribución de las piezas en función de las tiradas de los lotes de producción que se le asignen, así como de las necesidades de los consumidores.

Para mantener su competitividad, los mercados presionan a las empresas para que innoven constantemente sus sistemas de fabricación. Para ello, se deben considerar diseños que permitan una adecuada estimación de las variables del proceso que permitan minimizar el coste de los materiales y su manipulación (Ogunsakin et al., 2021). En general, todos los materiales son elásticos en función de la dirección en la que se cortan.

Los patrones de las cuchillas deben colocarse longitudinalmente en función de la elasticidad del material utilizado y de la zona del zapato que ocupe cada pieza. Dependiendo del origen del cuero, hay una mayor o menor superficie de corte, el grosor del cuero varía y las fibras se compactan.

Se utilizan principalmente tres métodos de corte: el corte manual, que lo realiza una persona especializada con gran experiencia en el manejo de herramientas tradicionales y se aplica a la fabricación de calzado artesanal de alta gama; el corte a máquina o puente con suaje o troquel con el uso de siluetas metálicas; y el corte a máquina con láser (Stepanov et al., 2015), que permite utilizar la piel de forma ideal (Martin, 2016). Aldás et al., (2018), señalan que uno de los principales problemas de las empresas de calzado es que no cuentan con un método de trabajo aceptable en lo que respecta al proceso de corte, lo que provoca retrasos en los procesos posteriores.

Este problema también afecta a las áreas de compras e inventarios, ya que el control de los materiales faltantes o sobrantes provoca pérdidas económicas a la empresa. Las técnicas de procesamiento de imágenes son ampliamente utilizadas en diferentes campos como la medicina, la agricultura o las inspecciones de calidad industrial y se aplican indistintamente en la mayoría de las empresas, incluso en la industrial de la piel, por ejemplo, la identificación de defectos sobre una superficie de cuero utilizando el algoritmo BFS para identificar y marcar cicatrices, arañazos y agujeros de alfiler (Hoang-Quan et al., 2018).

En el caso del cuero sintético, se utilizan diferentes herramientas debido a la falta de defectos, cicatrices y agujeros de alfiler detectados sobre el cuero natural. Estas técnicas pueden ser detecciones de límites utilizadas como marcas en el proceso de corte (Ming-Yi & Ling-Ling, 2008). Los robots son fundamentales para reducir el tiempo del proceso, y la combinación

de técnicas de procesamiento de imágenes puede acelerar el proceso industrial, por ejemplo, la aplicación de cola sobre el límite de un zapato o el corte de piezas de calzado (Pagano et al., 2020).

En nuestro caso, aplicamos técnicas de suavizado, umbralización y morfología para lograr nuestro objetivo. Todos los ejemplos descritos anteriormente se realizaron con algoritmos de procesamiento de imágenes. Actualmente, hemos trabajado con algoritmos de búsqueda BFS para lograr el ajuste de piezas. En la Universidad Autónoma de México se ha trabajado en la problemática del ajuste de calzado irregular sobre superficies irregulares como la piel para resolver los problemas que actualmente presentan las empresas de calzado, utilizando sistemas computacionales y una metodología basada en algoritmos genéticos, redes neuronales y rutas simuladas, dando como resultado la optimización del 70% del tiempo en lo que respecta a los sistemas comerciales y del 5 al 7% en el desarrollo del proceso de corte. (Guevara-Palma et al., 2015). Asimismo, el Centro de Estudios CAD/CAM ha trabajado con algoritmos de ordenación de piezas irregulares en superficies planas mediante la técnica de Nesting, considerando la geometría real de las piezas y utilizando técnicas heurísticas, de inteligencia artificial para optimizar el material.

El método consiste en integrar variables y comparar los resultados obtenidos con otros autores que han trabajado en el problema para mejorar el uso del material y reducir el tiempo (Wen-Chen et al., 2008). La propuesta del proyecto pretende desarrollar un prototipo para generar la opción más eficiente en los patrones de acomodo de las piezas que componen los diferentes modelos de calzado y, de esta manera, minimizar los desperdicios, estimando de manera más adecuada el consumo de materiales sintéticos o pieles.

La integración de técnicas de procesamiento de imágenes (Khanal et al., 2022), dispositivos embebidos de última generación, el desarrollo de algoritmos inteligentes y métodos de búsqueda BFS mediante heurística está enfocada a implementar la industria 4.0 en el proceso de fabricación. Con la aplicación de este sistema se optimiza el proceso de corte, proporcionando al operario una disposición óptima de la pieza, y reduciendo los residuos inherentes al proceso manual, mejorando así el control del proceso y los inventarios de material.

En Purísima del Rincón, Guanajuato, la industria del calzado de piel es el principal sector económico que genera la mayor fuente de empleo para su población. Por esta razón, las empresas buscan optimizar el costo de producción del calzado. Actualmente, en el proceso de corte hay mucho desperdicio; aunque las empresas ofrecen incentivos a sus trabajadores, esto se deriva de las inconsistencias en las tallas reportadas por los proveedores de las pieles en contraste con la talla real del producto recibido.

II. METODOLOGÍA

Este trabajo de investigación se realizó en los pueblos del Rincón, Guanajuato, considerando una empresa productora de calzado deportivo, en la cual se analizaron una muestra de piezas de zapatos que componen 3 modelos que ellos fabrican. El periodo de desarrollo del proyecto fue de diez meses. La metodología tiene un enfoque cuantitativo, pues al final, se establece un comparativo de cantidad de consumos de material utilizado en el departamento de corte basados en el método Russ & Small y el acomodo proporcionado por el algoritmo que hemos programado, también podemos mencionar que el objeto de estudio es aplicado, al considerar como caso de estudio los métodos actuales utilizados en la industria del calzado y desarrollarse en el algoritmo propuesto.

Las técnicas y métodos aplicados se mencionan a continuación:

- Análisis del proceso de corte del calzado sintético.
- Procesamiento de imágenes.
- Diseño preliminar del prototipo.
- Desarrollo de un algoritmo de ajuste de piezas de calzado.

A continuación, se explica cada una de las fases:

II.I Análisis del método de corte

El proceso de fabricación del calzado comienza en el departamento de corte, que utiliza la máquina clicker. El calzado fabricado en la empresa está hecho de materiales sintéticos, que son fabricados con materiales artificiales. Algunas características y ventajas de estos materiales son su resistencia, ligereza, economía, durabilidad, diversidad e impermeabilidad.

El material utilizado se recibe en rollos, pero para la realización de un corte en cada carrera se deben apilar 8 para obtener 4 pares de la pieza a cortar. Un dato importante es que el material sólo se ha estirado hasta el ancho de este, por lo que se debe tener en cuenta la posición de la pieza en función de la posición que va a ocupar en el calzado, ya que esto se considera en los procesos de montaje al unir el corte armado con los avíos y la suela. Los pasos para esta fase fueron:

- Analizamos el área de corte y los departamentos anteriores que se relacionan con este departamento para entender el funcionamiento desde la recepción y manejo de materiales
- Se identificaron los factores críticos que influyen en el proceso de corte del calzado.
- Se analizó el proceso de corte para identificar las variables implicadas y las restricciones para evaluar los elementos relacionados con el consumo y los residuos en el material.

II.II Tratamiento de imágenes

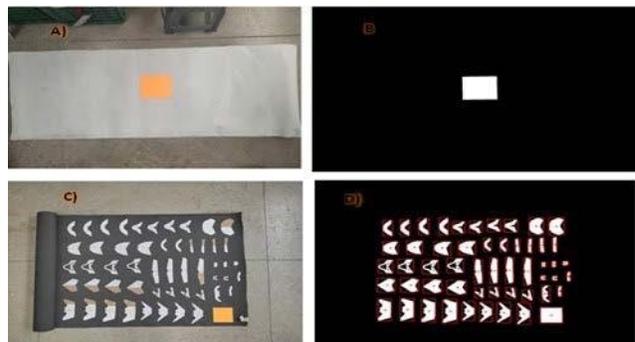
El proceso de segmentación de la imagen comienza calibrando la imagen con un patrón cuadrado de 19x19cm para

determinar el tamaño total de los píxeles. El siguiente paso consiste en segmentar la lámina plegada de la piel; para realizar este proceso, la imagen se suaviza con un filtro gaussiano con un núcleo de 3x3 y una desviación estándar de 2. Aplicamos el método de umbral automático otsu para obtener una imagen binaria (1 y 0's), correspondientes al blanco y al negro, respectivamente. Esta imagen se guarda en formato de matriz en un archivo de texto. Las imágenes se tomaron a 2 metros de altura. En el caso de las piezas de calzado, se aplica un procedimiento similar a la imagen, pero en este caso se calculan los centros de masa de las piezas (centroides) para cortar rectángulos que incluyan los objetos considerando sus coordenadas centrales. Los rectángulos se guardan en un archivo de texto en formato de matriz para utilizarlos en el algoritmo de búsqueda.

La figura 1 muestra la piel sintética, el patrón cuadrado de calibración, el número de piezas de calzado y las imágenes binarizadas en rectángulos.

Figura 1.

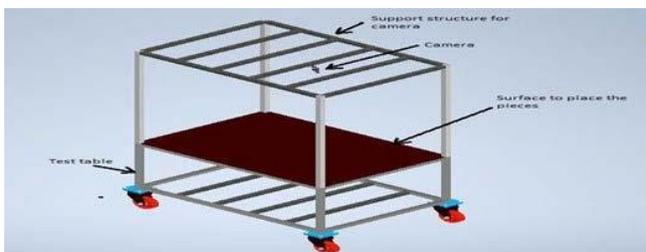
a) Piel sintética plegada, b) Patrón cuadrado segmentado, c) Piezas de calzado, d) Piezas de calzado segmentadas



II.III Diseño preliminar del prototipo.

El presente diseño se basó en los requerimientos del cliente, en cuanto a las dimensiones del lugar de trabajo y la aplicación del proyecto, en el que se propuso una mesa de material de acero, y se decidió una estructura superior a la mesa donde se apoya la mesa. La cámara, para las pruebas fotográficas, el diseño se basó en la especificación del cliente, el establecimiento de las estructuras funcionales en términos de la funcionalidad del prototipo y que se estableció utilizando el software CAD especializado para el presente diseño preliminar. (Fig. 2)

Figura 2.
Diseño preliminar de la mesa de pruebas.



II.IV Desarrollo del algoritmo de acomodo de piezas

Para esta fase se utilizaron algoritmos de búsqueda, que permiten realizar el recorrido de los nodos de un grafo que representa los espacios vacíos para el alojamiento de las imágenes y obtener la mejor solución para las piezas. Etapas de la frase:

Identificación de espacios vacíos en la imagen, una vez establecidos los parámetros de medición, se realizó el cálculo de los espacios vacíos en la matriz obtenida a partir de las piezas de calzado estándar, y se verificó el alto y el ancho de las imágenes para identificar cuál de las siguientes imágenes podría acomodarse en los espacios vacíos a partir de sus centroides, en caso de que la imagen seleccionada no cupiera en la imagen, se procede a analizar el siguiente nodo o los vecinos adyacentes hasta recorrer todos los nodos e identificar qué imagen podría acomodarse para finalizar la búsqueda.

Ajuste de las piezas e identificación de los residuos: posteriormente, se identificaron los desperdicios generados con la disposición de las piezas para identificar el tamaño del espacio restante. Cuando se determina una solución, se repite la búsqueda para identificar qué pieza puede optimizar el consumo de material. Para identificar la cantidad de desperdicio de material, se debe validar que el acomodo realizado no exceda el tamaño máximo de la solución anterior y que terminaría la búsqueda de la rama analizada.

Encontrar la mejor solución: Se debe definir la mejor solución de alojamiento, en función del tamaño del alojamiento de la mejor imagen, verificando que la cantidad de residuos o espacios vacíos se optimizan cuando el acomodo y los residuos son menores que el acomodo y los residuos anteriores, se tiene la mejor solución.

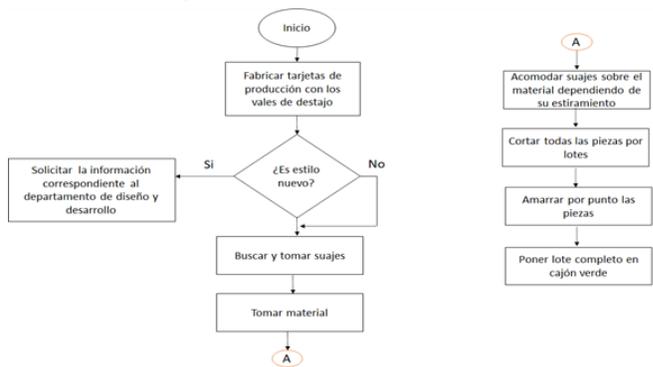
III. RESULTADOS O AVANCES

En la siguiente sección se muestran los resultados obtenidos con la aplicación del algoritmo de búsqueda.

III.1 Diagrama de flujo del proceso de corte

La figura 3 muestra el diagrama de flujo del proceso de corte. Los pasos se consideran de forma general. Dentro del proceso, la disposición de las piezas se realiza en función del área disponible para las mismas, considerando las restricciones.

Figura 3.
Diagrama de flujo del proceso de corte.



III.2 Imágenes segmentadas.

Las piezas de calzado segmentadas se muestran en la figura 4, y éstas se guardaron como un archivo de texto en formato de matriz para ser utilizadas en el algoritmo de búsqueda; cada pieza tiene un tamaño diferente según su rectángulo de delimitación centrado en sus coordenadas de centroide.

Las piezas están en vista aumentada para ser observadas en detalle.

Figura 4.
Imagen de piezas de calzado binarizadas y piezas separadas



Imagen de piezas de calzado binarizadas y piezas separadas

A continuación, se muestra el pseudocódigo utilizado para el desarrollo del algoritmo de disposición de piezas que muestra la aplicación de las tres fases definidas en la metodología. Como se puede ver en la figura 5, con el desarrollo del código, se pudo realizar el acomodo de piezas que optimizara el consumo de materiales.

Figura 5. Pseudocódigo del algoritmo.

```

SubProceso espaciosVacios <- CalcularEspaciosVacios (matrizPiezasAcomodadas, anchoABo)
espaciosVacios <- 0;
Para posicionXY <- 0 hasta anchoABto Hacer
    Si matrizPiezasAcomodadas[posicionXY] Entonces
        espaciosVacios <- espaciosVacios+1;
    FinSi
FinPara
FinSubProceso

SubProceso acomodoYDesperdicio <- Acomodar (acomodo, acomodoSize, restantes, restanteSize)
Si restantesSize=0 Entonces
    pieza <- restantes[restanteSize];
    espaciosVacios <- CalcularEspaciosVacios (acomodo, acomodoSize);
    Si espaciosVacios=pieza Entonces
        acomodo[acomodoSize] <- acomodo[acomodoSize]+pieza;
        acomodoYDesperdicio <- acomodoYDesperdicio+Acomodar (acomodo, acomodoSize, restantes, restanteSize-1);
    SiNo
        acomodoSizeNuevo <- acomodoSize+1;
        acomodo[acomodoSizeNuevo] <- pieza;
        acomodoYDesperdicio <- acomodoYDesperdicio+Acomodar (acomodo, acomodoSizeNuevo, restantes, restanteSize-1);
    FinSi
FinSi
FinSubProceso

Proceso Buscar_solucion
Dimension piezas(20);
Definir mejorAcomodoYDesperdicio Como Numerico;
Definir mejorAcomodoYDesperdicio Como Numerico;
Definir pieza Como Numerico;
//piezas = {1,1,1,1,1};
mejorAcomodoYDesperdicio <- 999999999999999999;
Para Cada pieza de piezas Hacer
    acomodoYDesperdicio <- Acomodar (pieza, L, piezas, 0);
    Si acomodoYDesperdicio < mejorAcomodoYDesperdicio Entonces
        mejorAcomodoYDesperdicio <- acomodoYDesperdicio;
    FinSi
FinPara
Escribir "La mejor solución para el conjunto de piezas es:";
Escribir mejorAcomodoYDesperdicio;
FinProceso
    
```

III.IV Alojamiento de las piezas procesadas

Una vez ejecutado, se muestra el resultado del primer ajuste de las piezas, que se utiliza para calcular el consumo de material utilizado en el proceso de corte. (Figura 6).

Figura 6. Colocación de las piezas del calzado



III.V Comparativo de consumos obtenidos con el algoritmo de acomodo de piezas

En la figura 7 podemos observar los consumos obtenidos con el algoritmo desarrollado de acomodo de piezas.

Figura 7. consumos mediante algoritmo acomodo de piezas.

b2 = -42.967

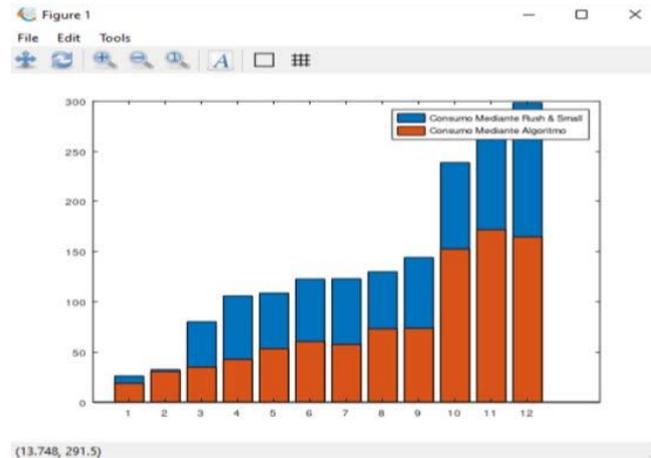
X	Y	Maj	min	Area	Rect
3.9913e+03	2.0950e+03	1.8229e+02	7.1220e+01	1.0043e+04	3.8955e+03
1.2979e+03	2.3643e+03	2.5050e+02	9.4319e+01	1.6379e+04	1.1685e+03
3.3506e+03	2.4327e+03	3.3953e+02	2.0397e+02	1.9387e+04	3.2055e+03
3.3631e+03	2.0307e+03	2.9995e+02	2.6712e+02	2.2768e+04	3.2605e+03
1.3156e+03	2.0171e+03	6.2374e+02	6.0735e+01	2.8537e+04	1.0375e+03
4.0699e+03	1.5830e+03	4.9466e+02	1.4738e+02	3.4388e+04	3.8475e+03
2.7519e+03	2.0159e+03	2.7118e+02	1.8256e+02	3.4944e+04	2.6655e+03
2.0814e+03	2.1706e+03	2.7225e+02	1.9462e+02	4.0950e+04	1.9485e+03
2.7935e+03	1.5631e+03	3.2975e+02	1.9884e+02	4.1166e+04	2.5945e+03
2.0747e+03	1.5465e+03	3.6135e+02	2.0194e+02	4.1646e+04	1.9345e+03
3.4105e+03	1.5451e+03	2.8637e+02	2.1833e+02	4.7391e+04	3.3035e+03
1.2980e+03	1.5274e+03	6.6508e+02	2.7774e+02	8.8173e+04	9.7750e+02

Objetos encontrados
ans = 12
Area_Pilego = 1.1639e+04
Cx Cy Major Menor Area Boundingbox
Tablaq =

2.8861e+03	2.2457e+03	6.0866e+03	2.7305e+03	1.2453e+07	2.5050e+02	9.4550e+02	5.3150e+03	2.5510e+03
------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------	------------

Pilego_Largo = 186.07
Pilego_Ancho = 83.474

Figura 8. gráfica de comparativo de consumos de material.



En la figura 8 podemos observar el comparativo de los consumos obtenidos calculándolos mediante el método Russ & Small y el consumo obtenido con el algoritmo desarrollado de acomodo de piezas. Como podemos ver los consumos varían muy poco, pero se pueden optimizar con el algoritmo, aplicando métodos de inteligencia artificial, que será el siguiente paso aplicar en este proyecto.

IV. CONCLUSIONES

En este artículo se propuso utilizar técnicas de procesamiento digital de imágenes, análisis de métodos, diseño mecánico y algoritmos BFS para optimizar el consumo de materiales en el proceso de corte de calzado. Con los resultados obtenidos, podemos concluir que, al utilizar algoritmos de búsqueda basados en heurísticas, aplicados en el método de acomodo de piezas utilizadas en el proceso de corte de sintético, se puede optimizar el consumo, así como reducir la cantidad de desperdicio de material, que es un factor esencial para las empresas de calzado, comparando con los consumos obtenidos al aplicar el método actual Russ & Small.

Por consiguiente, se puede lograr optimizar tiempos y costos de impacto en el proceso de corte, lo que puede mejorar la productividad y competitividad de las empresas, con una ventaja en los tiempos de ejecución. En futuras investigaciones, se integran técnicas de inteligencia artificial para mejorar los tiempos de búsqueda en los alojamientos utilizando técnicas de reconocimiento de patrones para reducir los tiempos de búsqueda.

La metodología propuesta permitió obtener y simular alojamientos que mejoran la estimación del consumo de materiales en el corte. Esta información puede ser utilizada para planificar las compras y los almacenes, evitando el desperdicio/falta de materiales, ya que los métodos utilizados actualmente carecen de buena precisión, lo que reduce el control en las empresas. Actualmente existe software comercial que permite hacer optimización de este tipo de materiales, pero se requiere una maquina especial que se conecta al programa para realizar el procesamiento del corte, en nuestro caso nuestro software es totalmente flexible puesto que nos entrega un acomodo con la información necesaria para ser procesada en cualquier máquina de corte manual.

Se recomienda para futuras investigaciones referentes al uso de algoritmos BFS, contemplar los requerimientos tecnológicos para la ejecución del algoritmo, pues pudiera llegar a ser una limitante en el tiempo de ejecución del algoritmo.

REFERENCIAS BIBLIOGRÁFICAS

- Aldás, D. S., Portalanza Molina, N. de J., Tierra Pérez, L. P., & Barrionuevo Zurita, M. P. (2018). Análisis de los tiempos de preparación para la reducción de desperdicios en el proceso de troquelado. Caso aplicado industria de calzado. *INNOVA Research Journal*, 3(10), 149-160. <https://doi.org/10.33890/innova.v3.n10.2018.649>.
- Guevara-Palma, L., Santillán-Gutiérrez, S.D., Tang-Yu, X., Dorador-González, J.M., & Lara-Jiménez, C.I. (2015). Acomodo de Figuras irregulares en áreas irregulares para el corte de cuero. *Ingeniería, Investigación y Tecnología*, 16(1), 25-34. [https://doi.org/10.1016/s1405-7743\(15\)72104-9](https://doi.org/10.1016/s1405-7743(15)72104-9)
- Hoang-Quan, B., Quoc-Bao, T., Huu-Cuong, N., & Minh-Triet, N. (2018). Vision-based inspection system for leather surface defect detection and classification. 2018 5th NAFOSTED Conference on Information and Computer Science (NICS). 300-304, <https://doi.org/10.1109/nics.2018.8606836>
- Khanal, S.M., Silva, J., Magalhães, L., Soares, J., Garcia-Gonzalez, D., Chavez-Castilla, Y., & Ferreira, M.J. (2022). Leather defect detection using semantic segmentation: A hardware platform and software prototype. *Procedia Computer Science*, 204, 573-580. <https://doi.org/10.1016/j.procs.2022.08.070>.
- Martín, N. (2016). Patronaje y Confección de Calzado. GG Editorial.
- Ming-Yi, L., & Ling-Ling, W. (2008). Automatic shoe-pattern boundary extraction by image processing techniques. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 24(2), 217-227. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2006.10.005>
- Ogunsakin, R., Marin, C. A., & Mehandjiev, N. (2021). Towards Engineering Manufacturing Systems for mass personalisation: A stigmergic approach. *International Journal of Computer Integrated Manufacturing*, 34(4), 341-369. <https://doi.org/10.1080/0951192x.2020.1858508>
- Pagano, S., Russo, R., & Savino, S. (2020). A Vision guided robotic system for flexible gluing process in the footwear industry. *Robotics and Computer-Integrated Manufacturing*, 65, 101965. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2020.101965>
- Stepanov, A., Manninen, M., Pärnänen, I., Hirvimäki, M., & Salminen, A. (2015). Laser cutting of leather: Tool for industry or designers?. *Physics Procedia*, 78, 157-162. <https://doi.org/10.1016/j.phpro.2015.11.028>.
- Wen-Chen, L., Heng, M., & Bor-Wen, C. (2008). A heuristic for nesting problems of irregular shapes. *Computer-Aided Design*, 40(5), 625-633. <https://doi.org/10.1016/j.cad.2008.02.008>

