

Centro de Investigaciones en Óptica A. C.



**SISTEMA ÓPTICO PARA IDENTIFICACIÓN DE
DEFECTOS DE PRODUCTOS EN UNA LÍNEA DE
PRODUCCIÓN**

Tesis presentada por:

Ing. Carlos Froylan Díaz Vázquez

**Para obtener el grado de Maestría en
Optomecatrónica**

Asesor

Dr. David Moreno Hernández

León, Guanajuato, Febrero 2012

AGRADECIMIENTOS

Agradezco al CONACYT por el apoyo para realizar mi maestría, de igual manera agradezco al Centro de Investigaciones en Óptica por todo su apoyo y asesoría para realizar mi maestría de la mejor manera, agradezco también a todos los Doctores que apoyaron mi proyecto y creyeron en mi para la realización del mismo.

Agradezco infinitamente a mis asesores por su apoyo a todo momento a lo largo de este proyecto y su grandiosa amistad.

Agradezco con todo el corazón a todos mis compañeros que durante todo este tiempo me brindaron el apoyo para la finalización de mi proyecto.

Finalmente agradezco a mi familia por su apoyo incondicional en todos los sentidos, les dedico este éxito de mi vida porque siempre me han apoyado en todas mis metas e ideales.

¡¡¡GRACIAS!!!!

Resumen

Sistema óptico para identificación de defectos de productos en una línea de producción

Nuestra motivación principal para la realización de este proyecto es abrir un área de oportunidad y de competitividad a los estudiantes mexicanos del área de optomecatrónica. En esta tesis se muestra la importancia que tiene el proceso de inspección de productos generados en la industria. Principalmente, debido a la necesidad que nos provoca el mundo globalizado actual, el cual genera una gran competitividad entre empresas. Dichas empresas están siendo obligadas a ofrecer diferentes atributos para obtener mayor número de clientes. Algunos de estos atributos dan origen a mi proyecto de tesis el cual se basa en la inspección de la producción en línea. Este tipo de servicios en su mayoría los ofrecen empresas extranjeras, esto provoca la importación de este tipo de ayudas lo cual implica un alto costo a las empresas y un déficit de empleos para personal especializado de nuestro país. Es por esto que nosotros buscamos ofrecer las mismas soluciones que esas empresas extranjeras pero con un tiempo de respuesta y costo menores.

Este proyecto esta basado en resolver un problema específico de inspección dentro de una línea de producción. La intención es alcanzar la evaluación total de los productos para que de esa forma se convierta en un atributo que le de confianza al cliente de tener un producto de calidad. A diferencia de como se maneja en la actualidad, en la que se hace la producción por lotes y de cada lote se saca un muestreo, para posteriormente hacerle las pruebas de calidad requeridas para comprobar que efectivamente cumplen con los estándares establecidos y de esa manera establecer que el lote completo del producto es apto.

El trabajo presentado en esta tesis se basa en la inspección automatizada por medios ópticos. Se busca que el sistema óptico derivado de esta tesis forme parte de un sistema automatizado de control de calidad. El objetivo es detectar en una línea de producción un producto defectuoso, en particular trabajaremos con latas con golpes o defectos en la impresión. El sistema óptico que utilizamos en esta tesis nos permite examinar completamente la superficie cilíndrica de latas de aluminio usadas por refrescos. Es importante mencionar, que este proyecto puede se aplicado para inspeccionar otra clase de productos.

Contenido

Agradecimientos	ii
Resumen	iii
Palabras claves	vi
Abreviaturas	vi
Sinónimos	vi
Lista de figuras	vii
Lista de tablas	xi
Lista de símbolos	xii
1 Introducción	
1.1 Objetivo y justificación	1
1.2 Antecedentes	6
2 Fundamentos teóricos	
2.1 Introducción	10
2.2 Método SVD	10
2.3 Herramientas de Procesamiento Digital de imágenes	12
2.3.1 Binarización.	12
2.3.2 Segmentación	13
2.3.3 Correlación	14
3 Comparación de métodos	
3.1 Introducción	16
3.2 Aplicación de SVD	16
3.3 Aplicación de correlación	27
3.4 Comparación entre SVD y Correlación	31

4	Desarrollo experimental	
4.1	Introducción	33
4.2	Método experimental	33
4.3	Binarización y segmentación de imágenes	34
4.4	Redimensionando las imágenes	37
4.5	Desenvolvimiento de la lata	39
4.6	Ordenamiento de la imagen	43
5	Resultados experimentales	
5.1	Introducción	46
5.2	Resultados obtenidos	46
5.3	Conclusiones y trabajo a futuro	50
	Referencias	51
	Plan de de negocios	54

Palabras claves

Visión, automatización, industria, calidad, garantía.

Abreviaturas

OVS (Optic Vision System)

CVS (Computer Vision System)

SVD (Singular Value Descomposition)

PDI (Procesamiento Digital de Imágenes)

Sinónimos

Visión computarizada, visión robótica, automatizaciones con sistemas autónomos.

LISTA DE FIGURAS

- 1.1 Falla en el sellado de latas
- 1.2 Fallas en tapas de aluminio
- 1.3 Embalaje completo
- 1.4 Defectos en envases de productos
- 1.5 Esquema general de los sistemas de inspección por visión
- 1.6 Diagrama de flujo de un sistema de inspección general
- 1.7 Diagrama de áreas de aplicaciones de los sistemas de visión
- 1.8 Diagrama de secciones de las aplicaciones industriales
- 2.1 Ejemplo de un Histograma (Cantidad de píxeles vs. valor de píxel)
- 2.2 Direcciones de conectividad
- 2.3 Ejemplo de segmentación
- 3.1 Comparación entre objetos sin defecto con variación de intensidad
- 3.2 Figura. A) valor singular imagen patrón, B) valores singulares imagen con defecto.
- 3.3 Comparación entre valores singulares de ambas imágenes (patrón y con defecto)
- 3.4 Bloques elementales de patrón y objeto sin defecto. A) Bloques elementales 1 y 2 , B) Bloques elementales 3 y 4 , C) Bloques elementales 5 y 6, D) Bloques elementales 7 y 8 E) Bloques elementales 9 y 10, F) Bloques elementales 11 y 12
- 3.5 Suma de valores singulares individuales
- 3.6 Reconstrucción de imagen original sumando bloques elementales
- 3.7 Comparación entre patrón y lata con defecto

- 3.8 Figura A) valores singulares imagen patrón, B) valores singulares imagen con defecto
- 3.9 Comparación entre valores singulares de ambas imágenes (patrón y con defecto)
- 3.10 Figura A) comparación de bloques elementales 1 y 2, B) comparación de bloques elementales 3 y 4, C) comparación de bloques elementales 5 y 6, D) comparación de bloques elementales 7 y 8
- 3.11 Suma de valores singulares de ambas imágenes con respecto a la imagen total
- 3.12 Reconstrucción de ambas imágenes sumando valores singulares del 1 al 8
- 3.13 Error entre los valores singulares
- 3.14 Error entre bloques elementales
- 3.15 Gama de latas con defecto y lata patrón (una lata patrón y tres latas con defectos diversos)
- 3.16 Valores singulares de cada imagen. A) Patrón vs. primera imagen, B) patrón vs. segunda imagen, C) patrón vs. tercera imagen.
- 3.17 Gráfica logarítmica de la comparación entre bloques elementales, A) Patrón vs. primera imagen, B) patrón vs. segunda imagen, C) patrón vs. tercera imagen.
- 3.18 Gráfica de comparación entre valores singulares, A) Patrón vs. primera imagen, B) patrón vs. segunda imagen, C) patrón vs. tercera imagen.
- 3.19 Gráfica del error entre imágenes. A) Patrón vs. primera imagen, B) patrón vs. segunda imagen, C) patrón vs. tercera imagen.
- 3.20 Imagen original sin defecto extrayendo ventana de correlación.
- 3.21 Resultado de coeficientes de correlación
- 3.22 Imagen del objeto defectuoso
- 3.23 Coeficientes de correlación del objeto defectuoso

- 4.1 Arreglo propuesto con espejos
- 4.2 Imagen adquirida con iluminación frontal
- 4.3 Imagen binarizada
- 4.4 Matrices recortadas de imagen original
- 4.5 Imagen redimensionada en el eje x
- 4.6 Imagen redimensionada en el eje y
- 4.7 Interpretación geométrica
- 4.8 Análisis ángulo vs. Posición de cámara digital (CCD)
- 4.9 Grafica para reconstrucción de la forma curva de la lata
- 4.10 Imagen original en 0 grados
- 4.11 Imagen redimensionada en 0 grados
- 4.12 Imagen original en 120 grados
- 4.13 Imagen redimensionada en 120 grados
- 4.14 Imagen original en 240 grados
- 4.15 Imagen redimensionada en 240 grados
- 4.16 Imagen patrón
- 4.17 Imagen revuelta obtenida
- 4.18 Gráfica resultante de la ecuación
- 4.19 Imagen final reacomodada
- 4.20 Imagen patrón general
- 4.21 Imagen adquirida desorganizada

4.22 Imagen adquirida organizada

5.1 Imagen patrón

5.2 Objeto con un rayón, amplificación del rayón

5.3 Objeto con defecto en la impresión, amplificación del defecto

5.5 Errores en los valores singulares para las latas analizadas.

5.6 Mensaje mostrado aprobatorio

5.7 Mensaje mostrado rechazado

LISTA DE TABLAS

Tabla 3.1 Resultados obtenidos utilizando SVD

Tabla 3.2 Comparación entre métodos

LISTA DE SIMBOLOS

- $M = U \Sigma V^*$

Donde:

M = matriz resultante

U = matriz unitaria

Σ = matriz diagonal

V^* = transpuesta de la matriz unitaria V

- $M_n = U_{(1:m,n)} \Sigma_{nn} V_{(1:n,n)}^*$

Donde:

M_n = Bloque elemental

$U_{(1:m,n)}$ = Vector columna

Σ_{nn} = Valor singular

$V_{(1:n,n)}^*$ = Transpuesta del vector columna V

- $M = \sum_{n=1}^L M_n$

Donde:

M = Matriz resultante

L = Numero total de bloques elementales

Σ = sumatoria

M_n = Bloque elemental

- $E_n^A = |M_n^{sd} - M_n^{cd}|$

Donde:

E_n^A = Error entre bloques elementales

M_n^{sd} = Bloque elemental del objeto sin defecto

M_n^{cd} = Bloque elemental del objeto con defecto

- $E^S = \sum_1^L |\Sigma_n^{sd} - \Sigma_n^{cd}|$

Donde:

E^S = Error entre valores singulares

Σ_n^{sd} = Valores singulares del objeto sin defecto

Σ_n^{cd} = Valores singulares del objeto con defecto

- $$\gamma(u, v) = \frac{\sum_{x,y} [f(x, y) - f(u, v)] \cdot [t(x - u, y - v) - t]}{\left\{ \sum_{x,y} [f(x, y) - f(u, v)]^2 \cdot \sum_{x,y} [t(x - u, y - v) - t]^2 \right\}^{0.5}}$$

Donde:

$\gamma(u, v)$ = El coeficiente de correlación

$f(x, y)$ = Imagen original

t = Ventana de correlación.

Capítulo 1

Introducción

1.1 Objetivo y justificación

Para comenzar con este trabajo de tesis es necesario entender lo que buscamos alcanzar como objetivo. En primer lugar tenemos como objetivo primordial obtener una solución favorable y fiable para el problema encontrado en la industria alimenticia, dicha solución debe cumplir con las expectativas de la empresa y aun ir mas allá buscando competir contra empresas transnacionales en eficiencia, tiempo de respuesta y costos. Como consecuencia de este objetivo encontramos nuestro segundo objetivo el cual es crear un vínculo de confianza con la industria para hacerles ver que en México también pueden encontrar respuesta a su problemática con la seguridad de un sistema confiable y de alta calidad.

La solución propuesta en este proyecto es principalmente para las empresas que producen en línea, pero se puede aplicar a la mayoría de empresas siempre y cuando no sea de producción artesanal. La inspección a realizar depende directamente con la empresa, ya que ellos nos dicen cuáles son los parámetros visuales que desean inspeccionar en sus productos así como la tolerancia permitida, la mayoría de las veces se supone que los parámetros a inspeccionar van ligados directamente con el control de calidad.

La idea del proyecto nace al observar que algunas empresas tienen velocidades muy altas en la línea de producción. Si a esto agregamos que la mayor parte del tiempo, el operador de la maquinaria de producción se dedica a verificar que los procesos de producción estén funcionando satisfactoriamente, es decir, el esta fungiendo como sistema de inspección, y al mismo tiempo opera la maquinaria; estos dos factores en conjunto hacen que el personal no sea capaz de observar que todos los productos generados cumplan con el estándar de calidad, sino solamente elementos aislados, por lo tanto cuando el operador observa alguna falla dentro de la línea producción, lo más probable es que haya más defectos en otros de los productos que no se sometieron a una inspección.

Buscamos estandarizar los parámetros de calidad dentro de la industria debido a que la inspección de calidad se hace de manera visual por empleados y de una manera aleatoria, al estandarizar el proceso de control de calidad usando algoritmos y sistemas computacionales, evitamos el error de apreciación del operador, pues los reflejos de éste se ven afectados por el cansancio, estado de ánimo y agudeza visual. Usando sistemas de inspección automatizados la calidad del producto puede evaluarse más eficientemente, permitiendo que el sistema inspeccione y evalúe realmente la calidad del producto.

Es por esto que en esta tesis trabajaremos en el laboratorio para buscar un arreglo óptico que pueda formar parte de un sistema automatizado de control de calidad. De esta manera, con el sistema de visión, al primer producto que presente una falla o defecto, el sistema le avisaría al operador para que haga los ajustes pertinentes evitando el desperdicio de producto.

Durante algunas visitas realizadas a las industrias encontramos diferentes áreas de oportunidad para la aplicación de este proyecto, de las cuales destacaron las cuatro siguientes:

1.- **Falla en el sellado de latas.** En una sección de la línea de producción se introduce el producto dentro de una lata y posteriormente se sella la lata, el sellado debe ser a alto vacío ya que el producto que se introduce es de grado alimenticio por lo cual es obligatorio que no contenga aire dentro del recipiente para evitar el crecimiento de bacterias u hongos. La inspección del proceso de sellado apropiado de las latas se puede llevar a cabo usando un sistema óptico. Esto puede hacerse de la siguiente manera: una línea de luz láser se proyecta sobre la tapa de la lata donde sería reflejada hacia una cámara digital, donde se capturarían las imágenes y por medio de algoritmos computacionales se reconstruiría la forma de la tapa, una vez reconstruida la superficie nos daríamos cuenta si quedó la lata sellada al alto vacío o si no se selló completamente, esto sería detectable al reconstruir la superficie ya que la pendiente de dicha superficie nos daría la información necesaria para evaluar el estado del sellado (ver figura 1.1).

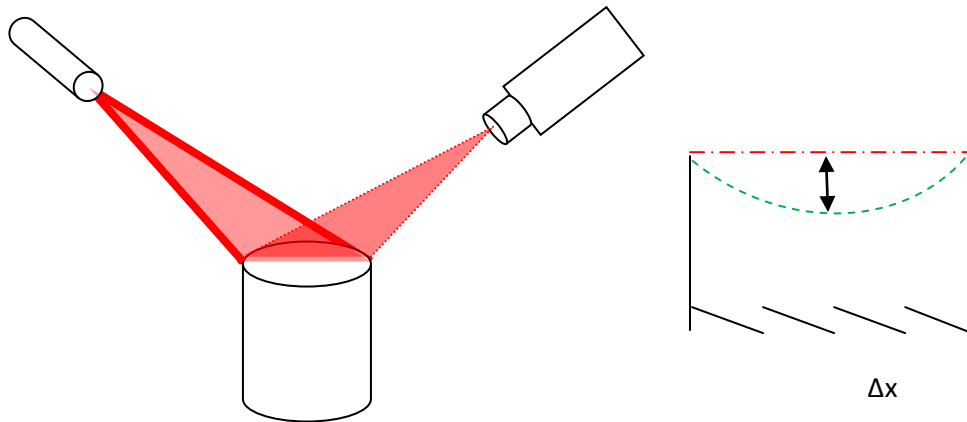


Figura 1.1 Falla en el sellado de latas

2.- **Fallas en tapas de aluminio.** En otra sección de la línea de producción se forman unas tapas de aluminio que son delgadas y blandas, las cuales en algunas ocasiones salen dañadas o rayadas. Para detectar estas fallas se puede instalar un sistema óptico que consiste de una cámara colocada en la parte superior de la máquina de troquelado, donde se recortan las tapas para observar cuales tapas están dañadas y de esta manera extraerlas de la línea de producción (ver figura 1.2).

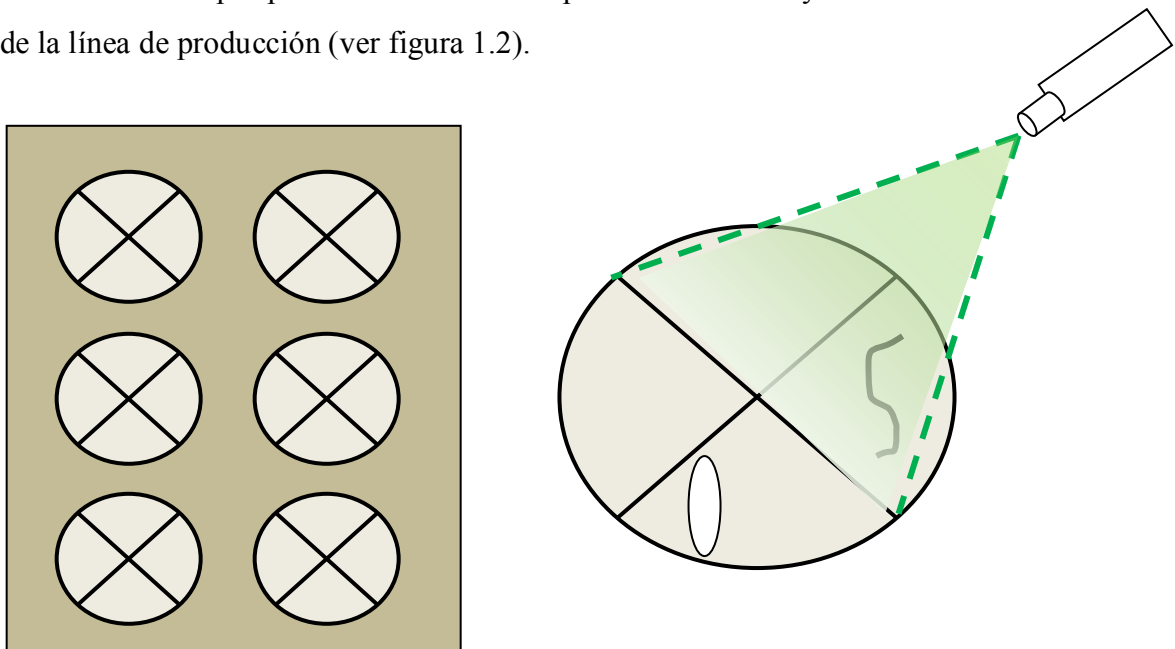


Figura 1.2 Fallas en tapas de aluminio

3.- **Embalaje completo.** En el departamento de embalaje se ubico un área de oportunidad, ya que ubicamos un punto en la línea de producción donde podría utilizarse un sistema óptico para contar unas cajas con producto y saber cuando la estiba esta completa según el tamaño de la caja y cantidad de cajas. Una vez que la estiba esta completa mandar accionar un sistema mecánico para introducir la estiba completa a la caja de embalaje.

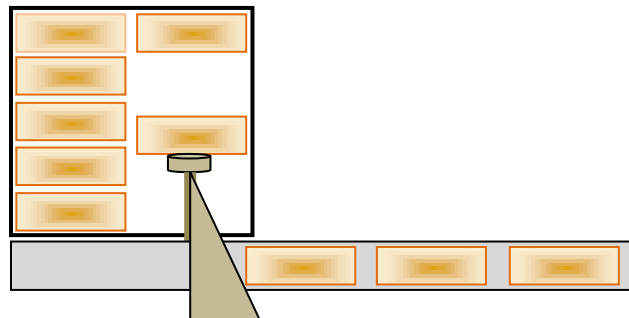


Figura 1.3 Embalaje completo

4.- **Defecto en envase de producto.** En otra sección de la línea de producción, tenían el problema de que al no saber con certeza la calidad de la lata, esta entraba al proceso de llenado y hasta que estaba llena se daban cuenta de la calidad. Esto provoca un desperdicio innecesario y podría solucionarse colocando una cámara situada de frente a la lata, para extraer la información de las condiciones de la lata al compararlas numéricamente con el modelo de una lata ideal, y según el resultado, enviar una señal a un sensor para que ejecute la tarea de permitir el paso de la lata o extraerla de la línea de producción.

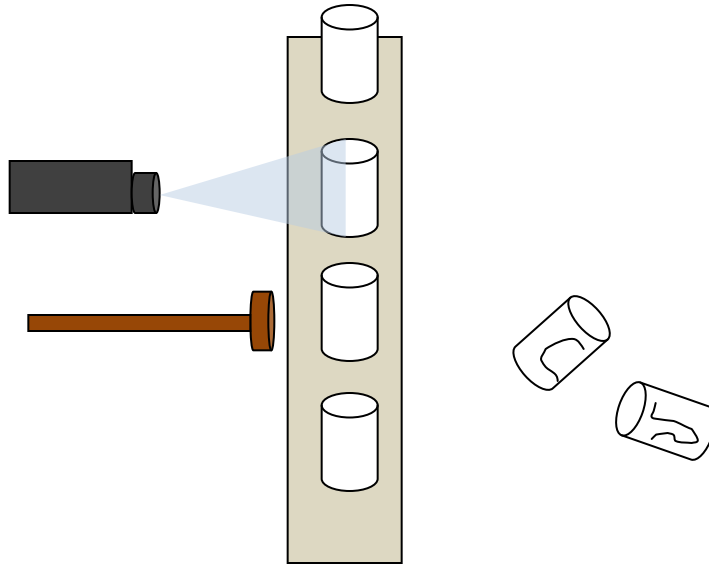


Figura 1.4 Defectos en envases de productos

En base a las áreas de oportunidad mencionadas en los párrafos anteriores, en esta tesis decidimos detectar fallas en envases comunes, nos basaremos en golpes de latas así como errores en la impresión de las mismas. El objetivo es detectar y desechar en una línea de producción una lata golpeada o defectuosa de la impresión antes de que ésta pase al proceso de llenado de producto.

Para poder inspeccionar las latas completamente tendrían que usarse tres cámaras, sin embargo sería un sistema de inspección costoso. Para reducir costos se propone en este proyecto usar una sola cámara y un par de espejos que nos permitan analizar las latas en su totalidad. En los siguientes capítulos se dará detalle del sistema óptico utilizado en este trabajo.

La manera en que realizaremos la inspección consiste en comparar el objeto en análisis (producto de la línea de producción) contra un objeto patrón, generalmente esta tarea se realiza utilizando la herramienta computacional llamada correlación. Esta herramienta ha sido muy utilizada en áreas tales como reconocimiento de objetos [1], detección de rostros [2] e inspección en la industria [3]. Sin embargo, el método mencionado invierte mucho tiempo computacional en su análisis y puede ser de poca utilidad en algunas aplicaciones industriales. Por lo que en esta tesis, utilizaremos la herramienta matemática conocida como descomposición de valores singulares (Inglés-Singular Value Decomposition-SVD) [4]. Esta herramienta ofrece un método sensible y eficiente para detectar diferencias en la comparación de dos patrones de forma

eficiente. En el capítulo dos daremos una breve introducción de este método y la manera en que lo utilizaremos como medio de inspección.

NOTA: los proyectos a continuación descritos fueron analizados y las sugerencias de cómo resolver el problema fueron analizados en las instalaciones del CIO sin relación con las industrias visitadas, todo lo realizado dentro de este proyecto fue meramente académico sin que las industrias tengan relación con este proyecto.

1.2 Antecedentes

En la búsqueda de antecedentes de sistemas de inspección visual encontramos varias aplicaciones, en primer lugar, debemos identificar el campo que cubren estas aplicaciones para comprender el área al que nos introduciremos con este proyecto. En la figura 1.5 se muestra las áreas que abarcan los sistemas de inspección visual, de manera que comprendamos los tópicos que se requieren dominar para la realización de este trabajo [5].

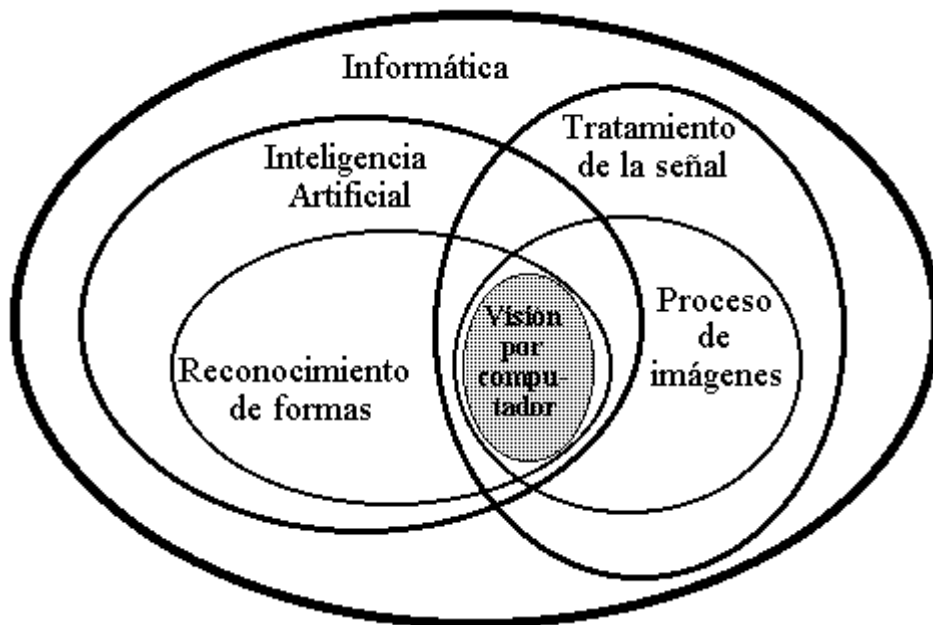


Figura 1.5 Esquema general de los sistemas de inspección por visión

En la figura 1.5 se observa las áreas que necesitamos utilizar para la realización de nuestro proyecto. Podemos darnos cuenta que la parte de inteligencia artificial será la toma de decisión acerca de las condiciones del objeto inspeccionado, sin embargo, se requiere hacer el procesamiento de la imagen así como el tratamiento de la señal, la cual será la instrucción a realizar posterior a la inspección.

Dentro de la misma figura se observa que todas las áreas se encuentran dentro de la informática, por lo que en la figura 1.6 se muestra un diagrama de flujo donde se indica el orden en que se desarrollará nuestro proyecto. Primero, se adquiere una imagen con una cámara controlada por una computadora, seguido por el procesamiento de la imagen que se obtiene con dicha cámara. La imagen se pone en el formato necesario para clasificarla, analizarla, segmentarla, interpretarla y finalmente tomar una decisión del estado del objeto que se inspecciona [5].

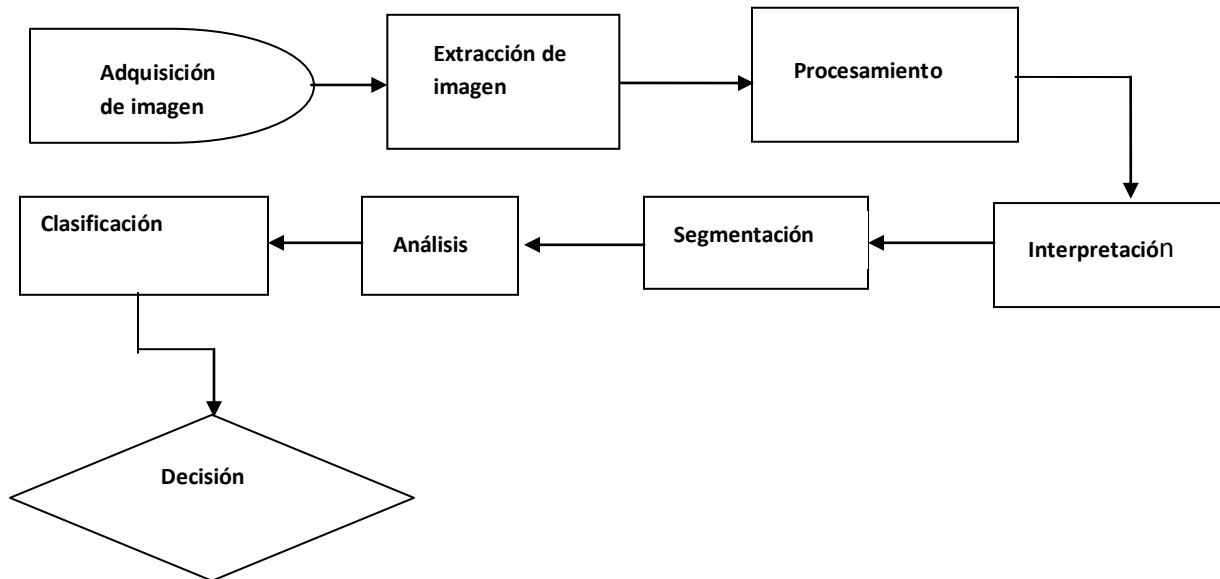


Figura 1.6 Diagrama de flujo de un sistema de inspección general

En general, en la figura 1.6 se mostró la estructura del sistema de inspección de nuestro proyecto, sin embargo, aparte de la estructura, los sistemas de visión se dividen en diferentes campos de aplicación. La figura 1.7 muestra los campos definidos para la aplicación de dichos sistemas de una manera general, donde uno de sus campos es la aplicación industrial, este campo es al que nosotros nos introduciremos con el proyecto en cuestión [5].

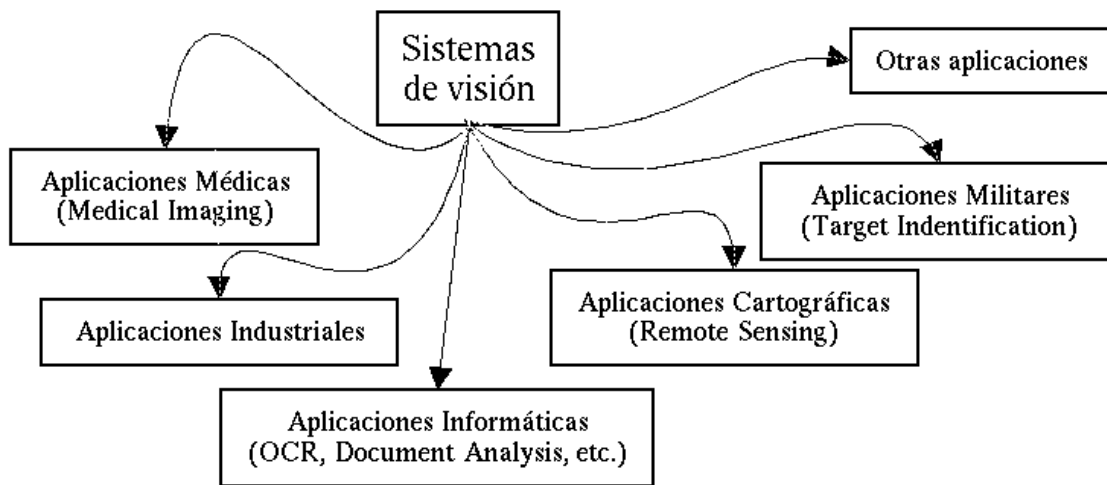


Figura 1.7 Diagrama de áreas de aplicaciones de los sistemas de visión.

En nuestro proyecto nos enfocaremos en las aplicaciones industriales tal como se menciona al inicio de este capítulo. Las aplicaciones industriales se dividen en varias secciones, en la figura 1.8 se pueden apreciar estas divisiones, en dicha figura observamos que las aplicaciones se subdividen dependiendo del punto donde se ubique el proyecto dentro de la línea de producción, así como la actividad a realizar. Nuestro sistema hará medición sin contacto así como detección de defectos, ubicándonos en la sección de inspección visual automática.

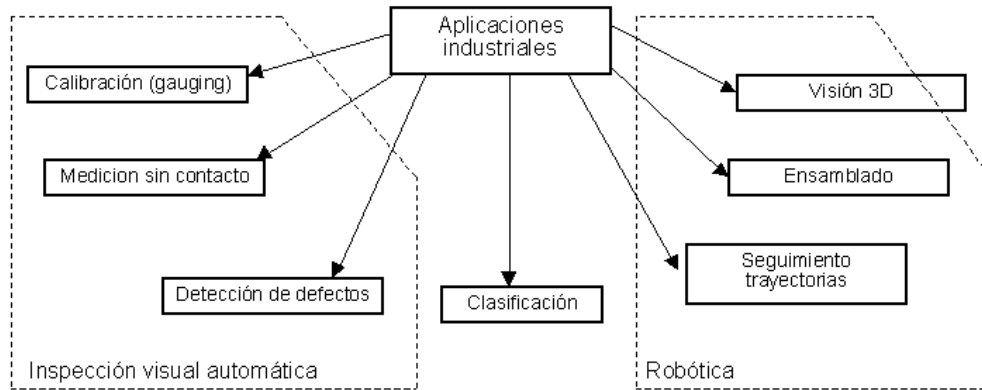


Figura 1.8 Diagrama de secciones de las aplicaciones industriales.

Haciendo referencia al tema específico de nuestro proyecto, descomposición de valores singulares para inspección, encontramos varias referencias dentro de las cuales destacan; el artículo de Marius Schmidt [6], en este trabajo el tiempo de procesamiento es de vital importancia al igual que en nuestro proyecto, esto nos permite reforzar que la descomposición de valores singulares es eficiente en términos tiempo de procesado. Debashis Ghosh [7] usa SVD para clasificar tumores en el área de la medicina y Chi-Jie [8] utiliza SVD para detectar defectos en pantallas de cristal líquido.

Capítulo 2

Fundamentos teóricos

2.1 Introducción

El trabajo de esta tesis involucra la inspección de latas; en particular se quiere detectar defectos ocasionados por golpes y errores en la impresión de las latas. Para poder conseguir este objetivo se necesita usar varias herramientas de procesamiento de imágenes y análisis matemático. En este capítulo damos una introducción de cada una de las herramientas matemáticas utilizadas en esta tesis.

2.2 Método SVD

La descomposición de valores singulares (SVD) ha demostrado ser una herramienta muy útil, encontrando un papel importante en el análisis y diseño de sistemas de control para los procesos industriales reales [4, 6-9]. En esta sección se describe como los conceptos de análisis de SVD se puede utilizar para ayudar a determinar diferencias entre dos patrones [4].

Usando el método SVD, existen varias formas para realizar el proceso de inspección usando comparación de patrones. Analizando los valores singulares de la imagen patrón y la de prueba, o mediante comparación de bloques elementales de la imagen patrón y la de prueba.

En el método SVD, cada bloque elemental corresponde a una característica específica de la imagen original. El método SVD consiste en factorizar una matriz, M , de n filas y m columnas, es decir, M puede ser representada como:

$$M = U \Sigma V^* \quad (2.1)$$

Donde U es una matriz unitaria de m filas y n columnas, Σ es una matriz diagonal de n filas y m columnas llamados valores singulares de la matriz M , y V^* es la transpuesta conjugada de la

matriz unitaria V de n filas y n columnas. Los valores de la matriz diagonal Σ están ordenados de mayor a menor. Los valores singulares están relacionados con cada una de las características con las que esta formada una imagen (o matriz). En este análisis cada bloque elemental puede ser calculado de la siguiente manera

$$M_n = U_{(1:m,n)} \Sigma_{nn} V_{(1:n,n)}^* \quad (2.2)$$

Donde M_n representa cada bloque elemental, $U_{(1:m,n)}$ es un vector columna, Σ_{nn} es cada valor singular y $V_{(1:n,n)}^*$ es la transpuesta de cada vector columna de V . Usando cada bloque individual podemos reconstruir el objeto original de la siguiente manera:

$$M = \sum_{n=1}^L M_n \quad (2.3)$$

Donde L es el número total de valores singulares. Cada bloque elemental del objeto sin y con defecto se representa como M_n^{sd} y M_n^{cd} respectivamente y la diferencia entre bloques elementales se calcula de la siguiente manera:

$$E_n^A = |M_n^{sd} - M_n^{cd}| \quad (2.4a)$$

De la misma manera, representamos los valores singulares del objeto sin defecto y con defecto como Σ_n^{sd} y Σ_n^{cd} respectivamente, y el error entre valores singulares lo representamos como:

$$E^S = \sum_{n=1}^L |\Sigma_n^{sd} - \Sigma_n^{cd}| \quad (2.4b)$$

El valor del error E será el parámetro que decidirá si el estado físico de la lata es apto para continuar en el proceso o deberá ser retirado de la línea de producción, ya que se establecerá un umbral de error permitido al realizar varias repeticiones entre latas sin defectos ya sea para bloques elementales o para valores singulares.

2.3 Herramientas de Procesamiento Digital de imágenes

En esta parte del capítulo haremos referencia a algunas herramientas de Procesamiento Digital de Imágenes (PDI) las cuales fueron necesarias para la realización de este proyecto, en particular nos enfocaremos en la binarización y segmentación de imágenes [10].

2.2.1 Binarización

Uno de los métodos para poder binarizar una imagen digital es mediante el histograma de dicha imagen [10]. En la figura 2.1 se muestra un ejemplo de un histograma. A través del histograma obtenemos una gráfica donde se muestran el número de píxeles por cada nivel de gris que aparecen en la imagen. Para binarizar la imagen, se deberá elegir un valor adecuado dentro de los niveles de grises (umbral), de tal forma que el histograma forme un valle en ese nivel. Todos los niveles de grises menores al umbral calculado se convertirán en negro (valor de píxel 0) y todos los mayores en blanco (valor del píxel 255), la ecuación que utilizamos es la ecuación (2.5).

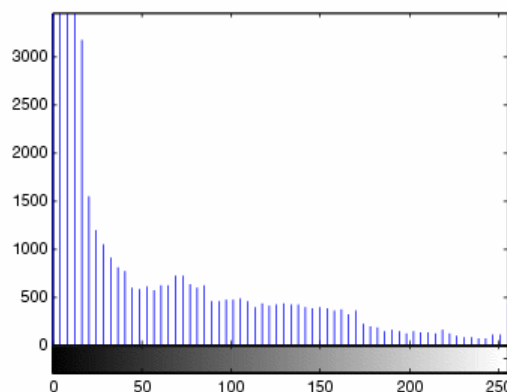


Figura 2.1 Ejemplo de un Histograma (Cantidad de píxeles vs. valor de píxel)

$$F(i) = \begin{cases} \text{Si } F(i) > \text{umbral por lo tanto } F(i) = 255 \\ \text{Si } F(i) < \text{umbral por lo tanto } F(i) = 0 \end{cases} \quad (2.5)$$

El umbral es el valor que deseamos sea nuestro margen para binarizar la imagen, el cual se definirá a partir de que valor cambiará todos los valores de los píxeles, de manera que realce los bordes del objeto en análisis.

2.2.2 Segmentación

La segmentación nos sirve para ubicar todos los píxeles que tengan conectividad con sus vecinos, esto quiere decir que si aplicamos la segmentación en una imagen binarizada, encontraremos la conectividad de las secciones donde existan valores de 255, de esta manera podemos saber cuántos píxeles tenemos en ancho y alto en esa sección [10].

La conectividad se puede manejar de diferentes maneras, una forma sería todos los píxeles que hagan contacto con el píxel en cuestión de manera horizontal y vertical, otra sería los píxeles que hagan conectividad en las esquinas, y por último los píxeles que hagan conectividad en todas las direcciones, esto corresponde a los 8 píxeles vecinos. Esta última configuración fue la que utilizamos en esta tesis. En la figura 2.2 se muestra una imagen identificando las posibles conexiones entre los píxeles vecinos, en la figura 2.3 se muestra un ejemplo de una sección de valores al segmentarse.

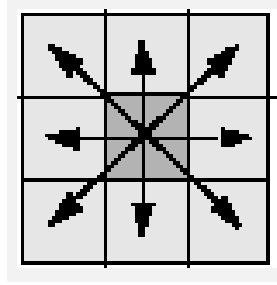


Figura 2.2 Direcciones de conectividad

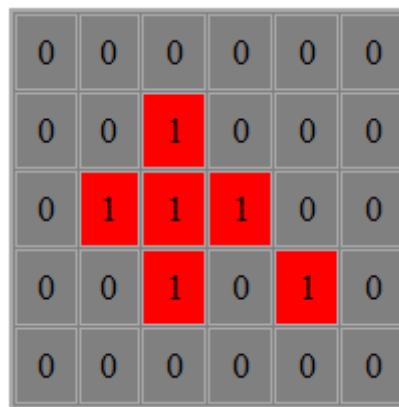


Figura 2.3 Ejemplo de segmentación

La forma que utilizamos la segmentación es para identificar cuales son los bordes de nuestro objeto, una vez que tenemos todas las secciones de nuestra imagen segmentada, ubicamos la coordenada superior máxima, que sería el inicio de nuestro objeto, así como también ubicamos nuestra coordenada inferior máxima, teniendo con esto la ubicación de nuestro objeto para poder extraerlo de la imagen original.

2.2.3 Correlación

La herramienta de correlación tiene su funcionamiento básico de la siguiente manera, una sección pequeña en comparación del tamaño total de la imagen llamada ventana de correlación,

se hace pasar por toda la imagen, haciendo una comparación de píxel a píxel de la imagen, esta técnica también es conocida como “matching”, al hacer esta comparación obtenemos los valores que nos indican en que áreas se encuentran otras secciones que se parecen a la ventana de correlación, lugar donde se encuentran los picos máximos, o si existen algunas parecidas el valor de correlación nos dice que tan parecidas son [11-16].

Estos valores de correlación son normalizados de manera que los resultados nos den entre 0 y 1. Siendo 1 donde se encuentra la correlación más alta y 0 donde no existe correlación alguna. La ecuación utilizada para realizar la correlación en nuestro proyecto es también conocida como correlación cruzada normalizada mostrada en la siguiente ecuación.

$$\gamma(u, v) = \frac{\sum_{x,y} [f(x, y) - f(u, v)] \cdot [t(x - u, y - v) - t]}{\left\{ \sum_{x,y} [f(x, y) - f(u, v)]^2 \cdot \sum_{x,y} [t(x - u, y - v) - t]^2 \right\}^{0.5}} \quad (2.6)$$

Donde; $\gamma(u, v)$ es el coeficiente de correlación, f la imagen original y t es la ventana de correlación.

Capítulo 3

Comparación de métodos

3.1 Introducción

En este capítulo comparamos la técnica que utilizamos en esta tesis para detectar defectos en objetos. La comparación se hará con la técnica de correlación, utilizamos ésta porque es el método estándar para detectar fallas en objetos [12]. La comparación la basaremos en sensibilidad y rapidez.

3.2 Aplicación de SVD

Para la realización del sistema de inspección debemos tomar en cuenta que la imagen impresa (emblema del producto) sobre la lata debe estar en la misma posición contra la que vamos a comparar, ya que la comparación la hacemos pixel a pixel, por lo que si la impresión está en diferente posición el sistema creerá que existe una diferencia y lo marcará como error en la lata. Por tal motivo, el análisis en este capítulo se hizo con latas pintadas tal y como se puede ver en la figura 3.1. En la misma figura se puede observar dos imágenes de la misma lata tomadas en diferente tiempo. Se esperaría que no existiera cambios en las imágenes sin embargo se aprecia diferencia debido a variaciones en la intensidad de iluminación. Esta variación no será considerada como un defecto durante nuestro análisis por lo que el sistema de inspección tiene que calibrarse con respecto a estas variaciones de intensidad. A continuación se muestra los resultados parciales del método SVD para las imágenes iguales pero con variación de intensidad.

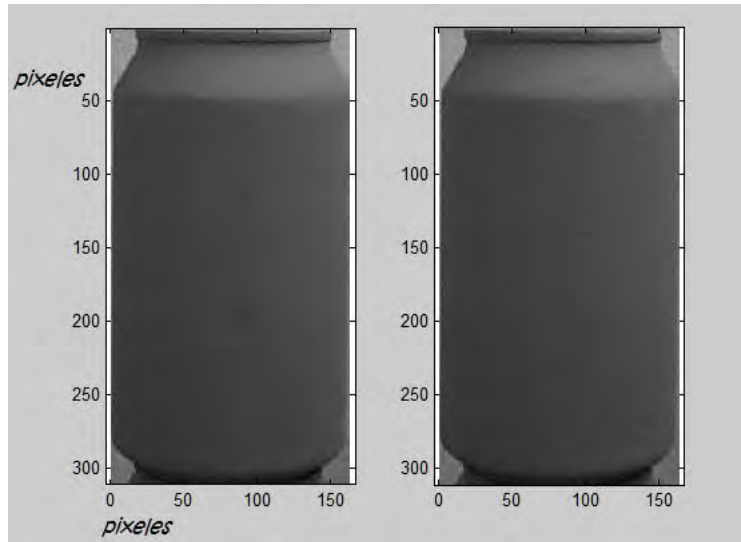


Figura 3.1 Comparación entre objetos sin defecto pero con variación de intensidad.

El paso inicial en nuestro proceso es recortar la lata de la imagen general, con esto queremos evitar el ruido que pueda provocar el fondo de la imagen, para posteriormente descomponer la imagen en sus matrices unitarias y valores singulares. Al descomponer la imagen, cada matriz unitaria o bloque elemental representa una característica de la imagen original. Cada bloque elemental tiene asociado un valor singular que indica el grado de influencia sobre la imagen original. De esa manera podemos ver en la figura 3.2 los primeros veinte valores singulares de las dos imágenes. En la figura se muestra para ambas imágenes, el primer valor singular tiene un valor aproximado del 60 % de toda la información de las imágenes. De ahí los valores van del 8 % hacia valores mucho menores. En la figura no se perciben diferencias en los primeros veinte valores singulares. Sin embargo del valor singular 70 al 130 se perciben diferencias entre ambos valores singulares tal y como se puede ver en la figura 3.3.

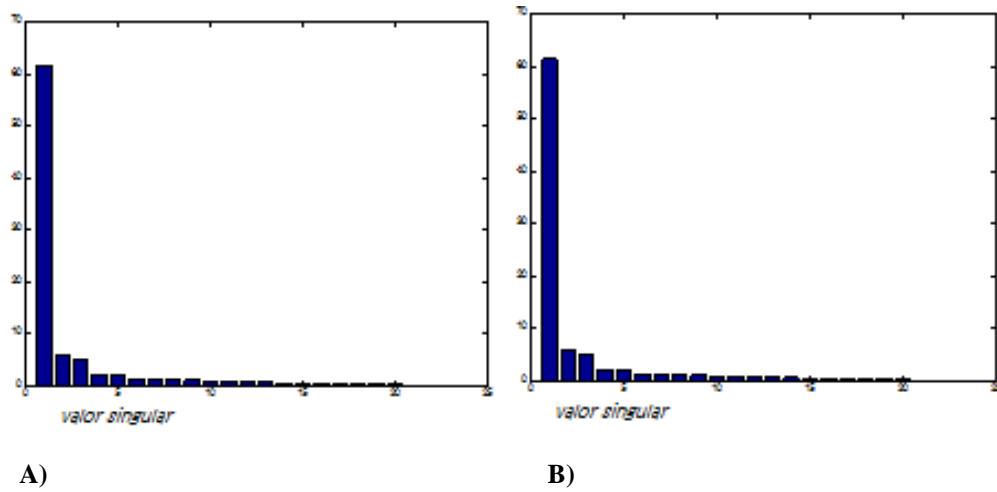


Figura 3.2 A) valor singular imagen patrón, B) valores singulares imagen con defecto

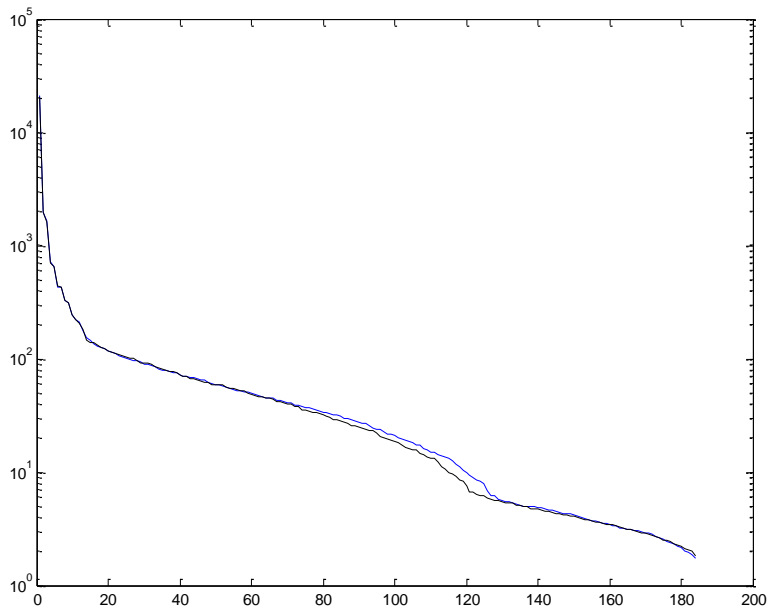


Figura 3.3 Comparación entre valores singulares de ambas imágenes (patrón y con defecto)

Podemos pensar que en estos valores singulares se encuentra las diferencias en las variaciones de intensidad. En la figura 3.4 se muestran los primeros bloques elementales. Podemos notar diferencias considerables en los últimos 4 bloques mostrados en esta figura. Estas diferencias corroboran lo observado en los valores singulares.

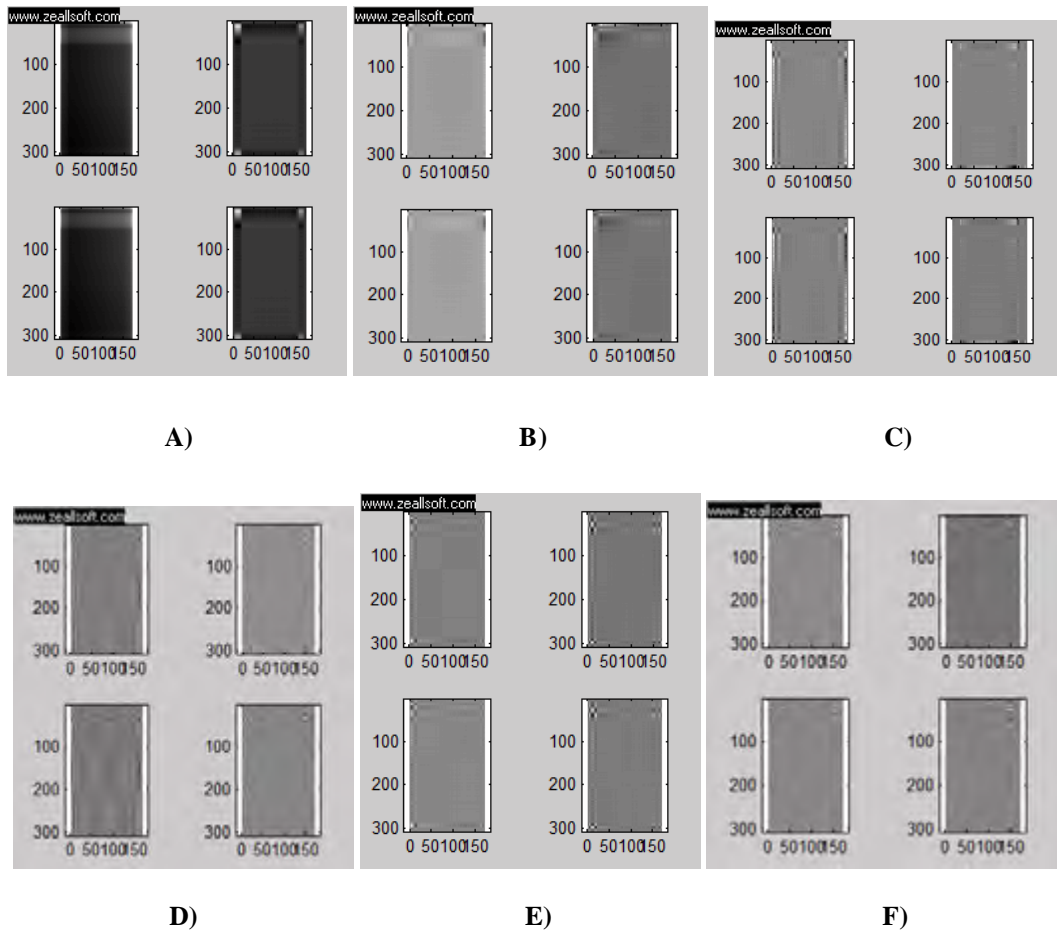


Figura 3.4 Bloques elementales de patrón y objeto sin defecto, A) Bloques elementales 1 y 2, B) Bloques elementales 3 y 4, C) Bloques elementales 5 y 6, D) Bloques elementales 7 y 8, E) Bloques elementales 9 y 10, F) Bloques elementales 11 y 12.

Así, podemos decir que la diferencia en valores singulares debido a variaciones de intensidad es muy pequeña y no contribuyen a la información del objeto. Este efecto lo podemos

ver a la hora de recuperar el objeto usando cada uno de los bloques elementales, para esto usamos la ecuación (2.3). En la figura 3.5 y 3.6 observamos que usando el primer bloque elemental recuperamos aproximadamente el 98 % del objeto original por lo que con 8 bloques elementales es suficiente para una recuperación aceptable del objeto.

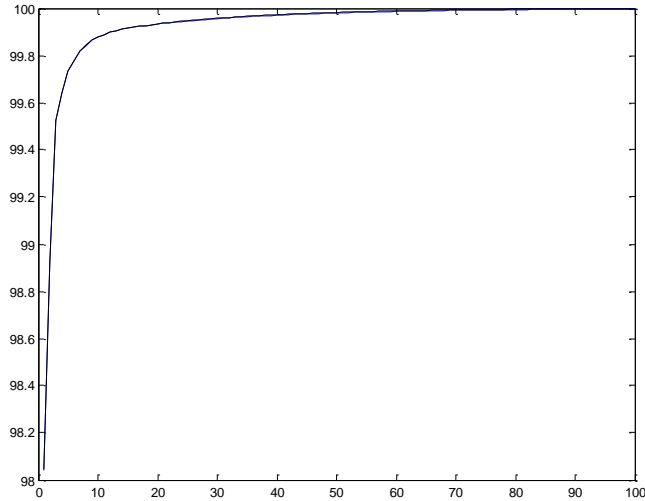


Figura 3.5 Suma de valores singulares individuales.

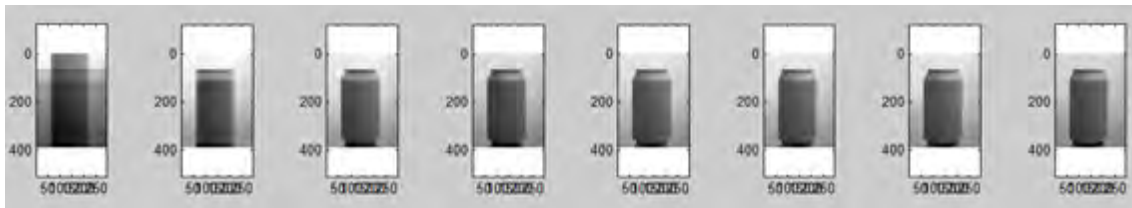


Figura 3.6 Reconstrucción de imagen original sumando bloques elementales.

Ahora consideremos el análisis en una lata sin y con falla, tal y como se muestra en la figura 3.7. Para este caso las diferencias en los valores singulares se observan desde el primer valor singular. En la figura 3.8 y 3.9 se observa que las diferencias entre valores singulares para estas imágenes son notables.

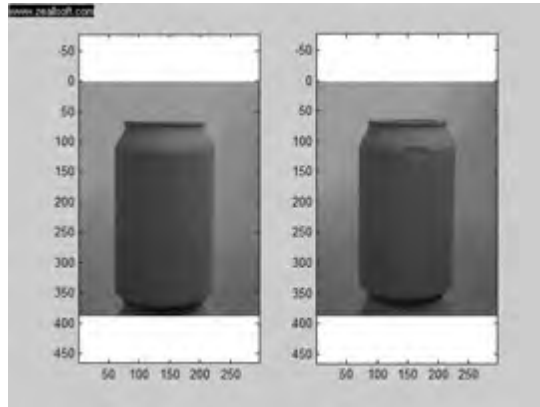
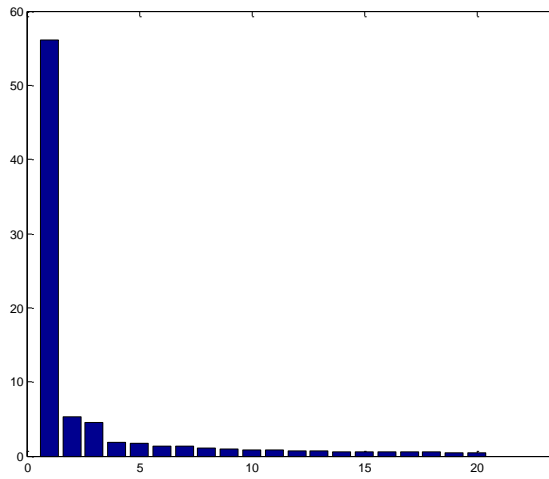
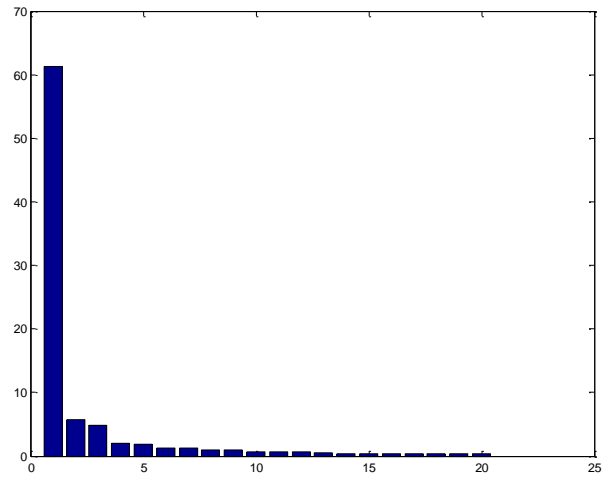


Figura 3.7 Comparación entre patrón y lata con defecto.



A)



B)

Figura 3.8 A) valores singulares imagen patrón, B) valores singulares imagen con defecto

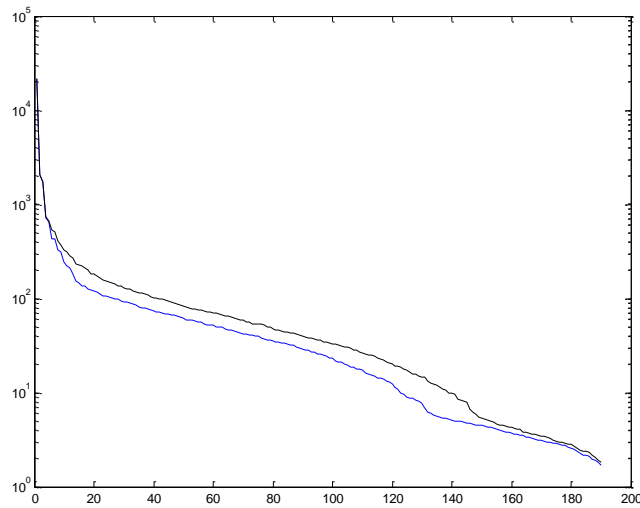
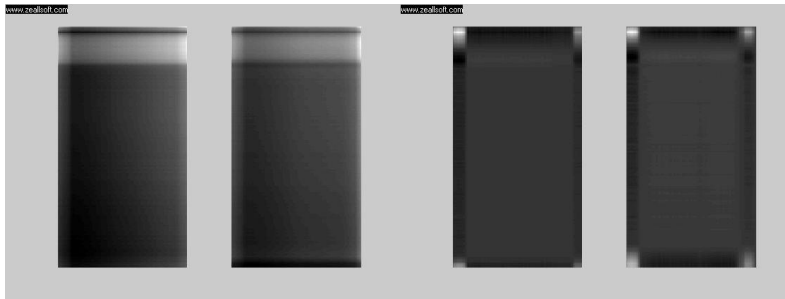
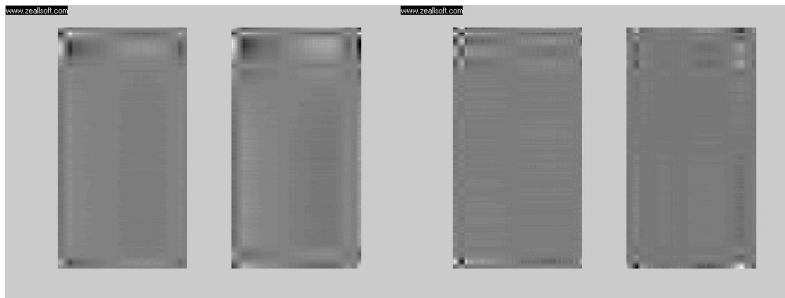


Figura 3.9 Comparación entre valores singulares de ambas imágenes (patrón y con defecto)

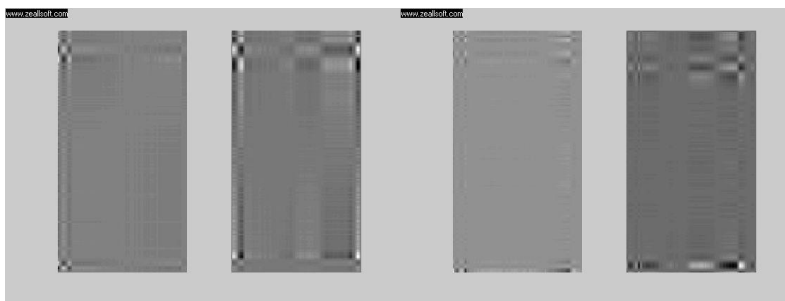
Los bloques elementales para cada imagen muestran diferencias notables desde el valor 3. El cual es indicativo del defecto que presenta una de las latas, ver figura 3.10. Al reconstruir el objeto, al igual que el caso anterior, es suficiente 8 bloques elementales para una reconstrucción adecuada. Estos resultados se pueden ver en la figuras 3.11 y 3.12.



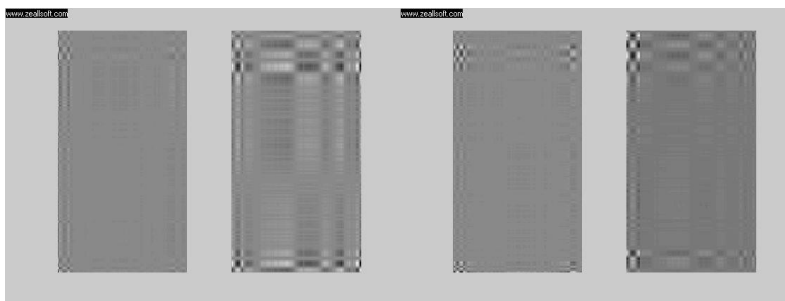
A)



B)



C)



D)

Figura 3.10 A) comparación de bloques elementales 1 y 2, B) comparación de bloques elementales 3 y 4, C) comparación de bloques elementales 5 y 6 D) comparación de bloques elementales 7 y 8

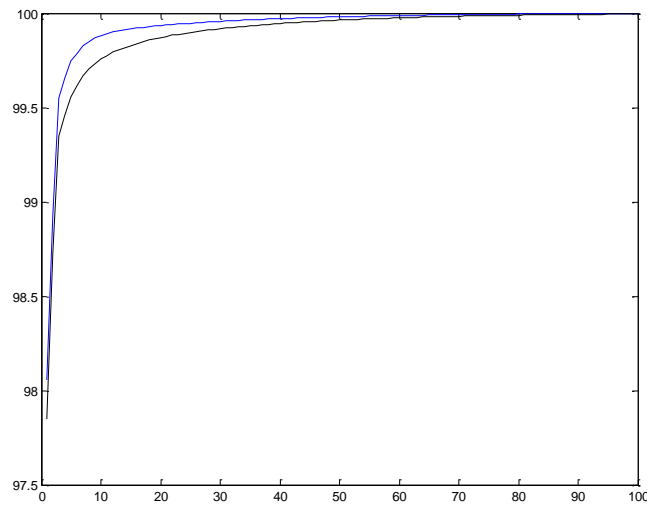


Figura 3.11 Suma de valores singulares de ambas imágenes con respecto a la imagen total (numero de bloque vs. magnitud).

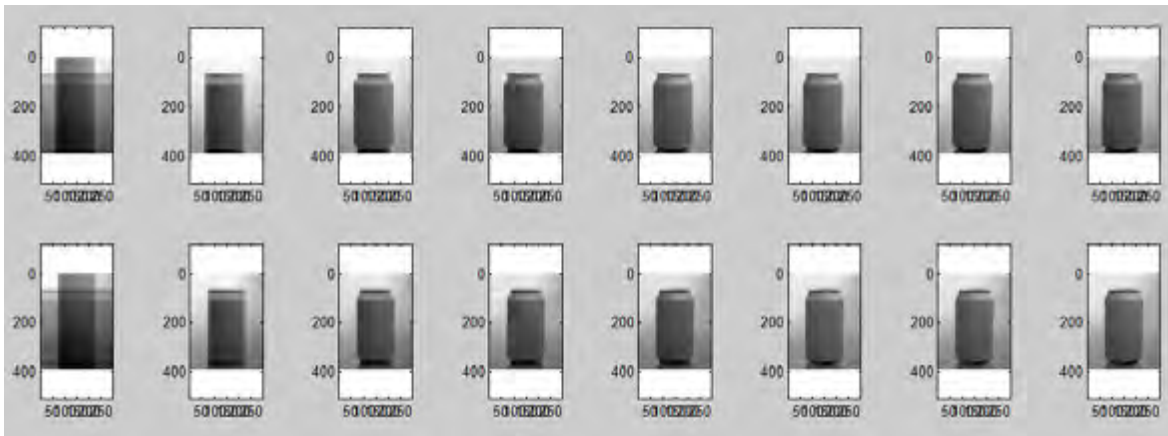


Figura 3.12 Reconstrucción de ambas imágenes sumando valores singulares del 1 al 8.

Con los resultados anteriores se muestra que SVD tiene la capacidad para detectar pequeñas diferencias entre dos objetos y por consiguiente se puede considerar como una herramienta para detectar defectos en objetos. Nótese que el método no puede detectar el lugar

de la falla, solamente puede detectar que el objeto tiene una falla el cual lo puede hacer una técnica rápida para el proceso de inspección.

En base a los resultados presentados hasta ahora estamos en posición de establecer un procedimiento para detectar objetos con fallas. La detección la haremos en base al valor de los valores singulares porque es más rápido que usar los bloques elementales o la reconstrucción de cada imagen. Primeramente tenemos que establecer un umbral en los valores singulares que se considere como la existencia de una falla en el objeto en estudio.

En la figura 3.13 se muestra el error entre los valores singulares del análisis de latas con variaciones de intensidad y con falla (ver ecuación 2.4b). Las diferencias son evidentes y nos permiten establecer un umbral entre estos dos casos analizados. Al integrar las curvas de la figura 3.13 obtenemos valores de 189 y 1628. Los resultados del análisis de la lata con falla es un factor de 8.6 más grande que el del análisis de latas con variaciones de intensidad. De igual manera, en la figura 3.14 mostramos el error en la reconstrucción de cada imagen y las diferencias son apreciables entre ambos casos analizados. Para este último caso al integrar las curvas de la figura obtenemos valores de 23.5 y 9.6. Sin embargo, para este último análisis, el tiempo de procesamiento computacional es mayor que considerando únicamente los valores singulares, por lo que el resto de la tesis no se usará como medio para detectar fallas.

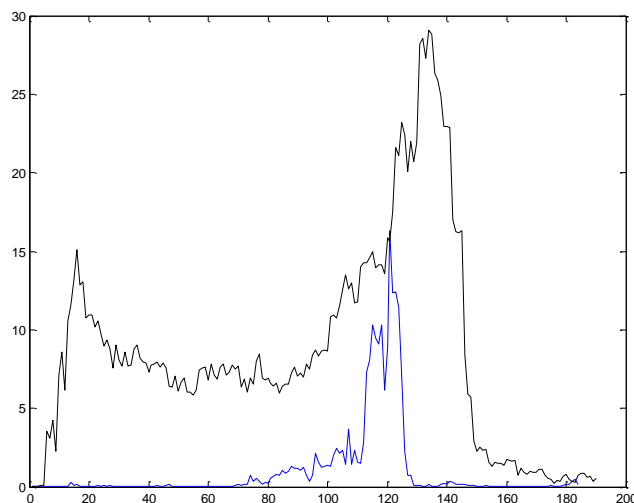


Figura 3.13 Error entre los valores singulares (numero de bloque vs. magnitud).

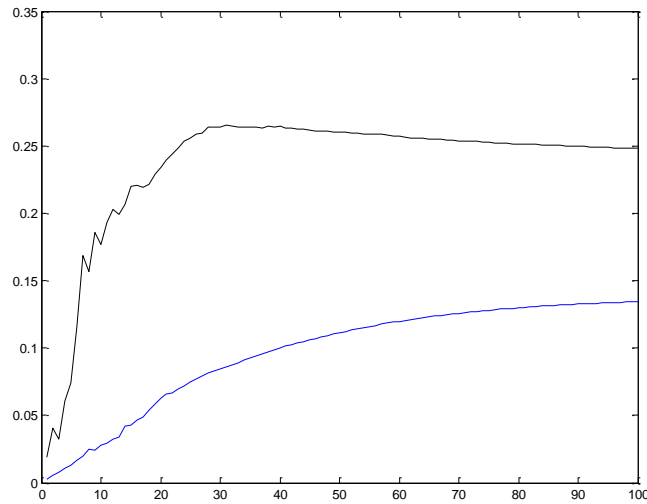


Figura 3.14 Error entre bloques elementales (numero de bloque vs. error).

Para determinar el valor correcto de umbral se hacen varias pruebas con diferentes defectos en lata. En la figura 3.15 se muestra la lata patrón con latas con diferente tipo de fallas. En la tabla 1 se muestra las cantidades del valor de la integral de los valores singulares entre la lata patrón y con fallas. De estos valores podemos determinar el valor promedio de estos resultados y encontramos nuestro umbral, así, toda lata que sobrepase este valor se considerará como una lata con falla. Nótese que este valor se escoge de acuerdo a los parámetros de calidad de la empresa (o producto).

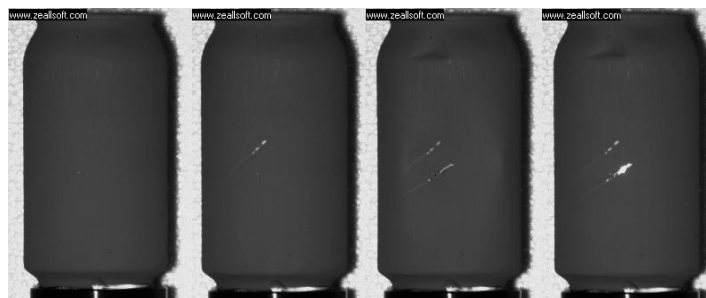


Figura 3.15 Gama de latas con defecto y lata patrón (una lata patrón y tres latas con defectos diversos).

Tabla 3.1 Resultados obtenidos utilizando SVD

Caso de lata	Resultante de la integral de grafica de comparación entre valores singulares (Error)
Rayón simple	100.94
Rayón pronunciado	110.22
Rayón pronunciado y golpe	98.73
Patrón	44.05

Con ayuda de los datos obtenidos en la tabla 3.1 podemos hacer un promedio y definir nuestro umbral, donde observamos que el error entre imágenes sin defecto solo con cambio de iluminación nos da un valor de 44.05 y el valor mínimo con defecto es de 98.73, podemos definir nuestro umbral en 60 dejando un amplio espacio para equivocaciones, esto de manera que no nos afecte en la toma de decisión del nivel de defecto en el producto, por lo tanto cualquier imagen que nos de un valor por encima del umbral será considerado como producto defectuoso.

3.3 Aplicación de correlación

En esta sección usamos la técnica de correlación como medio para inspeccionar objetos. Usamos este método porque es el que usualmente se usa para este propósito. La intención primordial es comparar este método con el de SVD y establecer las ventajas y desventajas de la técnica SVD como medio de inspección.

A continuación realizamos la inspección de la lata con el método de correlación, en el capítulo 1 se dio una breve explicación de este método. El método de correlación consiste en calcular el coeficiente de correlación con la ecuación (2.6). Para esto se selecciona una pequeña ventana de la imagen a correlacionar en la que no se encuentre defecto, como se muestra en la figura 3.16. Esta ventana de correlación se compara con el resto de la imagen. Esta forma de aplicar el método de correlación no es como comúnmente se usa, usualmente se toma una

imagen de la sección de interés de una pieza modelo y se compara con la misma sección de la pieza bajo prueba, sin embargo como se supone una superficie uniforme, se toma una sección y se compara con toda la pieza bajo prueba.

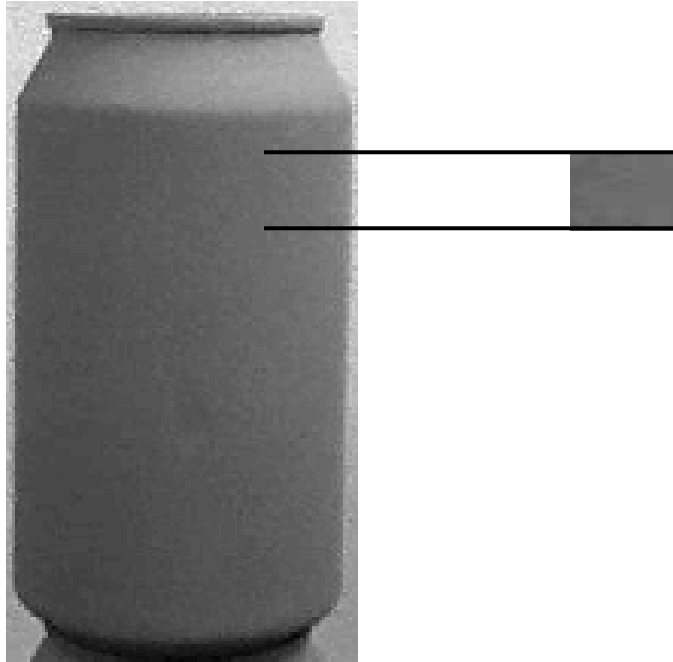


Figura 3.16 Imagen original sin defecto extrayendo ventana de correlación.

Una vez que tenemos la ventana, se recorre a través de toda la imagen original en busca de sus coeficientes de correlación (ver ecuación 2.6). En la figura 3.17 se muestran los resultados obtenidos al aplicar correlación. Se observa la matriz de coeficientes de correlación normalizados entre 0 y 1, siendo la ubicación de este ultimo valor la posición donde se encuentra la sección de mayor correlación.

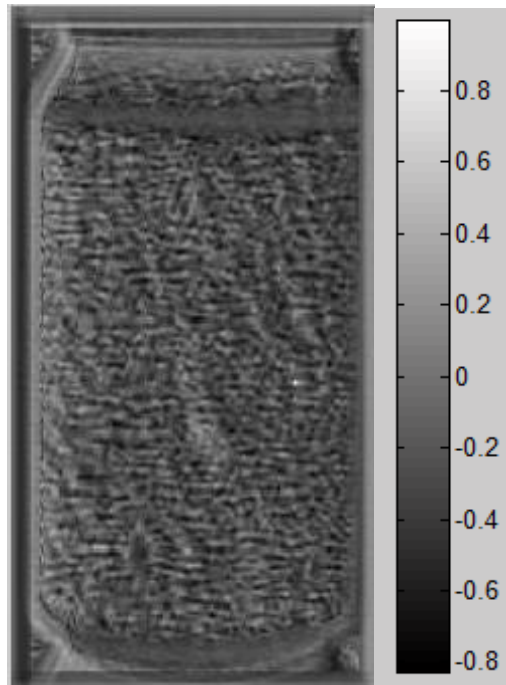


Figura 3.17 Resultado de coeficientes de correlación (gama de valores de correlación)

Ahora se realiza la correlación con una imagen del objeto defectuoso, tal como se puede ver en la figura 3.18. En la figura se muestra la imagen original con un defecto, posteriormente se obtienen sus coeficientes de correlación y se observa que los valores de los coeficientes son de bajo valor. Esto nos indica que el objeto que se inspecciona tiene un defecto. El resultado de la correlación se muestra en la figura 3.19.

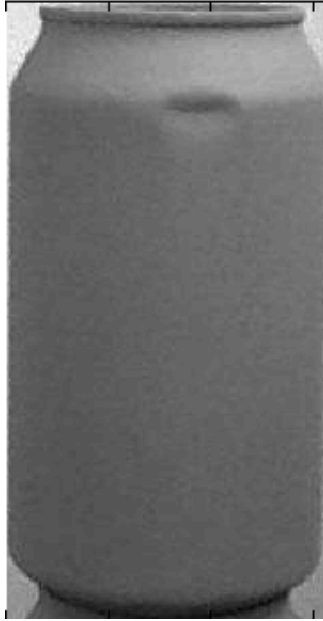


Figura 3.18 Imagen del objeto defectuoso

En la figura 3.19 se observa que la región defectuosa del objeto en cuestión muestra una cantidad grande de valores muy bajos de correlación, donde nos indica que existe un desperfecto en el objeto.

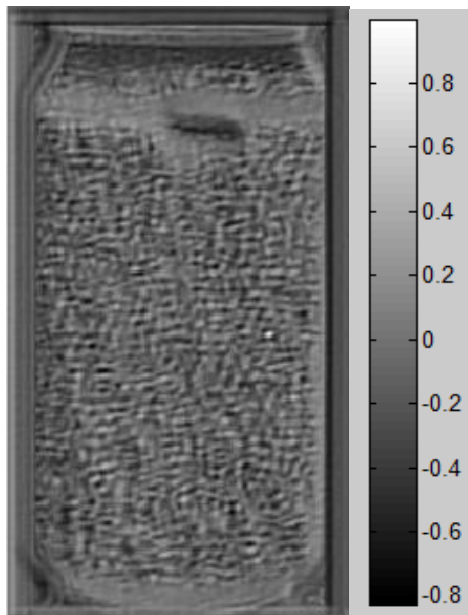


Figura 3.19 Coeficientes de correlación del objeto defectuoso (gama de valores de correlación)

La manera de evaluar si el producto esta defectuoso o no, sería en la obtención de cada coeficiente de correlación de cada píxel, donde se limitaría un umbral en el que si el valor del coeficiente es menor, significa que la correlación no fue suficiente, dándonos como resultado que existe una diferencia o defecto, motivo para que sea extraído el objeto de la línea de producción cabe hacer mención que esta técnica solo sirve para latas de color uniforme, sin impresiones ni grabados.

3.4 Comparación entre SVD y correlación

Para comparar estos dos métodos nos basamos en el tiempo de procesado y detalles técnicos de las técnicas como son; ubicación de fallas y tipo de iluminación. Sin embargo el principal factor de comparación es el tiempo de procesamiento, debido a que se busca un sistema aplicable para líneas de producción, motivo por el cual el tiempo en procesar y evaluar el objeto toma un papel importante. A continuación se muestra una tabla, donde se realizaron diferentes pruebas para promediar el tiempo de procesamiento de cada método.

Tabla 3.2 Comparación entre métodos

Método	Tiempo	Evaluación	Posición	Iluminación
Correlación	4 segundos aprox.	X	Te da la ubicación	Menos sensible (promedio)
SVD	0.5 segundos aprox.	8 veces más rápido	X	Mas sensible (ajustar la iluminación)

En la tabla se muestra en primera instancia que el método SVD es más rápido en cuestión de tiempo de procesamiento, otro punto a favor de nuestro método es el hecho de que en comparación con correlación, que tenemos que seleccionar una ventana pequeña para ir corriéndola por toda la imagen original, en SVD es la imagen total y se evalúa píxel a píxel con una simple resta. Una desventaja de nuestro método es que no nos arroja la posición del error, solo evalúa los valores, en cambio con correlación puedes obtener la posición del error. Otro punto a tomar en cuenta es la sensibilidad, debido a que el método de correlación trabaja promediando secciones, esto lo vuelve menos sensible a cambios de intensidad. Sin embargo, el método SVD es muy sensible a cambios de intensidad ocasionados por las variaciones de iluminación.

Capítulo 4

Desarrollo experimental

4.1 Introducción

En el capítulo anterior se demostró de manera simple, que el método SVD es una solución óptima para el proceso de inspección. En este capítulo nos adentraremos en una parte medular del proyecto; el proceso de inspección de latas dañada; latas con golpes o con errores en la impresión. Las latas para nuestro caso serán cilíndricas y tiene una superficie tridimensional. Por lo que para inspeccionar una lata completa se necesitan al menos tres cámaras. Sin embargo, en este capítulo describimos un procedimiento experimental para inspeccionar completamente la parte cilíndrica de la lata usando una sola cámara, en nuestro análisis dejamos de lado las tapas de la lata. Por otro lado, para poder obtener la información adecuada de la imagen a inspeccionar se hace uso de varias herramientas de procesamiento digital de imágenes y de formación de imágenes. En las siguientes secciones se explica todo lo necesario para obtener imágenes listas para el proceso de inspección.

4.2 Método experimental

El desarrollo experimental consiste de una cámara digital, una fuente de iluminación y un par de espejos planos. La cámara digital que utilizamos fue una Lumenera de 1280x1024 píxeles, utilizamos una lámpara de halógeno circular colocada en la parte superior de la lata. Los espejos planos se colocaron de tal manera que nos permita registrar imágenes de la parte posterior de la lata.

La intención del arreglo experimental es observar completamente la superficie de la lata (observar los 360 grado de la lata), una solución sería utilizar más de una cámara aunque esta propuesta elevaría el costo del sistema, y como buscamos que sea económico para poder competir con los precios de empresas transnacionales motivo por el cual esta propuesta queda

descartada, la solución que encontramos, como lo mencionamos anteriormente, fue utilizar espejos colocados detrás de la lata en la posición adecuada de manera que reflejen el resto de la superficie de la lata, de esta manera tendremos toda la superficie de la lata en una sola toma tal como se muestra en la figura 4.1 [17-19].

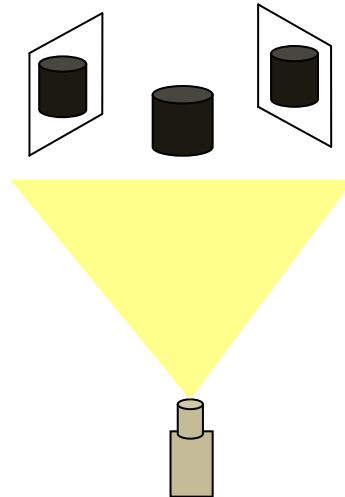


Figura 4.1 Arreglo propuesto con espejos.

En la figura 4.2 se muestra una imagen de la superficie total de la lata con ayuda del reflejo de los espejos. Una vez obtenidas las imágenes de este tipo, el siguiente paso es ubicar las posiciones de las imágenes para extraer solo la información de la lata.

4.3 Binarización y segmentación de imágenes

Se utilizó el método de binarización debido a que buscamos encontrar solamente la posición de nuestra área de interés. Esta área se refiere a la superficie de las latas, como obtenemos una imagen de la lata pero también tenemos un paisaje de fondo. Debido a la iluminación y por la geometría de la lata se crea un brillo en las orillas de la lata, así como en el centro, como se muestra en la figura 4.2. Este efecto nos sirve para aplicar la herramienta de binarización y poder segmentar la imagen de manera que el brillo tenga un valor de 255,

mientras que el resto de la imagen tenga un valor de 0, de manera que podamos ubicar la posición de la lata y eliminar el fondo de la imagen.

Como la imagen tiene en los bordes de la lata un número significativo de píxeles blancos, esto nos permitirá dejar el umbral dentro de un parámetro fijo y de esta manera tener una imagen binarizada permitiéndonos de una manera muy práctica encontrar la posición de la lata, tal y como se muestra en la imagen 4.3. Con la ubicación de las latas podemos encontrar sus coordenadas y extraer solo la región de las latas en sub-matrices separadas, por lo que al final tendríamos 3 sub-matrices ya que tenemos las latas extraídas de la imagen original y como sabemos que la lata central es la imagen no reflejada en espejos, eso quiere decir que es la lata de dimensiones reales, por tanto tenemos que redimensionar las latas reflejadas en los espejos de manera que tengan las mismas dimensiones que la central.



Figura 4.2 Imagen adquirida con iluminación frontal



Figura 4.3 Imagen binarizada

Ya que tenemos la imagen binarizada, segmentamos los conjuntos de puntos para crear regiones y de esta manera ubicar la posición de la lata, al segmentar lo que el software hace, es que a todos aquellos puntos que están en contacto les da un mismo valor y diferente a cada segmento de puntos. Una vez segmentados podemos ubicar una región de puntos buscando un valor definido, una vez ubicado el segmento de puntos podemos saber el ancho y el alto de pixeles del segmento, de esta manera sabemos cuáles segmentos son de mayor área y así definir cuáles son los bordes de la lata y guardar sus coordenadas en un vector para posteriormente utilizar estas coordenadas para extraer la región de las latas, se puede observa el resultado en la figura 4.4.

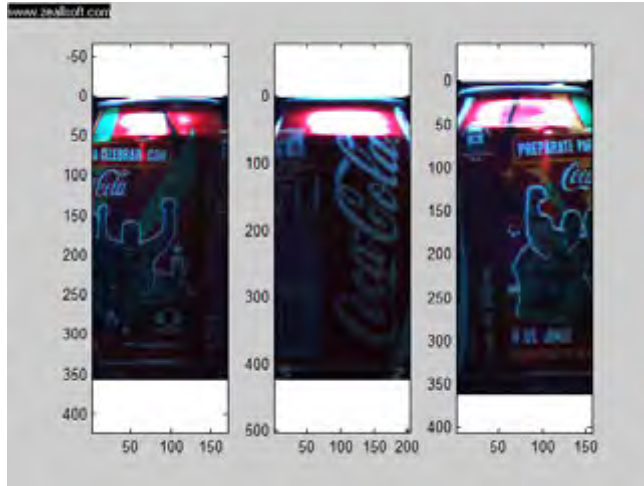


Figura 4.4 Matrices recortadas de imagen original

4.4 Redimensionando las imágenes

El siguiente paso en nuestro proceso es el redimensionamiento de las imágenes laterales que nos entregan los espejos a la imagen central que se obtiene directamente en la cámara digital. Debido a que el sistema contiene un par de espejos, causa el efecto de que las imágenes obtenidas sobre los espejos se vean de menor tamaño en comparación a la imagen central, ya que la amplificación de las imágenes esta relacionada con la distancia a la que se encuentran de la cámara, tal como se observa en la figura 4.4. Ya que las imágenes laterales están a mayor distancia que la lata, es necesario redimensionar para obtener las 3 imágenes en las mismas dimensiones. La manera que lo hacemos es con lo ancho en pixeles de la lata central contra la lata que vamos a redimensionar utilizando la siguiente ecuación:

$$\text{Factor de amplificación} = \text{ancho de pixeles de la lata} / \text{ancho de pixeles de la lata a redimensionar} \quad (4.1)$$

Con este factor de escalamiento redimensionamos utilizando interpolación para que tenga la misma escala que la lata central, primero interpolamos en una dirección y posteriormente en la

otra dirección (columnas y renglones), el tipo de interpolación que utilizamos es la interpolación lineal definida con la siguiente ecuación:

$$y = y \cdot a + (x - x \cdot a) \frac{(yb - ya)}{(xb - xa)} \quad (4.2)$$

En la figura 4.5 y 4.6 se muestra el redimensionamiento del eje x y y respectivamente de las imágenes laterales de la figura 4.2. Una vez redimensionadas las imágenes laterales el siguiente paso es desenvolver la lata.

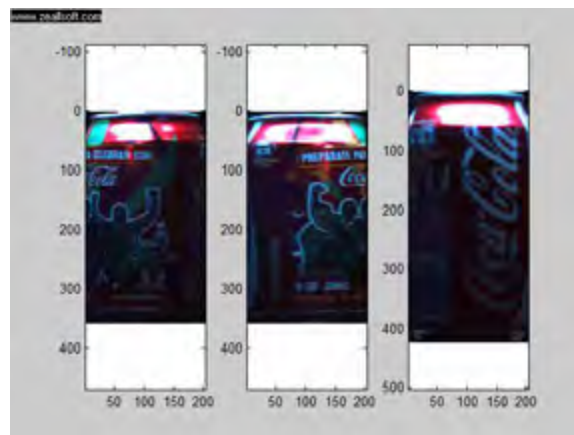


Figura 4.5 Imagen redimensionada en el eje x

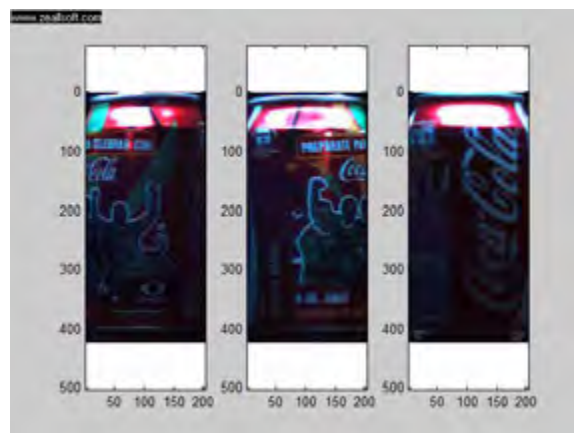


Figura 4.6 Imagen redimensionada en el eje y

4.5 Desenvolvimiento de la lata

Una vez que tenemos las tres sub-matrices de las mismas dimensiones tenemos que desenvolver la lata, esto quiere decir que necesitamos recuperar la forma cilíndrica de la lata, debido a la forma que tiene nuestro objeto a inspeccionar el cual en nuestro proyecto es una lata cilíndrica tenemos que hacer consideraciones especiales, ya que la cámara toma una imagen plana en dos dimensiones. Sin embargo, la lata tiene una superficie curva, por lo que la información obtenida en la imagen capturada no es la real, dando origen a la siguiente interpretación geométrica (ver figura 4.7).

La figura 4.7 nos da una vista superior de la lata, donde observamos la línea roja que representa la imagen tomada por la cámara, siendo esta de; $2 \times \cos(\pi/6) \times r$, aquí r es el radio de la lata. Sin embargo, el área real que se encuentra en la imagen es la superficie verde que se muestra en la figura 4.7 y esta dada por; $2 \times \pi \times r / 3$. Por lo que, se debe hacer una interpretación geométrica para eliminar la superficie curva del objeto y la imagen resultante sea la de la superficie efectiva. Lo que en realidad sucede es que; si tenemos líneas a la misma distancia de separación entre ellas, al tomar la imagen, las líneas de las orillas se observarían mas juntas entre si que las líneas centrales.

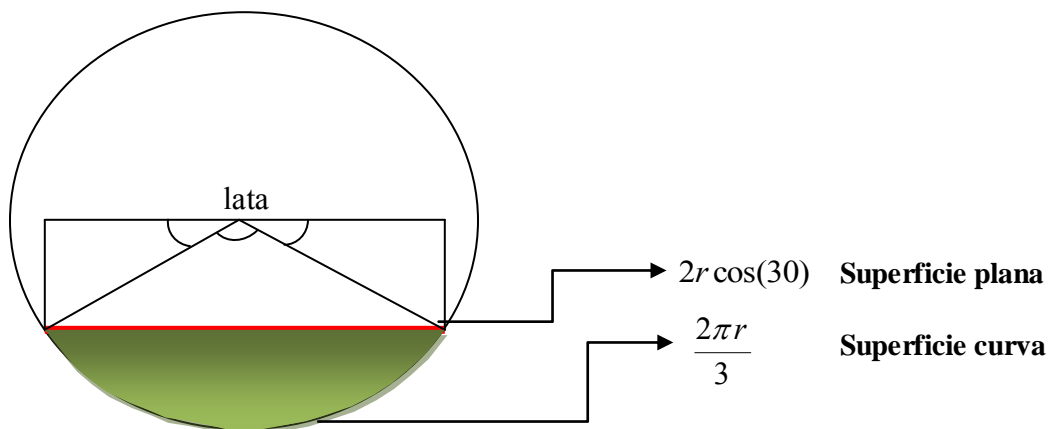


Figura 4.7 Interpretación geométrica

Con lo explicado anteriormente deducimos que la imagen tomada por la cámara debe ser nuevamente redimensionada por un factor de escalamiento que nos permita obtener la superficie efectiva que estamos analizando. El factor de escalamiento sería:

$$\text{Factor de escalamiento} = \frac{2\pi r}{3} = 1.209 \quad (4.3)$$

Cabe hacer mención que para redimensionar la imagen no va a ser linealmente, ya que por la superficie circular debe ser utilizada una ecuación para que se amplifique más en las orillas que en el centro, y que la diferencia entre la pendiente y la normal al plano sea mayor en las orillas que en el centro. Por lo que hicimos el siguiente análisis geométrico de tal manera que nos permita conseguir nuestro objetivo (ver figura 4.8).

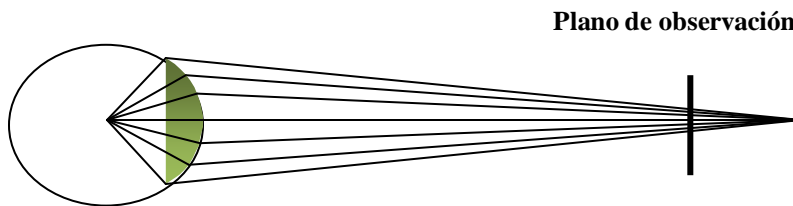
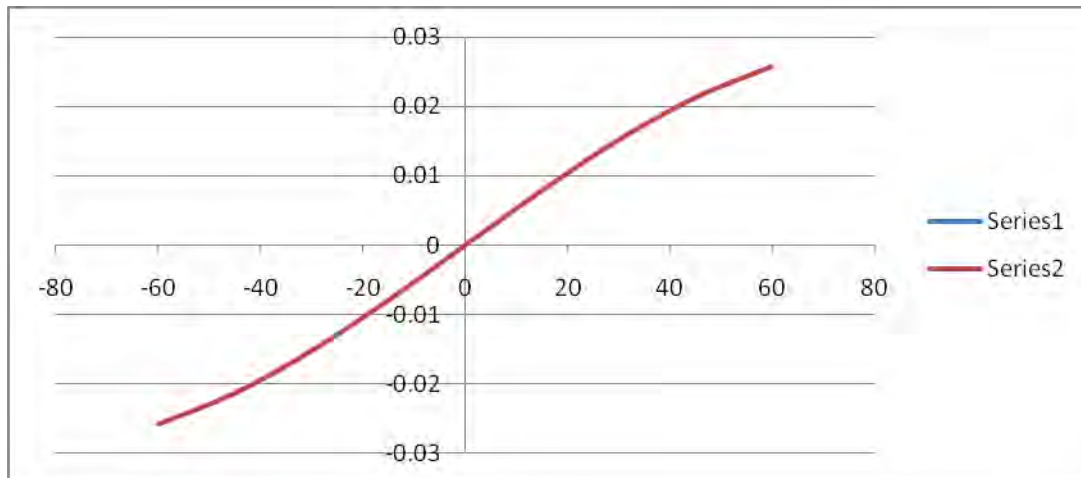


Figura 4.8 Trazo de rayos de la superficie de la lata al plano de observación.

Se hace un trazo de rayos a cada 15 grados de la superficie de la lata a lo largo de los 120 grados del ángulo de visión que tenemos sobre la superficie. Los rayos se proyectan al plano de observación (o en nuestro caso en el ccd de nuestra cámara digital) con ayuda de un software comercial (AutoCad). El trazo de rayos se hizo a escala y con la información obtenida se consigue la curva que se muestra en la figura 4.9. Esta curva que llamaremos de calibración será utilizada para la obtención de la imagen real.



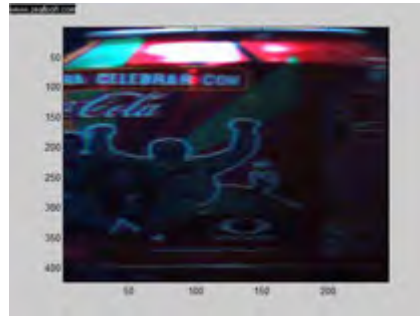
**Figura 4.9 Grafica para reconstrucción de la forma de la curva de la lata
(grados vs. distancias en *cm*)**

Para desenvolver la lata hacemos uso de la curva de calibración mostrada en la figura 4.9. La forma en que redimensionamos la imagen es en primer lugar dando valores a la imagen en ángulos en el rango de -60 grados a 60 grados, de esta manera cada columna de la imagen tendrá una posición en grados. Con la curva ubicamos que posición en milímetros le corresponde y así ubicarla en la nueva posición correspondiente.

Las imágenes de las figuras 4.10, 4.11 y 4.12 muestran los resultados obtenidos después de hacer uso de la grafica para reconstrucción de la forma curva de la lata, tal como se menciona en el párrafo anterior. Podemos observar claramente que la imagen original se expande de manera que la resultante queda en dimensiones reales. Ya que tenemos la información real de la lata en las imágenes, solo queda unirlos de manera que se vean los 360 grados en una sola imagen.



a)

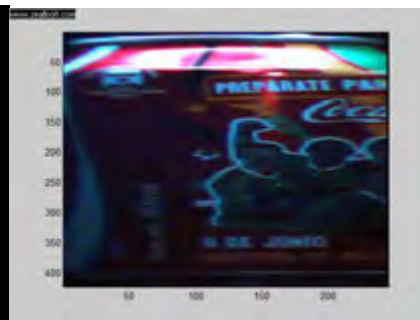


b)

Figura 4.10 a) Imagen original a 0 grados, b) Imagen redimensionada en 0 grados



a)

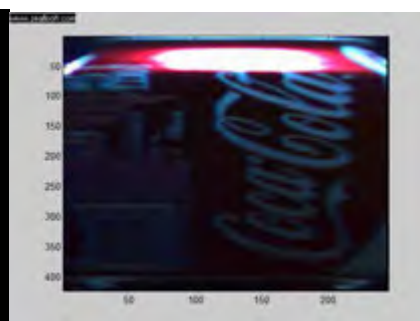


b)

Figura 4.11 a) Imagen original en 120 grados, b) Imagen redimensionada en 120 grados



a)



b)

Figura 4.12 a) Imagen original en 240 grados, b) Imagen redimensionada en 240 grados

4.6 Ordenamiento de imagen

El ordenamiento de la imagen es necesario hacerla debido a que el objeto en cuestión es una lata la cual generalmente viene impresa por la marca del producto, debido a que la problemática la estamos suponiendo, no tenemos la seguridad de que el objeto venga o no impreso cuando se les va a introducir el producto, así que si deseamos hacer una comparación directa con la imagen patrón será necesario asegurar que se encuentran en la misma posición antes de inspeccionarla. La forma de resolver este problema fue usando la siguiente ecuación:

$$v_m = \sum_{n=1}^N |M_{(1:N,m)}^p - M_{(c,m)}^d| \quad (4.3)$$

donde, v_m es resultado de la sumatoria de la comparación de cada columna, M^p es la imagen patrón y M^d es la imagen a ordenar. En palabras podemos explicarlo de la siguiente manera: se toma la sumatoria de la comparación de una columna de la imagen desordenada con cada una de las columnas de la imagen patrón. La posición del valor mínimo (v_m) de estas sumatorias se toma con la posición correcta de esa columna, se procede a colocarla en la posición correcta. El mismo procedimiento se hace para todas las columnas de la imagen a ordenar.

En la figura 4.13 se muestra un ejemplo de lo que se hace para ordenar un imagen. En la figura 4.13a se muestra un conjunto de curvas cerradas, esta imagen sería M^p . En la figura 4.13b se mezclo la imagen para crear una situacion de desordenamiento, aquí la imagen es M^d . En la figura 4.13c se muestra la comparación de una columana de M^d con las columnas de M^p . En la figura se puede ver el resultado graficar v_m , el valor minimo de v_m corresponde la posición correcta de la figura. El proceso se hace con todas las columnas de M^d , el resultado final se muestra en la figura 4.13d.

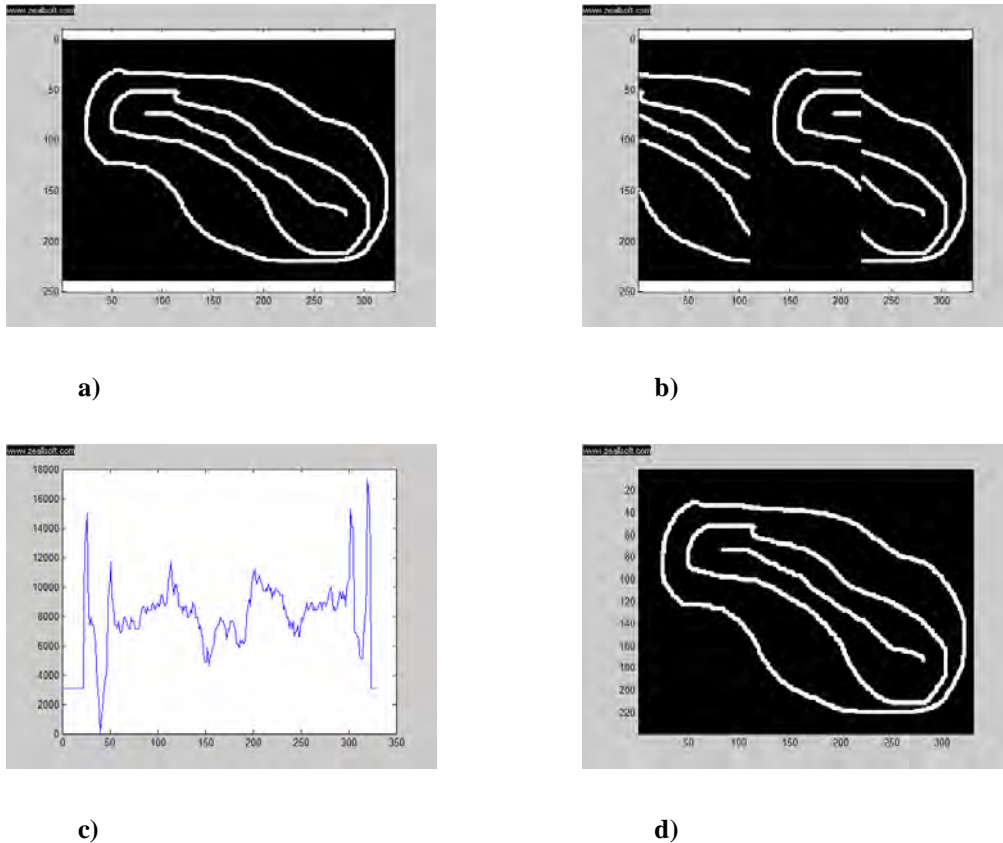


Figura 4.13 a) Imagen patrón, b) Imagen desordenada, c) Grafica resultante de aplicar la ecuación 4.4, d) Imagen final ordenada. En las figuras 4.

El procedimiento explicado en los párrafos anteriores se aplicó al ejemplo práctico en el que hemos estado trabajando en esta sección. En las figuras de 4.14-16 se muestran los resultados del ordenamiento de la imagen.

Una vez que tenemos ambas imágenes en el mismo orden, ya podemos obtener la descomposición de valores singulares para compararlos entre sí, de esta manera encontrar la diferencia entre ellos y según el valor resultante de error entre los valores singulares podemos definir las latas que están aptas para continuar en la línea de producción y cuáles deben ser desechadas por defectuosas.



Figura 4.14 Imagen patrón general



Figura 4.15 Imagen adquirida desorganizada



Figura 4.16 Imagen adquirida ordenada

Capítulo 5

Resultados experimentales

5.1 Introducción

En este capítulo continuamos con el proceso de inspección de la lata que se presentó en el capítulo anterior. El primer paso es establecer el umbral, el cual como lo vimos anteriormente, se obtiene entre la imagen patrón y la imagen con variación de intensidad. Posteriormente, se analizan la lata con diferentes defectos.

5.2 Resultados de la inspección

Después de una serie de experimentos entre diferentes latas, se estandarizó el valor de error máximo puesto que se busco un patrón de valores entre latas con defectos permitidos y latas rechazadas, gracias a ese estudio logramos establecer el parámetro para que el sistema interpretar por sí mismo cuando una lata es apta o no, y en el momento en que no lo sea pueda enviar una señal de tal forma que un actuador pueda quitar la lata de la línea de producción. En esta tesis solo se incluyo la alerta mencionada, dejando como trabajo a futuro la unión del sistema con el actuador.

El hecho de que sea un sistema de inspección automático, nos indica que este es lo suficientemente independiente para tomar la decisión del estado físico de la lata, aunque no tengamos un actuador en el proyecto, el hecho de que despliegue la ventana informativa indicándonos la condición de la lata lo hace un sistema de inspección automático.

En primera instancia, en la figura 5.1 muestra la imagen patrón la cual será evaluada contra objetos defectuosos, para compararlas en busca de que el sistema nos de un valor de error que sobre pase nuestro umbral, y de esta manera evaluar que el estado de la lata y definir que esta defectuosa al observar que efectivamente esta fuera del límite de aceptación.



Figura 5.1 Imagen patrón

Primeramente se busca el umbral comparado los valores singulares de la imagen patrón contra la imagen que varia en intensidad. Una vez encontrado el umbral, se compara la imagen patrón contra imágenes de latas con diferentes defectos. En la figura 5.2 -5 .4 se muestran imágenes de latas con defectos de rayón e impresión.



Figura 5.2 Imagen de lata con un rayón como defecto



Figura 5.3 Imagen de lata con defecto en la impresión.

El punto a seguir es obtener los valores singulares de cada objeto y compararlos entre si usando la ecuación (2.4b). En la figura 5.4 se muestra el error entre los valores singulares del análisis de las latas con diferentes defectos. La gráfica de color negro representa el error entre variaciones de intensidad y es el valor que se toma como umbral. La gráfica de color azul representa el error entre la lata patrón y lata con un rayón como defecto. Las graficas roja y verde representan el error entre la lata patrón y latas con defecto en la impresión.

Se puede observar que las diferencias son evidentes y nos permiten establecer diferencias entre el umbral establecido y los errores con latas defectuosas. Al integrar las curvas de la figura 5.4 obtenemos valores de 3.7570, 42.2981, 22.2752 y 23.3391. Por lo que un umbral de 5 seria el adecuado para este caso en particular.

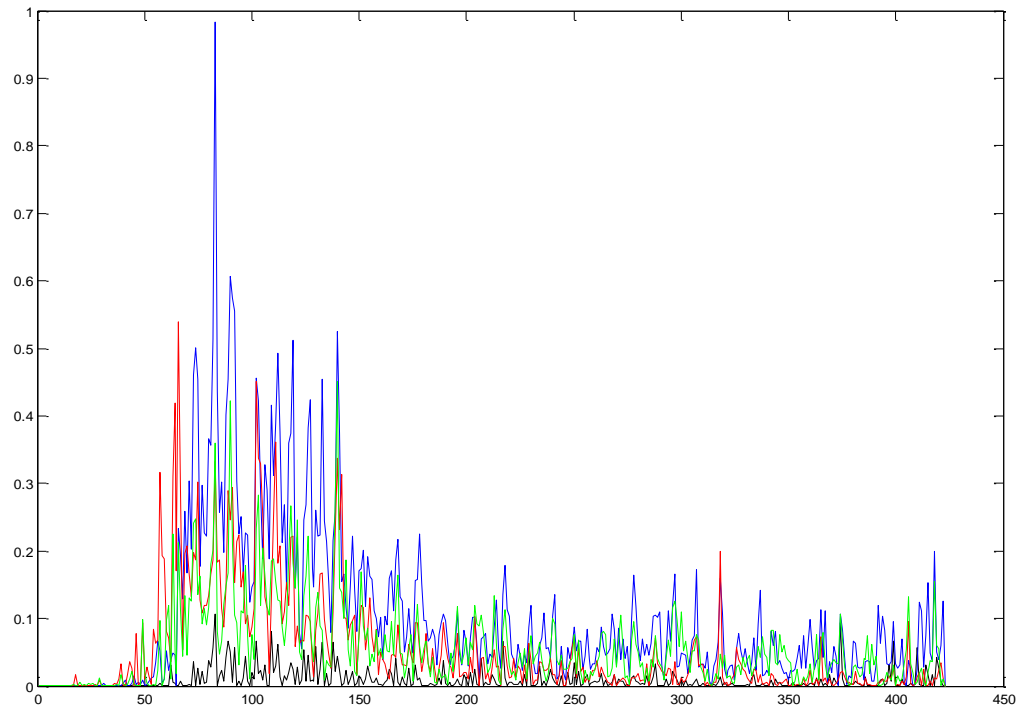


Figura 5.4 Errores en los valores singulares para las latas analizadas.

Una vez que ya evaluamos los valores de error obtenidos, al compararlos con el valor del umbral se definirá si el objeto es apto para continuar con el proceso de producción, en los ejemplos que mostramos queda claro que los objetos inspeccionados no son aptos para introducirles el producto, como se menciona al inicio de esta tesis, se queda como trabajo a futuro el acoplamiento de este sistema con un actuador, por el momento la decisión será tomada y como resultado se desplegará una ventana emergente indicándonos el estado de la lata, estas ventanas emergentes se muestran en las figuras 5.5 y 5.6.

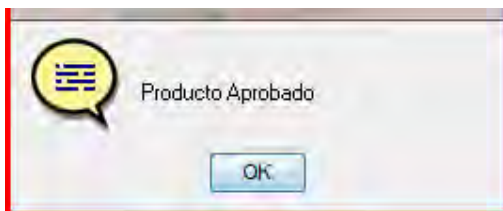


Figura 5.5 Mensaje mostrado aprobatorio

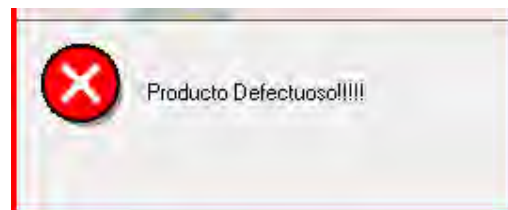


Figura 5.6 Mensaje mostrado rechazado

Con lo anterior podemos asegurar que el sistema es autónomo y capaz de decidir con ayuda de la estandarización si la lata es apta para que se le introduzca el producto o si es necesario extraerla de la línea de producción.

5.3 Conclusiones y trabajo futuro

A través de la realización de este proyecto se demostró que es posible inspeccionar el estado de la lata utilizando la herramienta matemática de descomposición de valores singulares. Se pudo estandarizar el error de manera que quedara automatizada la selección de latas aptas y no aptas para introducirles el producto, dejando de esta manera un sistema confiable y robusto

Un punto que se pudo comprobar es que existen algunos casos donde la inspección de algún producto no es trivial con la utilización de correlación dando como resultado que para este caso en particular fue mucho más simple utilizar el método de descomposición de valores singulares por lo tanto puede ser utilizada para inspección en algunos casos específicos donde no es posible utilizar correlación.

De igual manera se observó que en cuestión de tiempo de procesamiento es mucho más rápido hacer uso de la herramienta de descomposición de valores singulares en comparación con la herramienta de correlación dándole un punto más a favor de esta herramienta.

Durante el desarrollo de este trabajo se observó que existen demasiadas áreas de oportunidad en las empresas debidas a que continuamente se busca la excelencia y la calidad total en los productos. Para tener un ahorro económico y poder acrecentar las ganancias se necesita tener control visual en bastantes puntos específicos dentro de la línea de producción para evitar reproceso, desperdicio de material o de producto, inspección de calidad y también evitar accidentes, motivo por el cual este tipo de proyectos nos permite demostrarles a los empresarios que podemos ofrecerles grandes mejoras en su línea de producción.

Como trabajo futuro queda hacer pruebas en movimiento ya que este análisis fue hecho de manera estática, por lo que el principal trabajo a futuro sería realizar pruebas dentro de la línea de producción y observar los resultados para posteriormente hacer los ajustes pertinentes de manera que sea funcional en niveles de operacionales dentro de una línea de producción.

Referencias

1. Ooi, J., Rao, K., New insights into correlation-based template matching. In: Proceedings of SPIE, V. 1468, Applications of Artificial Intelligence IX, Orlando, FL, pp. 740-751, (1991).
2. Brunelli, R. & T. Poggio, Face Recognition: Features versus Templates, IEEE Transactions on PAMI, 15(10):1042-1052 (1993).
3. Ewa Skubalska-Rafajłowicz, Local correlation and entropy maps as tools for detecting defects in industrial images, Int. J. Appl. Math. Comput. Sci., Vol. 18, No. 1, 41–47, (2008).
4. Gene H. Golub and Charles F. van Loan, “*Matrix Computations*”, 3rd edition, Johns Hopkins University Press (1996).
5. Dana H. Ballard and Christopher M. Brown, “*Computer Vision*” Prentice Hall (1982).
6. Marius Schmidt “Application of singular value decomposition to the analysis of time-resolved macromolecular x-ray data” Biophysical society, Physik-department E17, Technische Universitaet Muenchen, Garching, Germany; Department of Biochemistry and Molecular Biology, University of Chicago, Illinois.
7. Debashis Ghosh “Singular value decomposition regression models for classification of tumors from microarray experiments” Department of Biostatistics, University of Michigan.

8. Chi-Jie Lu “Automatic defect inspection for LCDs using singular value decomposition” Springer-Verlag London Limited 2004.
9. <http://www.puffinwarellc.com/index.php/news-and-articles/articles/30-singular-value-decomposition-tutorial.html?start=2>
10. Gonzalez R. C. and Woods, R. E. (1992) Digital Image Processing. Addison-Wesley reading, MA,1992.
11. Schoff C. K. “Defectos en superficies: diagnóstico y solución” Journal of coatings technology. Enero de 1999
12. Chang, M.-C., Fuh, C.-S., Chen, H.-Y., 2001. Fast search algorithms for industrial inspection. International Journal of Pattern Recognition and Artificial Intelligence 15, 675-690.
13. Kim, J. H., Cho, H. S., Kim, S., 1996. Pattern classification of solder joint images using a correlation neural network. Engineering Applications of Artificial Intelligence 9, 655-669.
14. Penz, H., Bajla, I., Vrabl, A., Krattenthaler, W, Mayer, K., 2001. Fast real-time recognition and quality inspection of printed characters via point-correlation. In: Proceedings of SPIE, V. 4303, San Jose, CA, pp. 127-137.
15. Sato, K., Kan’no, H., Ito, T., 1991. System for inspecting pad-printed characters using the normalized correlation of the segmented character images. In: Proceedings of the International Conference on Industrial Electronics, Control and Instrumentation-IECON’91, Los Alamitos, CA, pp. 1929-1932.

16. Vijaya Kumar, B. V. K., Venkataramani, K., Savvides, M., 2002. Efficient methods for correlation-based automatic target recognition. In: Proceedings of SPIE, V. 4726, Orlando, FL, pp. 183-192.
17. Hideki Hayakawa, "Photometric stereo under a light source with arbitrary motion," J. Opt. Soc. Am. A **11**, 3079-3089 (1994)
18. P. J. Besl, "Geometric modeling and computer vision," Proc. IEEE, vol. 76, no. 8, pp. 936-958, Aug. 1988.
19. Pernkopf, Franz (2005) 3D surface analysis using coupled HMMs. *Machine Vision and Applications* 16(5)

Plan de negocios

Resumen ejecutivo

El proyecto que lleva por nombre “*Sistema Óptico para identificación de defectos en una línea de producción*” es un desarrollo tecnológico basado en la necesidad de las empresas de globalizarse, debido a que actualmente existe competencia prácticamente en todos los mercados, esto provoca que las empresas tengan que ofrecer un plus en contra sus competidores de manera que sus productos se destaquen, esta necesidad da cabida a este proyecto ya que el poder asegurarle al cliente que el producto que esta consumiendo fue inspeccionado y cumple con las condiciones de calidad requeridas. Generalmente la inspección de calidad es realizada parcialmente, esto quiere decir que solo se inspecciona una cierta cantidad de productos de cada lote de producción y no en todos los productos creados, dejando un espacio al error, quedando como una posibilidad que el producto no se encuentre en condiciones favorables.

Una de las grandes ventajas es que el sistema utilizado no es de alto costo ya que se mantiene lo más simple posible, sin embargo el beneficio es alto de manera que no necesita ser inspeccionado por personal, ya que la inspección del personal se puede ver afectada por el estado de ánimo o parámetros externos.

Inicialmente este proyecto se limitará a la inspección y evaluación de calidad de latas, pero en principio puede ser utilizado en otros productos, de igual manera, todo el trabajo posterior dependerá de los conocimientos adquiridos a través de la experiencia en el campo de trabajo y necesidades requeridas por el consumidor.

Misión

Estandarizar el control de calidad con un sistema de inspección automático de manera que se inspeccionen cada uno de los productos dentro de la línea de producción, de esta manera ofrecer como plus la calidad total de los productos.

Visión

Llegar a ser una empresa líder en el área de automatización de manera que se genere un nicho de mercado para los optomecatrónicos, así como ofrecer una competencia nacional contra la importación de estos sistemas, al igual que ofrecer costos menores a la competencia de manera que los productos no eleve los costos y afecten la economía nacional.

Análisis FODA

Fortalezas

Ubicación geográfica

Para garantizar una atención rápida y efectiva ante posibles fallas en los proyectos realizados, al igual que alguna propuesta de proyecto, el hecho de que la empresa se encuentre dentro del país se evitaría largas horas de espera de atención así como los altos costos de viáticos, ya que la mayoría de empresas de este tipo se encuentran en otros continentes las cuales cobran desde el momento en que salen de sus instalaciones.

Iniciativa

Uno de los puntos principales de esta empresa es la iniciativa, ya que la proposición de proyectos ofrece la mejora en su empresa destacándonos como emprendedores.

Empatía

Las necesidades del cliente serán comprendidas en su totalidad gracias a que esta empresa cuenta con experiencia en ingeniería al igual que como consumidor, dando como resultado proyectos confiables.

Toma de decisiones

Empresa con capacidad y experiencia para tomar decisiones bajo presión y con alto nivel de innovación permitiéndonos elegir la mejor propuesta de solución para el proyecto en cuestión.

Planeación

La planeación es un punto fundamental de esta empresa, ya que el cumplimiento en fecha de entrega será indispensable para competir contra la competencia, y de la misma manera para establecer un lazo de confianza con el cliente para futuras recomendaciones.

Pensamiento crítico

La experiencia adquirida dentro de nuestra formación académica será de gran utilidad para tener un pensamiento crítico, ya que dentro de las industrias existen varios parámetros que forman parte del área donde será introducido el proyecto, sin embargo es necesario evaluar cuales de estos parámetros son de utilidad para la fácil realización de nuestro proyecto así como la confiabilidad del mismo.

Investigación

El ramo de la automatización va de la mano con la tecnología, y como es de conocimiento general, la tecnología avanza a pasos agigantados obligando a todas las empresas de este ramo a mantenerse en constante investigación, dada nuestra formación académica, la investigación es algo esencial dentro de nuestra empresa.

Ventajas competitivas

1. Bajos costos en comparación con competencia debido a que se evitan los gastos de importación y traslado internacional
2. Sistemas simples, lo cual necesita una inversión inicial de bajo nivel
3. Competencia nacional no conocida, lo cual hace de esta empresa una opción única conocida dentro del país

4. Proyectos de bajo costo, lo cual le da la oportunidad también a empresas de bajo nivel de crecer tecnológicamente.
5. Creando opciones nacionales para la solución de sus necesidades de automatización.

Debilidades

Respaldo

El respaldo será un punto en contra ya que la competencia tiene años en el mercado y tiene varios proyectos que lo respaldan, a diferencia de nuestra empresa que recién comienza.

Tiempo de entrega

Debido a que al inicio la empresa contara con poco personal, los proyectos llevaran un poco mas de tiempo.

Inversión inicial

Debido a que la empresa se encuentra en sus inicios requerirá de capital externo para la realización de sus primeros proyectos, así como publicidad y viáticos.

Oportunidades

Innovación

Esta área de inspección automática es un área que está en pleno auge en el mercado, y la mayoría de las empresas transnacionales requiere este tipo de sistemas por la cuestión de calidad total en sus productos, por lo que es una gran oportunidad de crecimiento para nuestra empresa ya que no se conocen competidores dentro del país.

Tendencia tecnológica en las industrias

La necesidad de las industrias de perfeccionar sus procesos y ofrecer una garantía total de calidad a sus consumidores, abre una gran oportunidad para nuestra empresa ya que podemos satisfacer esas necesidades de las industrias.

Mercado

En nuestro país se encuentra una gran cantidad de empresas transnacionales, dándonos una gran cantidad de posibilidades para comenzar, de igual manera México cuenta con una gran cantidad de pequeñas y medianas empresas con potencial de crecimiento tecnológico.

Amenazas

Ganar confiabilidad

Al inicio el factor de no tener proyectos que nos respalden será una gran amenaza, ya que las empresas prefieren pagar altos precios con empresas reconocidas internacionalmente, que probar con empresas nuevas y con menor costo en sus proyectos.

Financiación del proyecto

Debido a que la empresa no cuenta con el capital suficiente para la realización completa de un primer proyecto, se requerirá que el cliente de un anticipo o conseguir un patrocinador lo cual es una amenaza contra el crecimiento a corto plazo de nuestra empresa.

Finanzas

Dispositivo	Descripción	Cantidad	Costo
LAMPARA DE ARO	Sistema de iluminación	2	1000
ESPEJOS	Sistema de reflexión	2	500
MONTURAS	Bases para los espejos y cámara	4	10,000
Cámara	Dispositivo para la obtención de la imagen	1	25,000
CPU	Unidad procesadora para la evaluación de la imagen	1	17,000
software	Algoritmo automático capaz de evaluar el estado físico del producto	1	50,000
Mano de obra	Armado del sistema de inspección y pruebas del mismo	*	45,000
Instalación	Montaje y calibración	*	10,000
TOTAL	*	*	158,500
UTILIDAD	*	20%	31,700
PRECIO DE VENTA	*	*	190,200