

# INSPECCION AUTOMATICA DE IMPRESIONES SOBRE ENVASES CILINDRICOS EMPLEANDO VISION ARTIFICIAL

Guarnes Miguel Angel, Gellon Hector, Petrino Ricardo

Laboratorio de Electrónica, Departamento de Física.  
Facultad de Cs. Fís. Mat. Y Naturales Universidad Nacional de San Luis.  
Lavalle 1155 (5700) San Luis. República Argentina  
[mguarnes@unls.edu.ar](mailto:mguarnes@unls.edu.ar), [hgellon@unsl.edu.ar](mailto:hgellon@unsl.edu.ar), [rpetrino@unsl.edu.ar](mailto:rpetrino@unsl.edu.ar)

**PALABRAS CLAVE:** Procesamiento Digital de Imágenes, Visión Artificial, Template Matching, Inspección Visual Automática.

## 1. Resumen

La inspección visual en la industria consiste en la verificación de ciertos requerimientos técnicos o detección de defectos en un producto. Es, por lo tanto, un sistema de control de calidad sobre los productos.

La Inspección Visual Automática (SIVA) consiste en realizar una inspección de una característica concreta de un producto, utilizando una computadora ya sea para controlar directamente el proceso de producción o para determinar la calidad del producto.

El sistema de visión automática se basa en el uso de un sistema informatizado que realice la inspección visual, tomando luego las acciones adecuadas, como por ejemplo eliminar el producto de la línea de producción, o por medio de un sistema de control actuar sobre la causa del defecto para la corrección del mismo.

En este trabajo se presenta un Sistema de Inspección Automática diseñado para la inspección de impresiones sobre envases cilíndricos. En particular se ha aplicado el sistema a la inspección de impresiones sobre envases de tipo farmacéutico. Se describe la estructura del sistema, el proceso de captura de las imágenes, la reconstrucción de la impresión, y finalmente su inspección por comparación (Template Matching) con una imagen patrón.

## 2. Descripción del objeto a inspeccionar

La figura 1 muestra un envase de tipo farmacéutico en el cual se desea inspeccionar la calidad de su impresión por medio de la comparación con un envase patrón.



Figura 1. Imagen del envase a inspeccionar

Las características del envase y la impresión son las siguientes:

- Diámetro envase 32mm
- alto envase 60mm
- Característica mas pequeña a detectar en la impresión: 0.35 mm
- Dimensión rotulo:
  - ancho:  $h = \pi \text{ Diámetro} = 3.14 \times 32 \text{ mm} = 100.53 \text{ mm}$
  - alto:  $v = 60 \text{ mm}$
  - altura máxima impresión: 45 mm
- Color del envase: blanco
- Número de envases por minuto: 30 a 60

### 3. Diseño del sistema de visión

La figura 2 muestra el esquema del sistema de inspección diseñado. El sistema consta de cuatro cámaras progressive scan de resolución 640x480, las que están conectadas a dos placas digitalizadoras de imagen (frame grabber) Martox Corona 4. La detección de la presencia de los envases se realiza mediante un fotodetector ubicado antes de que los envases aparezcan en el campo de visión de las cámaras. Un codificador óptico rotativo (encoder) conectado a un temporizador/contador permite determinar el instante en que el envase se encuentra en el centro del campo de visión. Cuando el envase se encuentra en el centro del campo de visión, el contador envía un pulso de disparo a las placas digitalizadoras, las que envían los pulsos de inicio de captura de imagen a las cámaras. Una vez que las placas digitalizadoras adquieren las imágenes, las transmiten hacia una PC para su tratamiento. En la PC se ejecuta un algoritmo de reconstrucción, y posteriormente se compara la imagen reconstruida con una imagen patrón. Si la imagen del envase inspeccionado se rechaza, se debe accionar un eyector para expulsar el envase de la línea de producción.

El temporizador/contador cuenta la cantidad de pulsos desde el centro del campo de visión hasta el eyector (basándose en la velocidad de la cinta transportadora y del encoder).

La figura 2 muestra como se generan las señales de disparo de captura de imagen hacia los digitalizadores de imagen (frame grabbers) cuando el envase se encuentra en el centro del campo de visión, y el disparo hacia el eyector de envase en caso de que el envase sea rechazado.

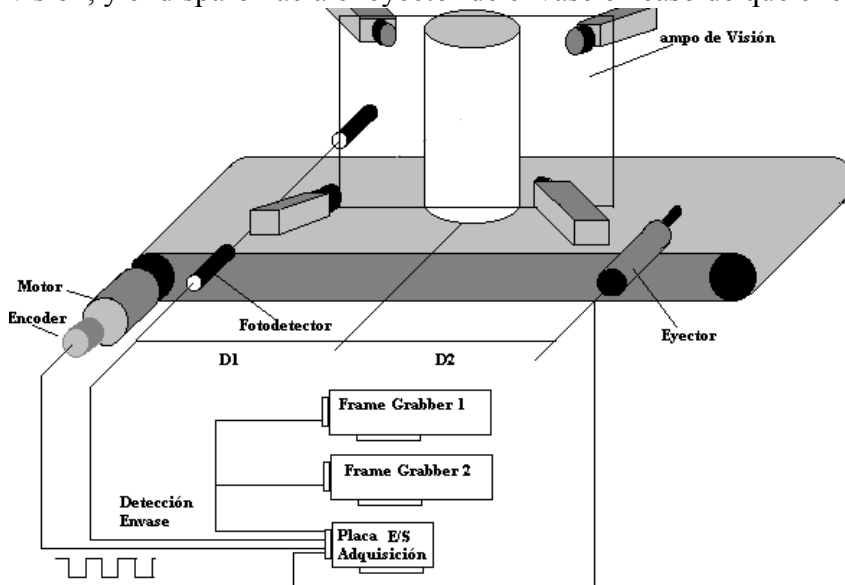


Figura 2. Sistema de Visión para la inspección de envases cilíndricos

#### 4. Captura de las imágenes parciales del envase

La figura 3 muestra las imágenes adquiridas por las cámaras



Imagen 1

Imagen 2

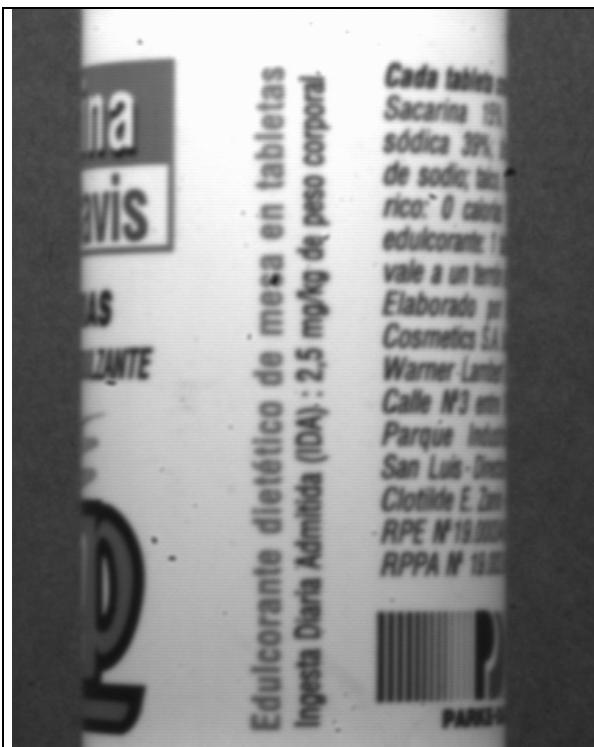


Imagen 3



Imagen 4

Figura 3 Imágenes capturadas por las cuatro cámaras

## 5. Reconstrucción de la impresión sobre el envase

La reconstrucción de la impresión consiste en la obtención de una imagen plana de la impresión, de igual tamaño y alineada con una imagen patrón a fin de permitir su comparación pixel a pixel.

La reconstrucción consta de las siguientes etapas:

- Seccionamiento: Consiste en separar el envase dentro de la imagen.
- Transformación de Aplanado: Conociendo la geometría del envase y del sistema de visión (distancia cámara-objeto) se aplica una transformación para obtener una imagen plana de la impresión
- Recorte de los bordes laterales. Los bordes laterales no se pueden aplanar correctamente debido a que sus pixels se encuentran en planos casi perpendiculares a la cámara. Esto hace que un área grande cercana a los bordes esté representada por una muy delgada franja en la imagen original. Por este motivo se recortan los 30° derecho e izquierda de la imagen.
- Unión de las imágenes para formar una impresión completa.
- Alineación de la imagen de la impresión con una imagen patrón.

### 5.1 Seccionamiento del envase en cada imagen adquirida

La figura 4 muestra el proceso de seccionamiento del envase.

Se implementan ventanas rectangulares pequeñas que se desplazan desde los bordes de la imagen hacia el centro. En cada posición se detecta la presencia del borde del envase por medio de la derivada del nivel de gris. El borde izquierdo presenta una derivada positiva pues se produce una transición de oscuro (fondo) a claro (envase), mientras que en el borde derecho la derivada es negativa en el borde del envase.

Esta detección se realiza en la parte superior e inferior del envase, y a una altura en la que no se encuentre ninguna impresión.

Con las posiciones de los bordes se obtienen las rectas laterales, y luego se determina el punto ( $e_1$ ,  $e_2$ ,  $e_3$ ,  $e_4$ ) en que dichas rectas cortan a la primer y última fila de la matriz imagen. Luego se trazan las rectas perpendiculares a los bordes, obteniéndose el paralelogramo  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$ ,  $p_4$ .

El cuadrilátero formado por los vértices  $p_1$ ,  $p_2$ ,  $p_3$  y  $p_4$  se transforman en un rectángulo por medio de una transformación geométrica (warping).

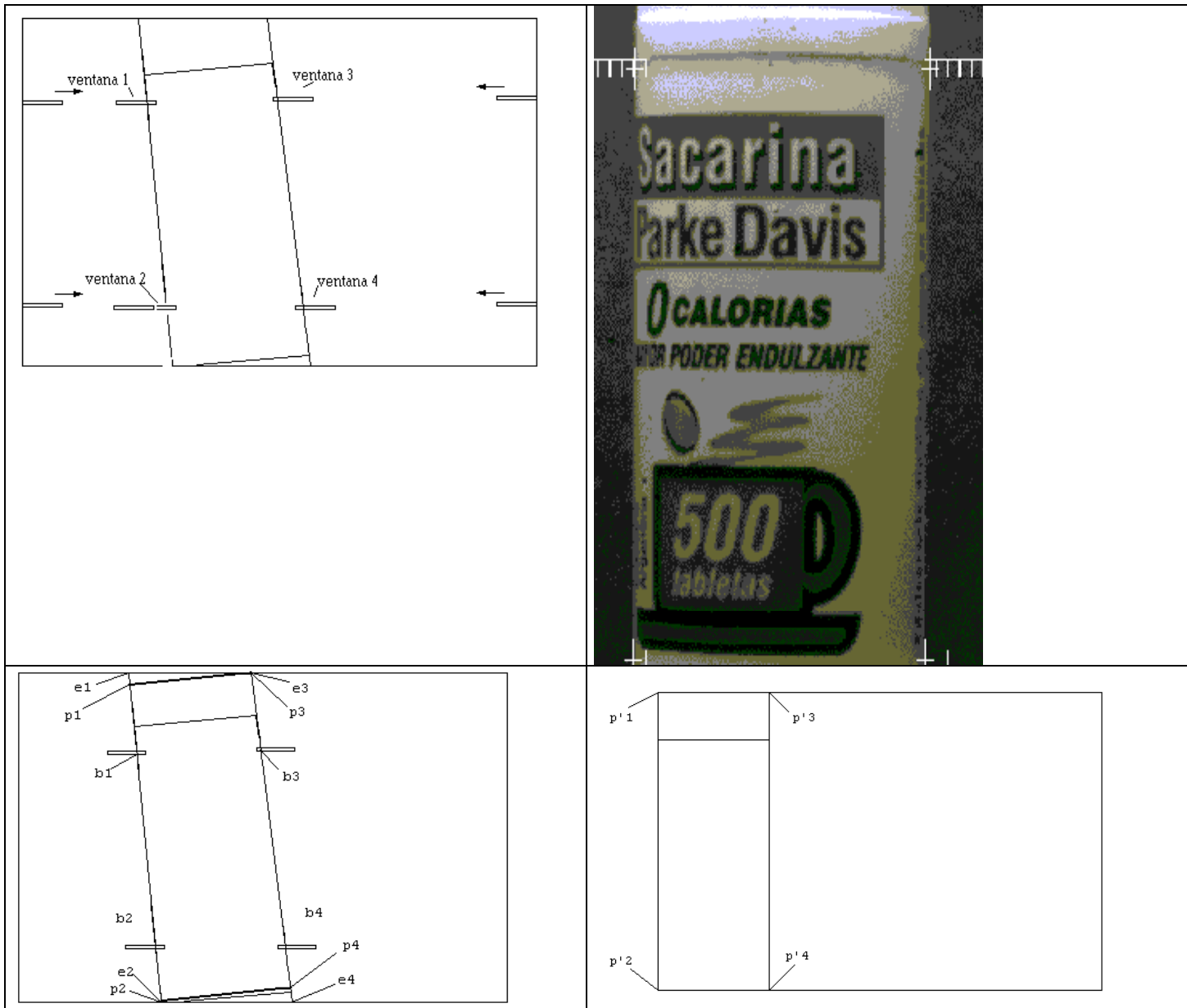


Figura 4. Proceso de seccionamiento del envase.

La figura 5 muestra el resultado de ejecutar el algoritmo de seccionamiento a las imágenes capturadas por las cuatro cámaras.



Imagen 1 seccionada

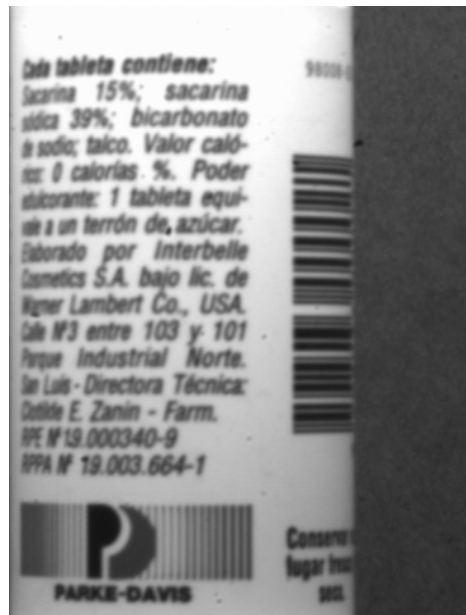


Imagen 2 seccionada

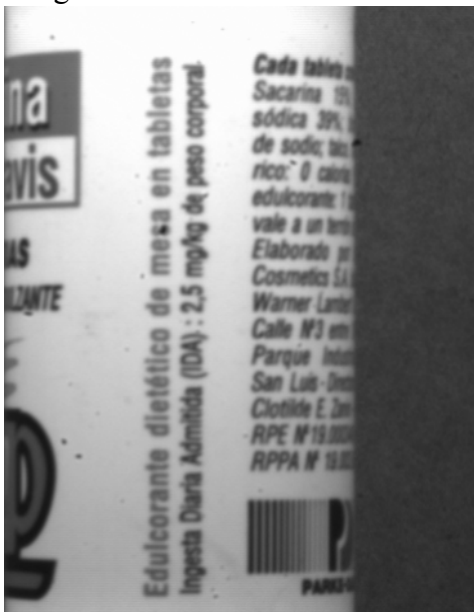


Imagen 3 seccionada



Imagen 4 seccionada

Figura 5 Seccionamiento de las imágenes capturadas por las cuatro cámaras.

## 5.2 Aplanado de la superficie cilíndrica del envase

Debido a la perspectiva de visión del envase desde la posición de la cámara, las imágenes de las rectas horizontales ubicadas por arriba y por debajo del eje óptico de la lente, serán curvas con forma de barril. Esto se debe a la diferencia de distancias cámara-objeto para cada punto.

- **Paso 1:**

Para cada pixel  $(x_{\text{imagen\_final}}, y_{\text{imagen\_final}})$  de la imagen final (aplanada), se determinan las coordenadas  $(x_{\text{imagen\_original}}, y_{\text{imagen\_original}})$  de la imagen original (imagen resultante del seccionamiento).

$$x\_imagen\_original = -radio(\cos(\theta)) \quad (1)$$

donde:

$$\theta = \Delta_{(\theta)}(coordenada\_x\_imagen\_final) \quad (2)$$

$$\Delta_{(\theta)} = \frac{\pi}{ancho\_imagen\_final} \quad (3)$$

Para determinar la coordenada y de la imagen original se precisa conocer la profundidad o distancia cámara-objeto de cada punto de la imagen final. Esto se obtiene a partir del ángulo  $\theta$  entre cada punto y el centro del envase.

$$y\_imagen\_original = \left[ \frac{alto\_envase}{2} \right] - (y\_aux) \quad (4)$$

donde:

$$y\_aux = \frac{DO}{DO + [radio\_envase(1 - \cos(\theta))]} (y\_f) \quad (5)$$

$$y\_f = -y\_imagen\_final + \frac{alto\_imagen\_final}{2} \quad (6)$$

DO: distancia desde la cámara hasta el envase expresada en milímetros

## • Paso 2

Las coordenadas (x\_imagen\_original, y\_imagen\_original) obtenidas pueden no ser coordenadas enteras.

Si al realizar el mapeo inverso, se obtiene que un pixel (x\_imagen\_final, y\_imagen\_final) de la imagen transformada (aplanada), proviene de un pixel de coordenada (x\_imagen\_original, y\_imagen\_original) de la imagen original (curva) no entera, se deberá aplicar una interpolación para determinar el nivel de gris de un pixel en esa coordenada.

Para efectuar esta interpolación se emplearán las coordenadas de los cuatro pixels vecinos a (x\_imagen\_original, y\_imagen\_original). Esta interpolación consiste en ajustar una superficie  $f(x,y,z)=f(x\_imagen\_original, y\_imagen\_original, \text{nivel de gris del pixel})$  que pase por los puntos vecinos. De esta forma el punto interpolado será el nivel de gris correspondiente al punto sobre la superficie cuyas coordenadas (x,y) sean (x\_imagen\_original, y\_imagen\_riginal).

### 5.2.1 Transformación inversa para el aplanado de la superficie cilíndrica del envase

La figura 6 muestra una de las imágenes aplanadas



Figura 6. Imagen de la impresión aplanada

## 6. Unión de las imágenes aplanadas

La impresión sobre el envase se adquiere mediante cuatro cámaras dispuestas a 90 grados entre sí. Cada una de las cámaras abarca un ángulo de 180 grados.

Las imágenes originales adyacentes están superpuestas en 90 grados.

Dado que a cada imagen se le recortan 30 grados laterales, cada imagen cubre un ángulo de 120°, y el ángulo de superposición final entre imágenes adyacentes es de 30 grados.

Para obtener una imagen plana de la impresión completa se unen en primer lugar las imágenes aplanadas Imagen2-Imagen1. Luego se une Imagen3 a la izquierda, y finalmente Imagen4.

Para unir dos imágenes se seleccionan dos sectores rectangulares o motivos (uno en la parte superior y otro en la inferior) en la parte derecha de la imagen situada a la izquierda de la unión y se la busca en una ventana rectangular (de mayor tamaño que el motivo) en la parte derecha de la imagen situada a la derecha de la imagen. Se unen las imágenes contemplando los puntos de coincidencias de los motivos en ambas imágenes (coordenada superior izquierda de la posición en que se encuentra el motivo). Para encontrar la posición del motivo en una ventana se aplica Template Matching por correlación normalizada. Esta técnica se describe en el punto 8 (Inspección de la Impresión).

La imagen que se obtiene de unir Imagen4-Imagen3-Imagen2-Imagen1 abarca 390 grados, es decir que la parte izquierda y derecha se repiten. A fin de eliminar la parte repetida, se seleccionan dos motivos (uno en la parte superior y otro en la inferior) en la parte izquierda de la imagen y se los busca en ventanas ubicadas a la derecha de la imagen. Los puntos en que se encuentran los motivos determina la posición de corte.

Si bien con tres cámaras para capturar completamente la impresión sobre un envase cilíndrico, la reconstrucción puede fallar por alguna de las siguientes causas. Si el envase posee una franja vertical sin impresión en la zona donde se efectuar la unión, no se puede efectuar la unión de forma correcta.



En segundo lugar, si el motivo escogido en la parte izquierda de una imagen no posee información que pueda discriminarse de forma única, es decir que el motivo puede encontrarse en más de una posición dentro de la ventana de búsqueda, la unión puede ser incorrecta.

Con cuatro cámaras se incrementa el ángulo de superposición entre imágenes adyacentes evitando los problemas anteriores. Por esta razón se emplean cuatro cámaras.

## 7. Alineación con la imagen patrón

Para alinear la imagen reconstruida se selecciona un motivo en la imagen patrón cuyas coordenadas superior izquierda se conocen. Este motivo se busca en la imagen reconstruida practicando ventanas de búsqueda que se irán desplazando desde la izquierda hacia la derecha de la imagen. La diferencia entre las coordenadas del motivo encontrado y del motivo en la imagen patrón determinan la transformación de traslación y rotación que se debe aplicar a la imagen reconstruida.

## 8. Inspección de la impresión

Para la inspección de la impresión se aplica Template Matching por medio de correlación normalizada. Se divide la imagen patrón en sectores de interés (motivos).

La impresión reconstruida de cada envase a inspeccionar se divide en ventanas de búsqueda de un tamaño mayor que los motivos seleccionados en la imagen patrón. En cada ventana se busca la posición en que se encuentra el motivo correspondiente. Esto se realiza desplazando el motivo dentro de la ventana y evaluando un índice de similitud hasta encontrar el valor máximo.

Se emplean Template Matching por correlación normalizada dada por el índice  $r$  de la ecuación 7.

$$r = \frac{N \sum IM - (\sum I) \sum M}{\sqrt{[N \sum I^2 - (\sum I)^2] [N \sum M^2 - (\sum M)^2]}} \quad (7)$$

donde

M: modelo o imagen patrón de la impresión

I: Imagen de la impresión a inspeccionar

N: Numero de pixels del modelo o patrón

Las sumatorias se realizan sobre todos los pixels en los que se superponen el motivo de la imagen patrón y el sector de igual tamaño de la ventana de búsqueda.

Dado que no nos interesan los valores negativos de  $r$ , se recorta el resultado a cero.

Se emplea el valor de  $r^2$  en lugar de  $r$  para evitar la raíz cuadrada. Finalmente, el resultado se convierte en un porcentaje, donde 100 % representa un match perfecto. Por lo tanto, el índice de match empleado es realmente

$$Score = (100\%) \max(r, 0)^2 \quad (8)$$

Para inspeccionar la impresión se seleccionan motivos de inspección en la imagen patrón y se definen índices mínimos de aceptación para cada uno. Los valores de los índices de aceptación seleccionados están en el rango de 85 a 92. Esto se determina de forma experimental hasta obtener una clasificación eficiente.

Para cada motivo en la imagen reconstruida de cada envase se determina el índice "Score". Si algún motivo no supera el índice de aceptación definido, se rechaza el envase.

La figura 7 muestra la imagen patrón y los motivos de inspección.



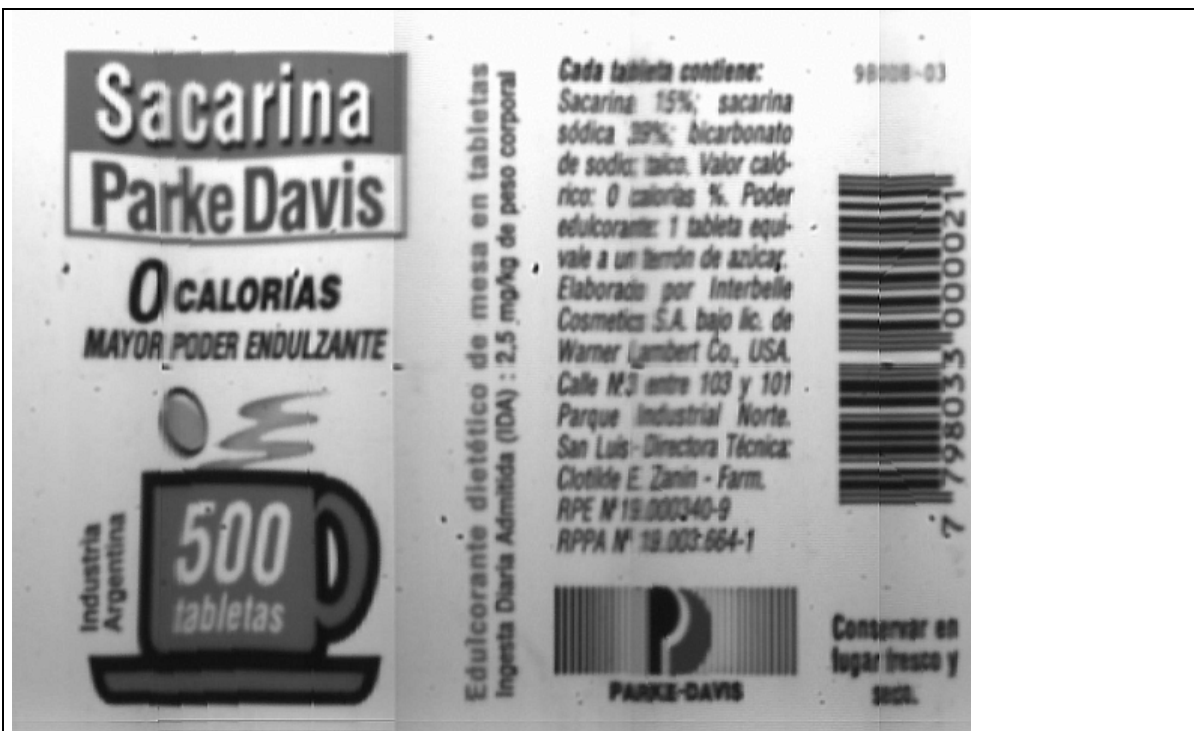
Figura 7. Imagen patrón y motivos a inspeccionar en la impresión de cada envase

La figura 8 muestra algunos de los resultados de inspeccionar impresiones con diferentes tipos de fallas.



**Envase 4** Texto “Mayor poder endulzante” manchado. Texto indicaciones con rayaduras

**RECHAZADO** El motivo 5 (Incluye texto “Mayor poder”) no supera el índice mínimo de aceptación



**Envase 10** Parte izquierda succionada

**RECHAZADO:** No se puede alinear su imagen con la imagen del envase patrón. No se puede encontrar el motivo “Sacarina ...” que se emplea para alinear las imágenes

Figura 8: Ejemplos de impresiones inspeccionadas

## 9. Conclusiones

El sistema de visión y el algoritmo de inspección se probaron con un número elevado de envases con diferentes fallas de impresiones. Los índices de aceptación mínimo se fueron ajustándose en forma experimental hasta lograr una correcta clasificación de los envases.

El sistema es muy eficiente para inspeccionar imágenes pues realiza la comparación píxel a píxel con la imagen patrón. El inconveniente que presenta es el elevado costo computacional debido a que el número de comparaciones se eleva con la resolución de la imagen.

## 10. Referencias

1. Campoy Pascual y Dominguez Sergio  
Doctorado Visión por Computador y Robótica  
Curso: Fundamentos de Visión por Computador  
Universidad Politécnica de Madrid  
Departamento de Automática, Ingeniería Electrónica e Informática Industrial  
Grupo: Visión por Computador
2. Gonzalez Rafael C. and Woods Ricahrd E.  
Digital Image Processing (pág. 583 "Matching by correlation")  
Addison Wesley  
1992
3. Guarnes Miguel Angel, Petrino Ricardo, Gellon Hector  
Inspección Visual Automática de impresiones multinivel utilizando patrón único  
AADECA 2000 - Argentina
4. Matrox Imaging Library  
Version 6.1  
Command Reference  
Marzo 2000
5. Matrox Imaging Tutorial  
Camera Interface Guide  
<http://www.matrox.com/imaging>
6. Perry West  
High Speed, Real Time Machine Vision  
Automated Vision Systems Inc.  
CyberOptics Hama Sensors – Imagenation Vision  
[www.autovis.com](http://www.autovis.com)  
[www.imagenation.com](http://www.imagenation.com)
7. Perry West  
A roadmap for building a machine vision system  
Automated Vision Systems Inc. [www.autovis.com](http://www.autovis.com)  
Imagenation Corp [www.imagenation.com](http://www.imagenation.com)
8. Wolberg George  
Digital Image Warping  
IEEE Computer Society Press  
1990