

## **Detección de galletas que no cumplen con el estándar de la línea de producción, utilizando reconocimiento de formas y análisis morfológico**

Naranjo Cleotilde<sup>(1)</sup>, Rivera María Fernanda<sup>(2)</sup>, Chávez Patricia<sup>(3)</sup>

Facultad de Ingeniería Eléctrica y Computación (FIEC)

Escuela Superior Politécnica del Litoral (ESPOL)

Campus Gustavo Galindo, Km 30.5 Vía Perimetral

Apartado 09-01-5863 Guayaquil, Ecuador

[cnaranjo@fiec.espol.edu.ec](mailto:cnaranjo@fiec.espol.edu.ec)<sup>(1)</sup>, [mrivera@fiec.espol.edu.ec](mailto:mrivera@fiec.espol.edu.ec)<sup>(2)</sup>, [pchavez@fiec.espol.edu.ec](mailto:pchavez@fiec.espol.edu.ec)<sup>(3)</sup>

### **Resumen**

*En las industrias se realizan diversos controles de calidad para reducir la cantidad de productos con defectos, aumentar eficiencia y productividad; a fin de obtener productos de primera calidad y ser más competitivos. En el área de control de una fábrica de galletas, existe personal que manualmente separa las galletas que no cumplan con el estándar, por lo que a menudo se cometen errores y es frecuente que consumidores encuentren galletas con fallas en los empaques.*

*El avance tecnológico y la automatización industrial se han constituido en herramientas indispensables para prevenir y reducir fallas en la producción, simplificar procesos e incrementar productividad y competitividad. Esto ha contribuido al desarrollo e implementación de controles automatizados, obteniendo así productos de mayor calidad.*

*En este proyecto se diseña un algoritmo para la detección de fallas en la línea de producción de una fábrica de galletas, que permita identificar que productos difieren del estándar. Para su ejecución los moldes de galletas que utilizaremos serán redondos y triangulares.*

*El algoritmo ha sido desarrollado en MatLab, mediante el procesamiento digital de imágenes se realiza el reconocimiento de formas y el análisis morfológico de parámetros como el tamaño de las galletas e indicador geométrico. A través de una interfaz gráfica se puede apreciar los resultados de forma visual e interactiva.*

**Palabras Claves:** Reconocimiento de formas, Análisis Morfológico, Procesamiento Digital de Imágenes, MatLab.

### **Abstract**

*In several industries quality control techniques are carried out in order to reduce the amount of products with defects. This increases efficiency and productivity, thus we obtain top quality products and improve business. A biscuit factory has staff to manually separate the cookies that do not meet the standard, they often make mistakes, and therefore consumers find cookies that are different from the regular shape.*

*Technological and industrial automation have become indispensable tools to prevent and reduce production failures, simplify processes, increase productivity and competitiveness. This has contributed to the development and implementation of automated controls.*

*In this project we designed an algorithm to detect faults in the production line of a biscuit factory, identifying which products differ from the standard and calculating statistics about these failures. In order to test our algorithm, we used rectangular and triangular cookies.*

*The algorithm has been developed in MatLab; implementing several Digital Image Processing algorithms, MatLab performed pattern recognition and morphological analysis of parameters such as the cookies' size and geometric indicators. Throughout a graphical interface we can depict the final results either by cookie or as a batch, visually and interactively to the user.*

**Key words:** Shape recognition, Morphological analysis, Digital Signal Processing, MatLab.

## 1. Introducción

El procesamiento digital de las imágenes es de gran utilidad en la automatización de control de procesos, debido a que se puede develar y analizar características que otros procesos más sencillos no podrían, gran cantidad de imágenes en menor tiempo y extraer información relevante para mejorar procesos de producción.

MatLab es un software matemático robusto, en el que se puede trabajar con matrices de gran tamaño, desarrollar funciones, cuenta con módulos para el procesamiento de imágenes, y se puede crear interfaces de usuario; debido a esto fundamental para la implementación de este algoritmo.

En este documento se detallan los fundamentos teóricos, el cálculo de la métrica para verificar la geometría de las galletas, como se obtuvieron los parámetros estándar, la forma en que se trabajó con las imágenes, los resultados obtenidos y las recomendaciones basadas en las situaciones que se presentaron durante el desarrollo del proyecto.

## 2. Objetivos

- Analizar imágenes de galletas para detectar cuales no cumplen con el estándar de fabricación.
- Presentar gráficamente resultados del procesamiento de las imágenes.
- Diseñar un algoritmo que sirva de base para automatizar sistemas de control de calidad en industrias de galletas.

## 3. Reconocimiento de formas

Reconocer un objeto es asociarlo o identificarlo con un significado. Un sistema de reconocimiento de formas está constituido por representación e interpretación.

La representación consiste en preprocesar la imagen y parametrizarla para suprimir información redundante o inútil. Los objetos se pueden representar de dos formas:

- No estructurada, el objeto se representa por un conjunto de sub-objetos sin relación entre ellos.
- Estructurada, el objeto se representa por un conjunto de sub-objetos más un conjunto de relación entre ellos.

La interpretación comprende la comparación entre el objeto y un conjunto de formas predefinidas. Puede realizarse según los siguientes métodos:

### Método Geométrico

Basado en una representación no estructurada, los objetos son considerados de una pieza, donde los objetos se representan por una matriz y la forma se representa mediante una medida de similitud entre ellos y los objetos a reconocer.

Este método es muy útil para reconocer formas simples, cuando se tiene un número pequeño de formas separables mediante funciones discriminantes no complejas.

### Método Estructural

Se asume una representación estructurada de los objetos, por lo que el reconocimiento no solo debe basarse en el método de reconocimiento geométrico sino también en analizar la relación entre los objetos. Este método permite elaborar modelos más complejos de estructuras, y así obtener no solo la forma de cada objeto reconocido sino también una descripción de los sub-objetos de la estructura.

## 4. Morfología matemática

La morfología matemática se utiliza para la representación y descripción de formas de regiones de una imagen. En el procesamiento de las imágenes se puede eliminar ruido y simplificar datos mediante el filtrado morfológico.

La extracción de bordes o del esqueleto, la envolvente convexa, la reducción y ampliación sirven para destacar la estructura de objetos en la imagen.

Se puede obtener una descripción morfológica cualitativa de los objetos de la imagen, como: área, perímetro, diámetro.

## 5. Especificaciones y parámetros

Para el control de calidad de las galletas es necesario distinguir a que tipo de galleta corresponde la imagen en estudio con respecto a las imágenes de los moldes y cuan uniforme geoméricamente es la imagen, además de un margen de tolerancia respecto al tamaño final de la galleta.

### 5.1. Pre-procesamiento de la imagen

En la etapa de adquisición de las imágenes puede haber manchas de grasa y/o migajas de galletas, que son consideradas como información no deseada, por lo que en esta etapa se procede a suprimirlas.

Mediante el comando `bwareaopen` de Matlab, el cual permite remover de una imagen binaria objetos que sean menor a  $P$  píxeles, se eliminan los objetos irrelevantes para el análisis.

Debido al método empleado en la adquisición de las imágenes, que se explica más adelante, se encontró la manera de aislar el entorno y obtener imágenes sin ruido significativo, por lo que no se considera necesario el uso de filtros.

## 5.2. Coeficiente de Correlación

El coeficiente de correlación describe la intensidad de relación entre dos variables, puede tomar valores desde menos uno hasta uno, indicando lo siguiente:

- Mientras más cercano a uno (en cualquier dirección), más fuerte será la asociación lineal entre las dos variables;
- mientras sea más cercano a cero, más débil es la asociación entre ambas variables.
- Si es igual a cero, no existe relación lineal alguna entre las variables.

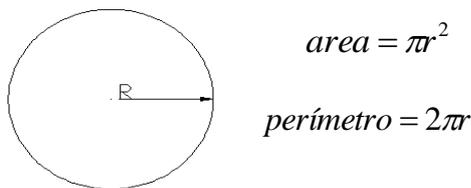
MatLab mediante el comando `corr2` permite calcular el coeficiente de correlación entre dos matrices o vectores del mismo tamaño, dando como resultado un valor que representa la igualdad entre dos matrices.

## 5.3. Métrica

Es un indicador, una relación entre el área y el perímetro, su valor está comprendido entre cero y uno, mientras más cercano a uno sea su valor, más perfecta geoméricamente será la galleta. Para realizar el cálculo de la métrica se requiere de la descripción morfológica de las regiones de la imagen.

El comando `regionprops` de MatLab proporciona las medidas de las propiedades de las regiones de la imagen, mediante el se obtiene el área, la cual representa el número de píxeles efectivos en una región. El perímetro se lo obtiene por el cálculo de la distancia entre cada par adyacente de píxeles alrededor del borde de la región.

Para las galletas de forma redonda, basado en las formulas de área y perímetro correspondientes:

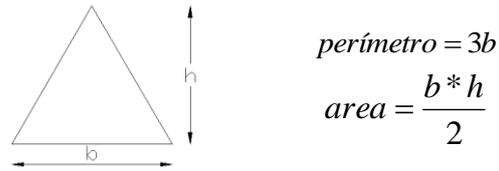


**Figura 1:** Forma redonda

Se obtiene como resultado la siguiente métrica:

$$métrica = 4\pi * \frac{área}{perímetro^2}$$

De igual manera para las galletas de forma triangular:



**Figura 2:** Forma triangular

Da como resultado, la siguiente fórmula:

$$métrica = \frac{36}{\sqrt{3}} * \frac{área}{perímetro^2}$$

Cabe recalcar que la métrica definida para las formas triangulares solo es válida para moldes triangulares equiláteros.

## 5.4. Margen de tolerancia

Debido a que el tamaño de los objetos de nuestro estudio varía, se requirió determinar una media del área de las galletas, así como también tamaño máximo y mínimo permitido para verificar que la galleta cumpla con el estándar.

Como resulta complicado determinar cuánto va a aumentar el tamaño de la galleta al momento de hornearse, se decidió realizar un muestreo de 30 galletas redondas. Se obtuvieron los siguientes valores respecto al área:

$$\begin{aligned} \mu AR &= 9522 \pm 10.85\% \text{ píxeles} \\ \mu AR_{min} &= 8485 \text{ píxeles} \\ \mu AR_{max} &= 10558 \text{ píxeles} \end{aligned}$$

Respecto a los valores de métricas obtenidos, se concluye que debido a que las galletas no tienen una masa homogénea no son perfectas geoméricamente, se decidió tomar como valor referencial 0.9. Por lo que se puede decir que si la métrica de las galletas redondas es mayor a 0.9 se consideran aceptables, caso contrario no cumplen con el estándar.

Como consecuencia de no tener un molde de galletas triangular, no se pudo realizar el muestreo respectivo para obtener valores de área, ni de métrica. Al analizar la figura que se utiliza como molde triangular se puede especificar como media de área, lo siguiente:

$$\begin{aligned} \mu AT &= 4000 \pm 5\% \text{ píxeles} \\ \mu AT_{min} &= 3800 \text{ píxeles} \\ \mu AT_{max} &= 4200 \text{ píxeles} \end{aligned}$$

El valor de la métrica triangular definido es de 0.95, debido a que su forma será casi perfecta y el valor de las métricas que se obtengan será cercano a uno.

Considerando la existencia de figuras de galletas triangulares que no sean equiláteras, en las que el resultado de la fórmula descrita en la sección anterior sea una cantidad mayor a uno, se ha establecido como métrica límite el valor de uno, el mismo que también se aplicara para las galletas redondas a fin de evitar incongruencias y manejar fórmulas estándar.

## 6. Desarrollo del proyecto

Durante el desarrollo del proyecto nos encontramos con varias dificultades para la adquisición de imágenes idóneas las cuales serían analizadas por el algoritmo desarrollado, estos inconvenientes fueron resueltos luego de haber realizado varias pruebas en diferentes entornos.

### 6.1. Preparación de las imágenes

Para la adquisición y reconocimiento de imágenes de galletas se eligió galletas redondas y triangulares debido a que son más fáciles de comparar. Las galletas triangulares están representadas por moldes de cartulina ya que no se pudo contar con un molde triangular para elaborar las galletas.

La evaluación de las galletas se realizó de la siguiente forma:

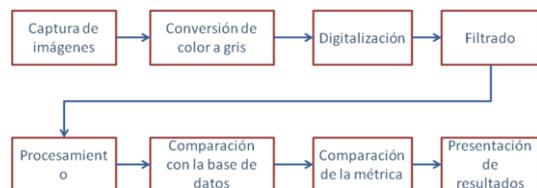


Figura 3: Flujo del desarrollo del proyecto

La primera etapa fue obtener galletas muestra para tener un grupo de galletas con defecto y otro grupo de galletas sin defecto, para un mejor panorama dadas las diferentes características de las fracturas y tomando en cuenta que entre una galleta y otra podría existir un margen de diferencia.

La segunda etapa fue la adquisición de la imagen con una cámara web, al momento de realizar la captura de las imágenes se debió tener en cuenta varios detalles para obtener imágenes óptimas.

Los problemas que se nos presentaron fueron la ubicación de la fuente de luz, la intensidad de la fuente, la ubicación de la cámara web, la ubicación de las galletas, y el fondo sobre el que estarían las galletas ya que todos estos factores influyeron en que las imágenes de las galletas tengan sombra y así se tome a la misma como un defecto en la galleta.

La forma de tomar las imágenes fue colocar la cámara web a 90cm de las galletas que se encontraban sobre una hoja de papel blanco con una iluminación blanca, esto resolvió el problema del fondo de las galletas, la fuente de luz y la ubicación de la cámara.



Figura 4: Adquisición de imágenes

Durante la captura de las imágenes se probó varias ubicaciones de la fuente de luz para evitar que se produzca sombra o la luz se descomponga en sus diferentes colores en el papel blanco, la solución fue iluminar en posición vertical pero con un pequeño ángulo de inclinación para evitar iluminar la cámara y que no genere sombra en el fondo blanco.

### 6.2. Manipulación de las imágenes

El desarrollo del algoritmo que se utilizó, se lo hizo en MATLAB, herramienta que nos permitió el análisis de las imágenes obtenidas utilizando la conversión de imágenes a matrices, la representación de datos y funciones, para finalmente mostrar los resultados a través de una interfaz gráfica diseñada en MATLAB.

El proceso que se realizó para analizar las imágenes empieza con el cambio de color a escala de grises de la imagen para guardarla en un arreglo *figuras*, desde donde se la llamará para realizar el respectivo análisis.

Se tiene además el arreglo *basegalletas* en el que constan: la figura de los moldes de la galleta redonda y triangular. Estas figuras son nuestras plantillas.

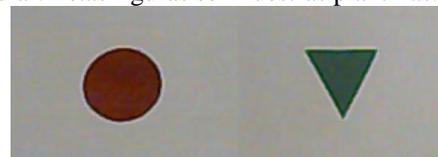


Figura 5: Basegalletas

Las imágenes que tenemos en el arreglo *figuras* se las toma una a una, luego se llama a la función de preparar imagen (*prepareim*) que pasa a la misma por un filtro que elimina las partes irrelevantes para el análisis como las migajas de las galletas y las manchas de grasa que se pudieran encontrar sobre nuestra base de papel blanco.

Luego se obtiene las propiedades de la figura que se está analizando, estas propiedades son el área y perímetro de la galleta.

Siguiendo el algoritmo, se llama a la función cortar, que toma la imagen y busca sus valores máximos y mínimos para limitarla y proceder a eliminar la información que se encuentra fuera de estos límites, de tal forma que entrega una figura en la que se observa solo la galleta, a esta figura se la redimensiona por medio del comando imresize, para obtener una imagen de 42x42.



Figura 6: Función recortar

Con la imagen delimitada procedemos a llamar a la función comparar, en la que se utilizan las figuras del arreglo *basegalletas* y la figura de la imagen que se encuentra en análisis para calcular el coeficiente de correlación, determinando así el tipo de galleta al que corresponde.

Según el tipo de galleta, se calcula la métrica de la figura, y se compara con los parámetros definidos. Luego de realizar la comparación, dependiendo si la figura de la galleta en análisis está dentro de los parámetros especificados, se procede a presentar gráficamente: el contorno de la galleta, se actualiza el valor del contador, y se almacenan estos datos en los arreglos *ResultadoTRI* para galletas triangulares y *ResultadoRED* para galletas redondas.

En los arreglos de resultado se introducen los valores de la correlación, el área, perímetro, métrica y test de la figura que está siendo analizada; test toma el valor de 0 cuando una galleta no pasa la prueba y 1 cuando una galleta pasa la prueba, estos valores sirven para realizar el cálculo de porcentaje de galletas que cumplen o difieren del estándar y luego poder ser presentados.

Los valores de los contadores se muestran gráficamente cuando se está analizando cada imagen y finalmente una vez que se analizan todas las imágenes deseadas muestra un resultado total.

A fin de que los resultados obtenidos puedan ser interpretados o analizados por usuarios o empleados de la fábrica de galletas, al seleccionar el botón Grafico de la interfaz grafica, se presentan los resultados de la siguiente manera:

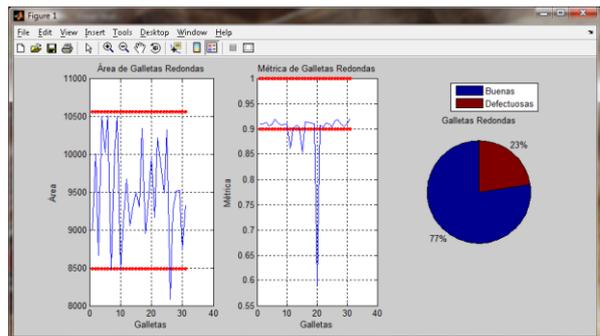


Figura 7: Gráfico de resultados de galletas redondas

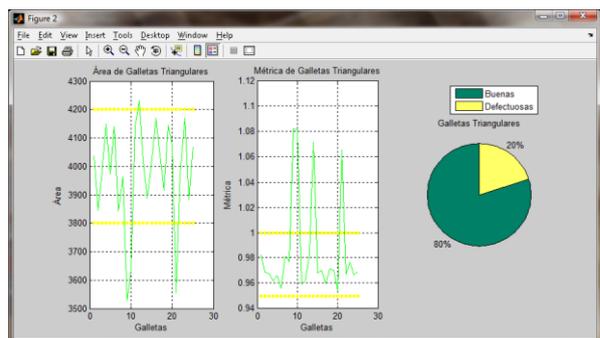


Figura 8: Gráfico de resultados de galletas triangulares

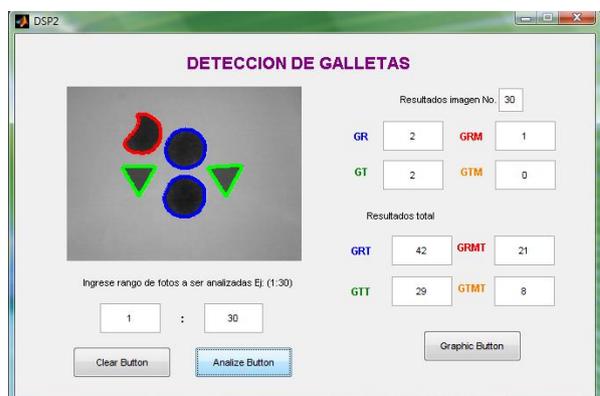


Figura 9: Presentación de resultados en interfaz de usuario

## 7. Funcionalidad del Programa

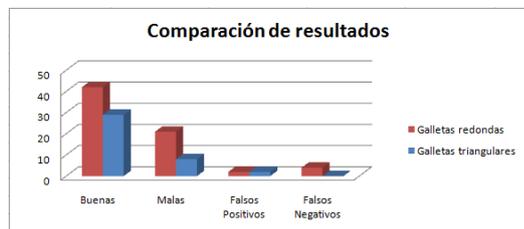
Para demostrar la eficiencia del algoritmo obtenido, se realizó un análisis de falsos positivos y negativos.

En el análisis se considera como: “Falsos positivos” cuando un observador indica que la galleta en análisis cumple con el estándar, pero el algoritmo muestra lo contrario; y viceversa para “Falsos negativos”.

A continuación se presentan los resultados obtenidos (Fig. 10 y 11) y su gráfico correspondiente:

Analisis / Resultados	Galletas redondas	Galletas triangulares	Total
Buenas	42	29	71
Malas	21	8	29
Falsos Positivos	2	2	4
Falsos Negativos	4	0	4

**Figura 10:** Resultados de análisis



**Figura 11:** Comparación de resultados

## 8. Conclusiones

1. El algoritmo diseñado en este proyecto realiza de manera eficiente el reconocimiento de formas de las galletas, ya que no hubieron casos en los que indique que una galleta redonda es triangular o viceversa.

2. Los datos de las características cualitativas de las galletas, obtenidos en la ejecución del algoritmo, son almacenados en registros y presentados gráficamente para que puedan ser analizados y contribuyan a tener un mejor control de los productos.

3. Al analizar la eficiencia del algoritmo se aprecia un 4% de falsos positivos, que puede ser minimizado con: la elaboración de las galletas triangulares y la obtención de valores reales de área y métrica; las galletas que son retiradas del proceso de producción se las puede emplear como materia prima para otros productos.

4. Se observa un 4% de falsos negativos correspondientes a las galletas redondas, esto se produce cuando la galleta tiene ligeramente achatada una parte del contorno y al realizar el análisis morfológico el valor de la métrica es mayor al definido en el estándar.

5. A futuro proyecto se deja la obtención de imágenes desde la banda transportadora de galletas mediante adquisición de video. Así como también la automatización de retirar las galletas que no cumplen con el estándar.

## 9. Recomendaciones

1. Aislar el entorno para la adquisición de las imágenes, de tal manera que se pueda evitar que en el fondo blanco se observe la descomposición de la luz blanca.

2. Agregar un filtro de acuerdo a características de la empresa en la que se vaya a implementar el algoritmo.

3. Realizar la adquisición de las imágenes a la misma altura para que la comparación concuerde con los parámetros especificados.

## 10. Referencias

[1] González Rafael, y Woods Richard, Tratamiento Digital de Imágenes, (USA, Co-publicación de Addison-Wesley Iberoamericana, S.A. y Ediciones Díaz de Santos, S.A., 1996).

[2] Hernández Tejera Francisco, y Lorenzo Navarro José, Reconocimiento de Formas: Clasificación y Aprendizaje, (España, Universidad de Las Palmas de Gran Canaria, Departamento de Informática y Sistemas, Monografía, 2002).

[3] Serra Jean, Image Analysis and Mathematical Morphology, Academic Press, 1982.

[4] Díaz-de-León Santiago, J.L. & Yáñez Márquez, C. (2003). "Introducción a la morfología matemática de conjuntos", Colección de Ciencia de la Computación, CIC-IPN-UNAM-FCE, México. ISBN: 970-36-0075-1. J.

[5] Anil K. Jain, Fundamentals of Digital Image Processing, Prentice Hall International, 1989.

[6] The Mathworks Inc., Regionprops, <http://www.mathworks.com/access/helpdesk/help/toolbox/images/regionprops.html>, 2009

---

Ing. Patricia Chavez  
Profesor de la Materia