

**UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA**

**Facultad de Ciencias y Humanidades  
Departamento de Computación**

**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE  
CALIDAD PARA CORCHOLATAS, EN EL  
ENVASADO DE BEBIDAS GASEOSAS, CON BASE  
EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS  
“PIXELES” DE SUS IMÁGENES EN TONOS  
GRISES**

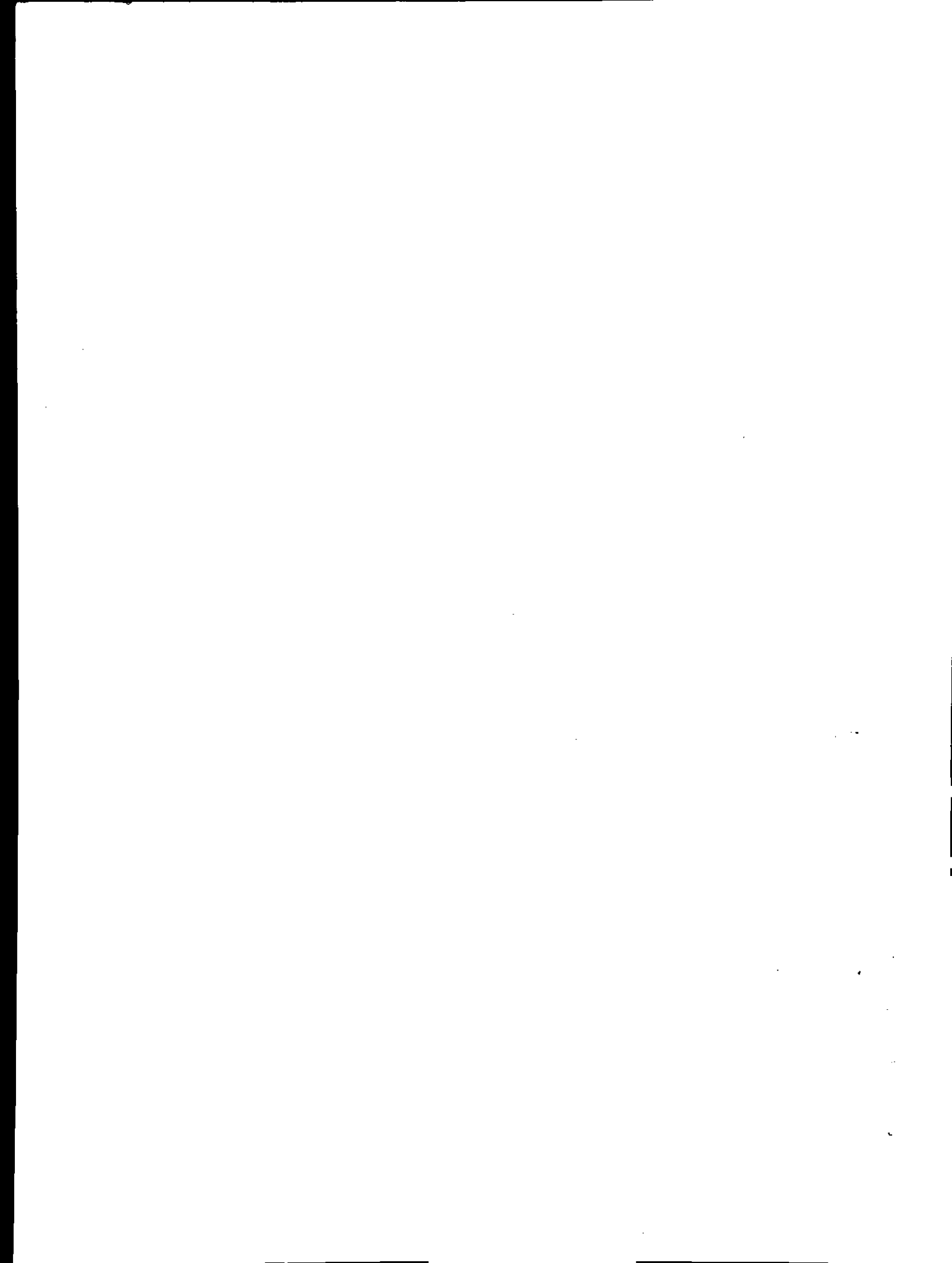
**FREDDY ARMANDO VELASQUEZ GIRON**

Guatemala

2,001



**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE  
CALIDAD PARA CORCHOLATAS, EN EL  
ENVASADO DE BEBIDAS GASEOSAS, CON BASE  
EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS  
“PIXELES” DE SUS IMÁGENES EN TONOS  
GRISES**



UNIVERSIDAD DEL VALLE DE GUATEMALA

Facultad de Ciencias y Humanidades  
Departamento de Computación

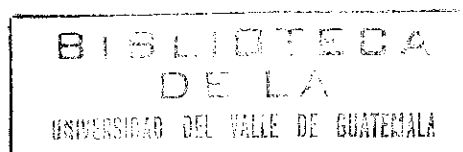
**DISEÑO DE UN SISTEMA DE CONTROL DE  
CALIDAD PARA CORCHOLATAS, EN EL  
ENVASADO DE BEBIDAS GASEOSAS, CON BASE  
EN EL ANÁLISIS ESTADÍSTICO DE LOS  
“PIXELES” DE SUS IMÁGENES EN TONOS  
GRISES**

FREDDY ARMANDO VELASQUEZ GIRON

Trabajo de graduación presentado para optar  
al grado académico de  
Magíster Scientiae en Tecnología y Ciencias de la  
Computación

Guatemala

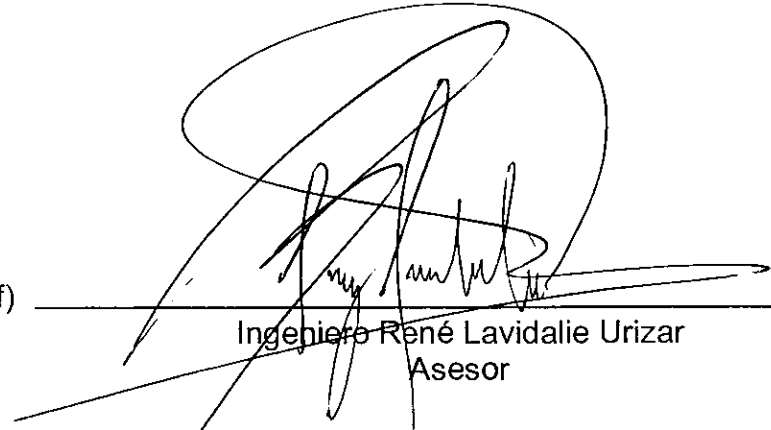
2,001





Vo.Bo.:

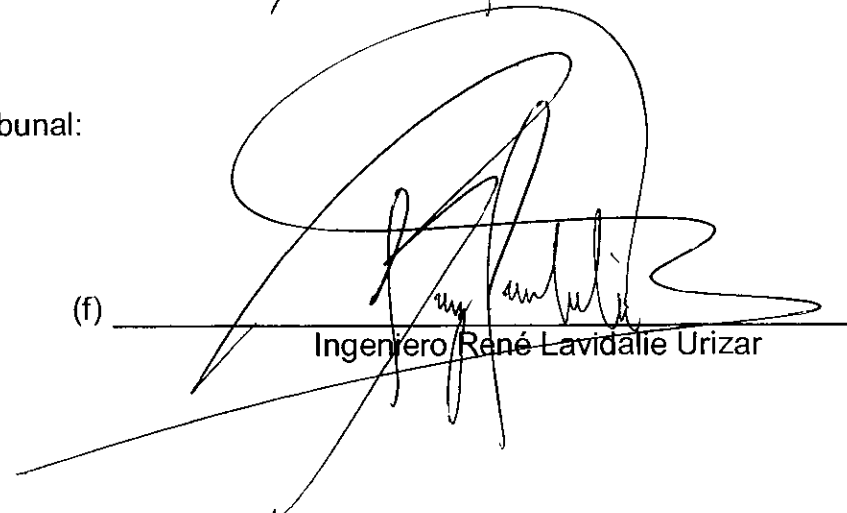
(f)



Ingeniero René Lavidalie Urizar  
Asesor

Tribunal:

(f)



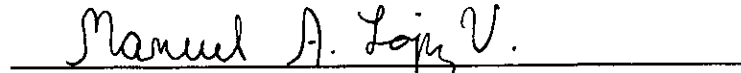
Ingeniero René Lavidalie Urizar

(f)



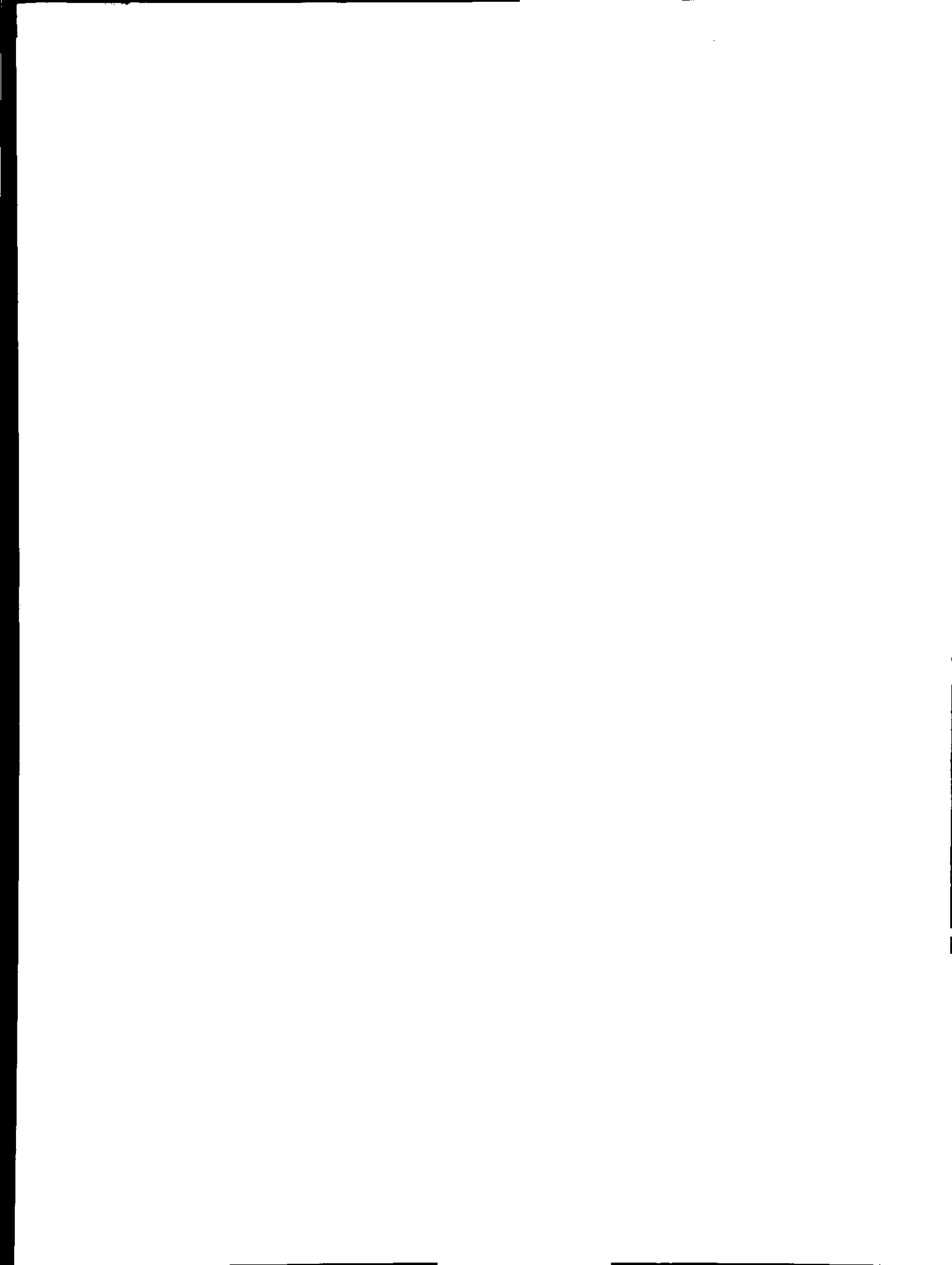
Ingeniera Patricia Castillo

(f)



Doctor Manuel A. López

Fecha de aprobación: 05 de julio del 2,001



*Dedicado a mi esposa y compañera  
Zully Maricela, por todo su amor, apoyo  
y paciencia para conmigo...*



# CONTENIDO

I. INTRODUCCION .....	1
II. NOCIONES PRELIMINARES .....	5
A. JUSTIFICACIÓN.....	5
B. PROCESO DE PRODUCCIÓN.....	7
1. Etapa de llenado del líquido .....	7
2. Etapa de sellado de la botella.....	9
C. ESPECIFICACIONES TECNICAS.....	13
D. NOCIONES BASICAS SOBRE ILUMINACION .....	14
1. Iluminación difusa direccional.....	15
2. Iluminación por detrás difusa.....	16
3. Iluminación Omni-direccional difusa .....	17
4. Iluminación direccional lateral o grassing .....	18
5. Lámparas de iluminación.....	19
i. Lámparas de Incandescencia .....	19
ii. Lámparas Halógenas.....	20
iii. Lámparas Fluorescentes.....	21
III. LA IMAGEN DIGITAL Y SU HISTOGRAMA.....	23
A. REPRESENTACIÓN DIGITAL Y VISUALIZACIÓN .....	23
B. EL HISTOGRAMA .....	26
IV. TEORIA DE FUNCIONAMIENTO.....	37
A. PRINCIPIO DE OPERACIÓN .....	38
B. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO .....	39
1. Captura de Imagen y Obtención de Parámetros e Histograma: .....	39
C. AREA DE INTERES: .....	42
D. SUAVIZADO DE LA CURVA.....	43
E. COMPARACION CONTRA PATRON:.....	47
F. GENERACION DE PATRON .....	51
G. ANALISIS DE VARIACIONES DE INTENSIDAD EN LAS IMAGENES .....	52
H. ANALISIS DE VARIACIONES DE ROTACION DE LA TAPA.....	54
I. TEORIA DE DETECCION DE FALLAS.....	57
V. DISEÑO DE LA APLICACIÓN PROPUESTA.....	67
A. TIPO DE IMAGEN: .....	68
B. FORMATO DE IMÁGENES:.....	69

C. NO REPETICION DE PATRONES:.....	69
D. DIAGRAMA ESTRUCTURAL.....	70
1. Cámara B & N (Blanco y Negro).....	72
2. Sincronizador.....	72
3. Computadora de análisis.....	73
4. Válvula de expulsión.....	76
E. ARQUITECTURA DEL PROGRAMA.....	77
F. ETAPA DE ANALISIS.....	80
1. Generación de Histograma de Imagen.....	81
2. Normalización y Estadísticas.....	84
3. Comparación de Histogramas.....	87
4. Análisis y registro.....	89
5. Eliminación de tapa.....	91
G. ETAPA DE CREACION DEL PATRON.....	92
1. Generación de Histograma Patrón.....	92
2. Promedio.....	94
3. Histograma Patrón.....	96
H. IMPLEMENTACION DE PROGRAMA DE ANALISIS:.....	98
1. Máscara (IMAQ MASK):.....	102
2. Histograma (IMAQ HISTOGRAM):.....	103
3. Valor de un Píxel (IMAQ GETPIXELVALUE).....	104
4. Suma (IMAQ ADD).....	104
5. Comparación (IMAQ COMPARE).....	105
6. Correlación (IMAQ CORRELATION).....	106
VI. DISEÑO ELECTRONICO.....	107
A. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES.....	109
B. CAMARA DE VIDEO.....	114
C. SENSOR DE PROXIMIDAD.....	117
D. ELECTROVALVULA.....	119
E. DISEÑO ELECTRÓNICO.....	120
VII. EVALUACIÓN TÉCNICO ECONOMICA PARA EL SISTEMA.....	123
A. ANÁLISIS ECONOMICO DE COSTOS AL INSTALAR EL SISTEMA.....	123
VIII. CONCLUSIONES.....	129
IX. RECOMENDACIONES.....	131
X. GLOSARIO.....	133
XI. BIBLIOGRAFÍA.....	141

## LISTADO DE ILUSTRACIONES

2.1. Llenadora-Coronadora .....	10
2.2. Detalle de Llenadora .....	11
2.3. Detalle de la Coronadora .....	12
2.4. Diagrama de la Tapa.....	13
2.5. Iluminación Difusa Direccional .....	15
2.6. Iluminación por detrás difusa .....	16
2.7. Iluminación Omni-direccional difuso .....	17
2.8. Iluminación Direccional Lateral o Grassing.....	18
3.1. Imagen básica ampliada con tipo de píxel en escala de grises .....	24
3.2. Imagen con tipo de píxel en escala de grises .....	25
3.3. Foto de Gaviota .....	28
3.4. Foto de persona.....	33
3.5. Foto de Textura.....	35
4.1. Imagen Tapa Crush .....	40
4.2. Imagen para análisis con sobre intensidad de luz .....	52
4.3. Imagen para análisis con rotación .....	54
4.4. Imagen para análisis con punto negro .....	57
4.5. Imagen para análisis doblada .....	60
4.6. Imagen para análisis Tiky .....	62
4.7. Imagen para análisis Uva .....	63
4.8. Imagen para análisis Gallo.....	63
4.9. Imagen para análisis Tapa volteada .....	65
5.1. Diagrama Estructural .....	71
5.2. Arquitectura de Programa de Análisis.....	79
5.3. Diagrama de Flujo 1.....	83
5.4. Diagrama de Flujo 2.....	86
5.5. Diagrama de Flujo 3.....	88
5.6. Diagrama de Flujo 4.....	90
5.7. Diagrama de Flujo 5.....	91

5.8. Diagrama de Flujo 6 .....	93
5.9. Diagrama de Flujo 7 .....	95
5.10 Diagrama de Flujo 8.....	97
5.11 Interfase de programación LabVIEW .....	100
5.12 Tipo de Programación LabVIEW .....	101
5.13 Máscara (IMAQ MASK) .....	102
5.14 Histograma (IMAQ HISTOGRAM) .....	103
5.15 Valor de un Pixel (IMAQ GETPIXELVALUE).....	104
5.16 Suma (IMAQ ADD) .....	104
5.17 Comparación (IMAQ COMPARE).....	105
5.18 Correlación (IMAQ CORRELATION).....	106
6.1. Sistema Electrónico .....	108
6.2. Tarjeta de Adquisición de Imágenes.....	111
6.3. Modo Asíncrono.....	112
6.4. Circuito de dos Voltajes .....	113
6.5. Foto de Cámara.....	114
6.6. Esquema de conexiones .....	116
6.7. Foto Sensor de Proximidad .....	118
6.8 Diagrama de conexiones .....	119
6.9 Diseño Electrónico.....	122

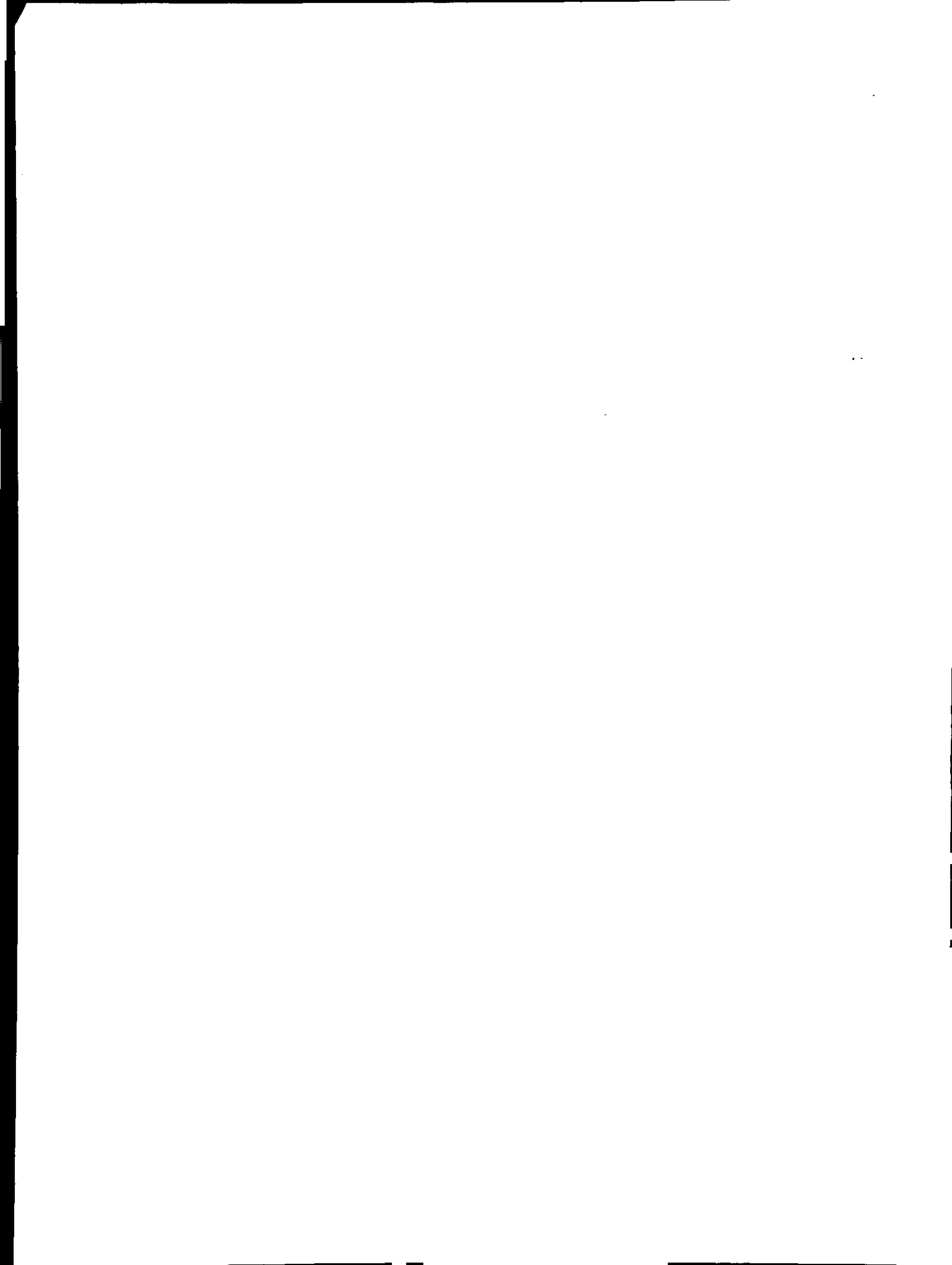
## LISTADO DE TABLAS

3.1. Tabla Nivel de Grises y Cantidad de Píxeles en Ilustración 3.3.....	29
4.1. Tabla Niveles y Promedios de Ilustración 4.1.....	45
4.2. Tabla de Resultados de Ilustración 4.1.....	50
4.3. Tabla de Resultados de Ilustración 4.1 y 4.2.....	53
4.4. Tabla de Resultados de Ilustración 4.1 y 4.3.....	56
4.5. Tabla de Resultados de Ilustración 4.1. y 4.4.....	59
4.6. Tabla de Resultados de Ilustración 4.1. y 4.5.....	61
4.7. Tabla de Resultados de Ilustración 4.1. y 4.6. 4.7. 4.8.....	64
4.8. Tabla de Resultados de Ilustración 4.1. y 4.9.....	66
5.1. Capacidad del Equipo de Cómputo Elegido.....	74
5.2. Carga Computacional por imagen a 100 dpi.....	75
6.1. Terminal y Función.....	116
7.1. Costos de Materiales.....	124
7.2. Costos de Desarrollo e Instalación.....	125
7.3. Costos Totales.....	126



## LISTADO DE GRAFICAS

3.1.Histograma de Ilustración 3.3.....	31
3.2.Histograma Acumulativo de Ilustración 3.3. ....	31
3.3.Histograma de Ilustración 3.4.....	34
3.4.Histograma Acumulativo de Ilustración 3.4. ....	34
3.5.Histograma de Ilustración 3.5.....	36
3.6.Histograma acumulativo de ilustración 3.5.....	36
4.1.Histograma de Ilustración 4.1.....	41
4.2.Histograma Acumulativo de Ilustración 4.1.....	41
4.3.Área de Interés de Ilustración 4.1. ....	43
4.4.Curva Suavizada de Ilustración 4.1.....	47
4.5.Histograma Promediado de la Ilustración 4.1 y 4.2.....	53
4.6.Histograma Promediado de Ilustración 4.1 y 4.3.....	55
4.7.Histograma Promediado de Ilustración 4.1 y 4.4.....	58
4.8.Histograma Promediado de Ilustración 4.1 y 4.5.....	61
4.9.Histograma Promediado de Ilustración 4.6. 4.7 4.8 .....	64
4.10.Histograma Promediado de Ilustración 4.1. y 4.9.....	66



# I. INTRODUCCION

La visión del hombre de desarrollar sistemas inteligentes, dotados con funciones y capacidades similares a las de los humanos, puede ser remontada a la antigüedad; posteriormente, muchas novelas de ciencia-ficción han tratado el tema sin que necesariamente hayan tenido una base científica; sin embargo en la actualidad el avance tecnológico permite de alguna manera la emulación de algunas capacidades y procesos relacionados con la visión como lo son: la segmentación de imágenes y el análisis de histogramas.

Esta propuesta es un primer esfuerzo por desarrollar un sistema funcional que permita la inspección de algunas características básicas de una tapa metálica a través del análisis de histogramas. El objetivo fundamental es buscar un planteamiento viable que permita el desarrollo de un sistema que pueda ser integrado para mejorar el proceso de inspección de calidad.

La percepción visual es un problema complejo debido a la necesidad de inferir nociones de profundidad a partir de la proyección del mundo sobre el plano de la imagen. Las soluciones propuestas a este problema versan

básicamente en la consideración simultánea de varios puntos de vista (especialmente visión estéreo) o en el análisis de secuencias de imágenes.

Existen además propuestas que pretenden reducir el problema a uno bidimensional mediante la presuposición de ciertas características en el entorno o mediante la estructuración del mismo, como en el presente caso. La carga computacional asociada a la percepción visual es generalmente muy alta, siendo esta seguramente la principal razón de su poca difusión, sobre todo cuando se imponen requisitos de tiempo real. Sin embargo, con una correcta delimitación y estructura del problema, permite reducir esta carga computacional a un nivel medio, esto aunado a los incesantes avances tecnológicos está llevando a la viabilidad computacional y económica este tipo de sistemas.

La producción en serie conlleva necesariamente un margen de error o piezas defectuosas, las cuales pueden ser provocadas por muchas causas, como son materia prima defectuosa, fallas mecánicas, mala configuración de maquinaria, falta de experiencia de los operarios, etc. El no depurar los lotes de piezas fabricadas conlleva un riesgo alto de rechazo de todo el lote por defectos de fabricación, lo cual repercute en una elevación de costos de operación para este tipo de empresas. Por lo tanto, un sistema como el aquí propuesto contribuye al mejoramiento de la calidad y la economía de las mismas.

Los objetivos propuestos del presente trabajo son los siguientes:

#### OBJETIVOS GENERALES

- I. Contribuir al desarrollo de la tecnología en el ámbito nacional, a través de una propuesta concreta.
- II. Aplicar la práctica de ingeniería en un caso específico.
- III. Generar un documento que sirva de guía con los suficientes lineamientos para desarrollar el sistema propuesto.
- IV. Generar una propuesta viable y realizable en la práctica.

#### OBJETIVOS ESPECIFICOS

- V. Presentar de forma clara y detallada el principio de funcionamiento del sistema.
- VI. Presentar un diseño práctico a nivel de bloques del sistema propuesto.
- VII. Generar seis histogramas a partir de imágenes reales en situaciones simuladas para algunos casos particulares como demostración de la viabilidad de la propuesta.
- VIII. Presentar un análisis técnico-económico sobre la viabilidad de la propuesta.



## **II. NOCIONES PRELIMINARES**

En este capítulo se pretende dar al lector una idea clara de la forma de utilización de las tapas metálicas para refrescos embotellados, así como de los problemas que se tienen debido al manejo de las mismas.

Existen situaciones incontrolables, que pueden deformar la tapa metálica y que, si no son detectados, pueden provocar que se dañe la botella durante la etapa de sellado.

### **A. JUSTIFICACIÓN**

La producción en serie de bebidas gaseosas embotelladas tiene varias etapas, una de ellas es la colocación de la tapa y sellado de la botella. Algunos problemas típicos de esta etapa son derivados de situaciones que son difíciles de controlar, como por ejemplo:

- Mezcla de tapas de distintos lotes de producción (en el caso de que una misma línea de producción se use para varias marcas de bebida).

- Debido al manejo de las tapas existe el riesgo de daño, doblez o desgaste de la impresión por el manejo de las tapas.
- Mala posición o alineación de la tapa (por ejemplo que entre doblada o boca abajo).
- Defectos de fabricación.
- Defectos de impresión.
- Variación de color.

Debido a la alta velocidad de producción de las bebidas embotelladas, la supervisión del ser humano queda muy limitada y es vulnerable a problemas como cansancio, poca experiencia, descuido, rotación de personal, etc. La propuesta pretende demostrar que es viable la diferenciación de tapas de distinto logotipo y la detección de algunos tipos de defecto a través del análisis de histogramas obtenidos a partir de una imagen en tonalidad gris de la tapa.

La sola posibilidad de aplicación futura de esta técnica de análisis hace justificable el trabajo de tesis ya que este constituye una base teórica y un punto de partida, lo cual puede repercutir en un avance en los procesos de producción con alta tecnología en el país.

## **B. PROCESO DE PRODUCCIÓN**

La industria de bebidas gaseosas requiere de una gran eficiencia en sus distintas etapas de producción. Una de las partes del proceso es el embotellado y sellado. A través de los años, esta industria ha tenido una gran ayuda por parte de la tecnología para dichos procesos. Este proceso puede ser realizado por una máquina especializada, usualmente en dos etapas: llenado del líquido y sellado de la botella.

### **1. Etapa de llenado del líquido**

La llenadora es la primera parte de la máquina, que se utiliza para limpiar y llenar las botellas previamente lavadas. Para cumplir con este objetivo eficientemente, tiene un gran número de válvulas de llenado, las cuales tienen sensores electrónicos que miden el nivel del líquido en la botella, logrando así tasas de hasta 300 botellas por minuto en algunos casos. La llenadora tiene una forma circular vista desde arriba, y es hecha rotar por un grupo de motores eléctricos. Es alimentada de botellas por medio de una banda que deja la botella hasta que es tomada por la llenadora.

El proceso se realiza en las siguientes fases:

- a) La botella es tomada y llevada hasta la boca de la válvula llenadora por los elementos de elevación.
- b) La botella recibe un tratamiento de limpieza, introduciéndole vapor durante 1.5 segundos a la misma, la cual no ha sido fijada completamente a la boca de la válvula.
- c) La botella es limpiada luego con  $\text{CO}_2$ .
- d) El  $\text{CO}_2$  es evacuado de la botella, preparándola para el llenado.
- e) La botella es presionada contra la válvula.
- f) La válvula de llenado es abierta, permitiendo así, el paso del líquido al interior de la botella
- g) El nivel del líquido en la botella es medido por un sensor electrónico, con el fin de cerrar la válvula cuando se ha alcanzado el nivel deseado.
- h) Para evitar el derrame del líquido, la presión de la botella es liberada lentamente abriendo una pequeña válvula de escape.
- i) Finalmente la botella es bajada a la banda y liberada para pasar a la coronadora.

## 2. Etapa de sellado de la botella

Las botellas llenas de líquido pasan a la etapa de sellado donde se les coloca la tapa. Esto se realiza por una máquina llamada coronadora, de la siguientes forma:

- a) Las tapas son alimentadas por medio de una banda transportadora desde un tanque de almacenamiento, el cual las mantiene en movimiento, a través de una banda transportadora hecha de algún material como caucho.
- b) Una vez en la banda, se alimenta a la coronadora, la cual únicamente acepta tapas en una determinada posición, lo cual es garantizado por algún dispositivo mecánico de alineación.
- c) La coronadora toma las tapas y posteriormente por medio de un cilindro neumático las coloca en la botella.
- d) La coronadora presiona fuertemente las tapas contra la botella para sellar herméticamente la misma.
- e) Luego las botellas selladas son liberadas en una banda transportadora de salida para su proceso de empaclado.

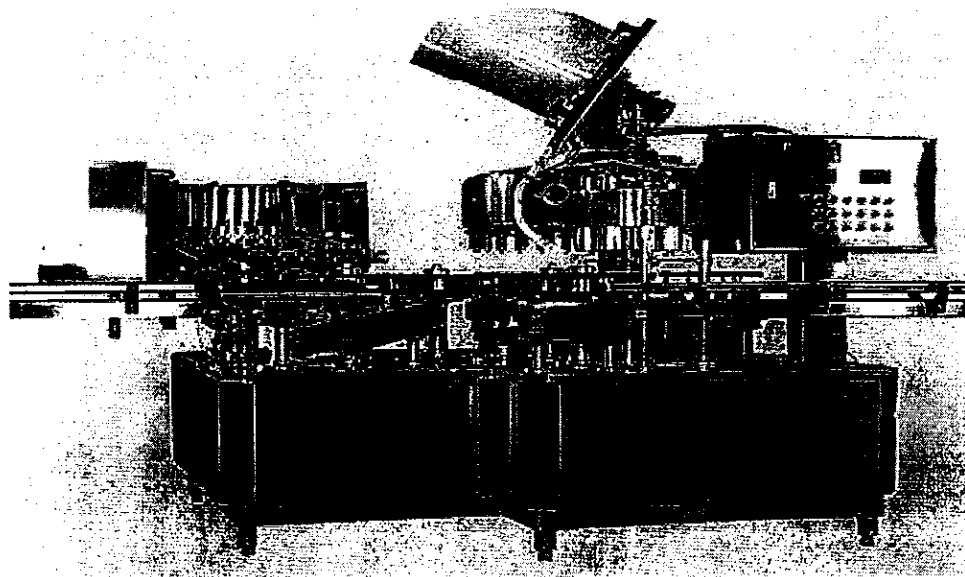


Ilustración 2.1  
Llenadora-Coronadora

Llenadora-Coronadora Marca CHIEH HONG modelo RJFSC 30308,  
capacidad 200 botellas por minuto con 30 válvulas de llenado.

---

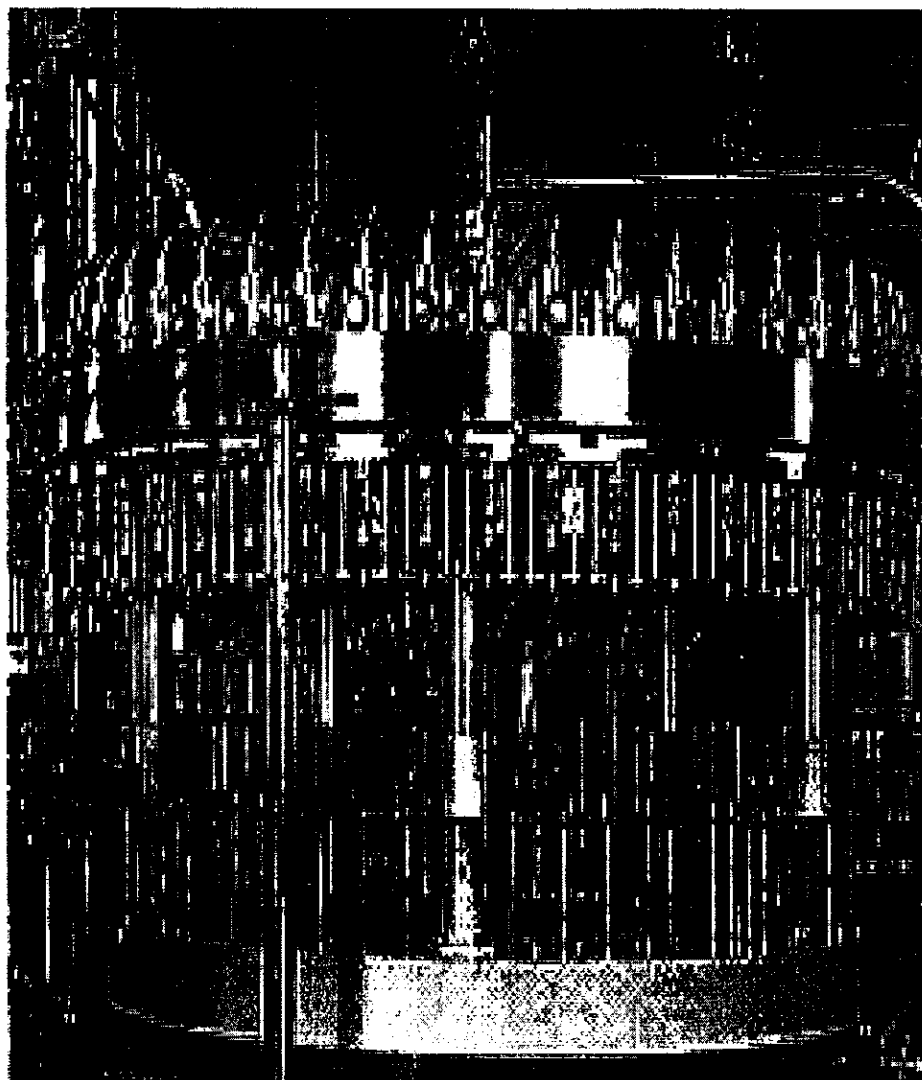


Ilustración 2.2  
Detalle de Llenadora

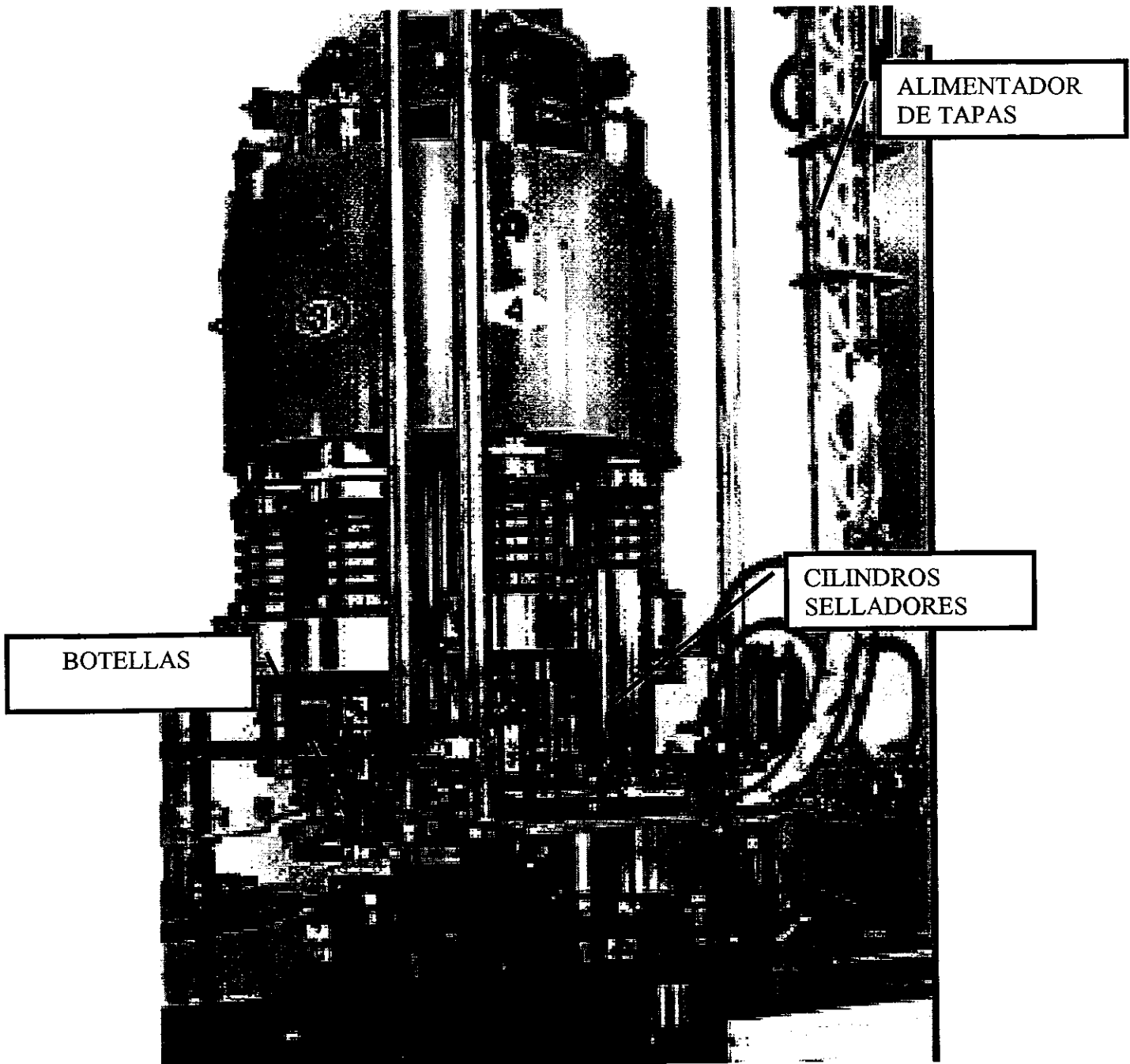


Ilustración 2.3.  
Detalle de la Coronadora

### C. ESPECIFICACIONES TECNICAS

Las tapas tienen las siguientes especificaciones de fabricación:

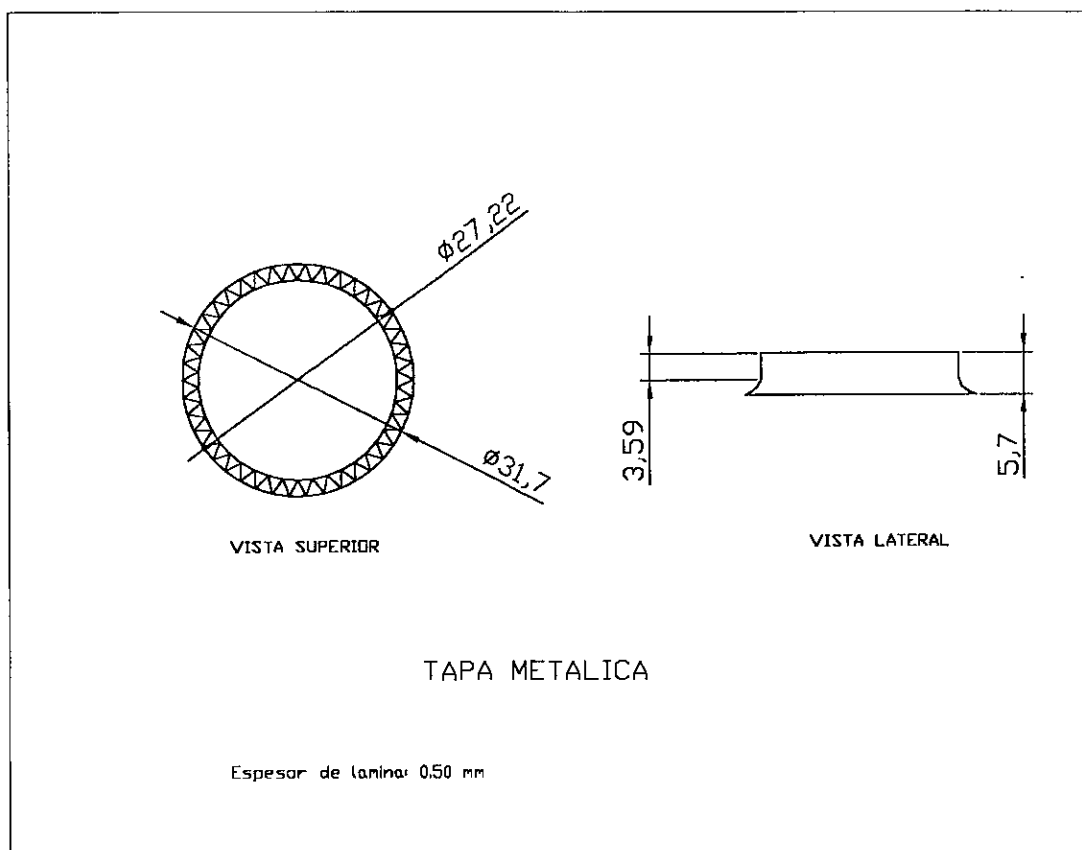


Ilustración 2.4  
Diagrama de la Tapa

## D. NOCIONES BASICAS SOBRE ILUMINACION

El tipo de iluminación que se tenga sobre determinado cuerpo afecta enormemente el proceso de obtención de imágenes digitales del mismo, ya que una mala iluminación crea algunos efectos indeseables sobre las imágenes digitales como sombras, brillos, transparencias, reflejos, etc. Durante un análisis de una imagen digital una buena iluminación nos facilita la solución del problema, mientras que una mala iluminación puede hacerlo insoluble.

Las condiciones de iluminación constantes repercuten en un análisis simplificado y un menor tiempo de procesamiento digital. Es posible llegar a adoptar una solución de iluminación particular para problemas específicos.

En este capítulo no se pretende realizar un estudio profundo de las técnicas de iluminación, sino solamente dar algunas nociones básicas y técnicas comúnmente utilizadas. Si el lector desea profundizar en el tema se sugiere consultar bibliografía especializada<sup>1</sup>. Entre las técnicas más comunes<sup>2</sup> encontramos las siguientes:

1. Iluminación difusa direccional.
2. Iluminación por detrás difusa.
3. Iluminación omni-direccional difusa
4. Iluminación direccional lateral o grassing

## 1. Iluminación difusa direccional

Su principal característica es que sus rayos son paralelos entre si, y emula la luz natural.

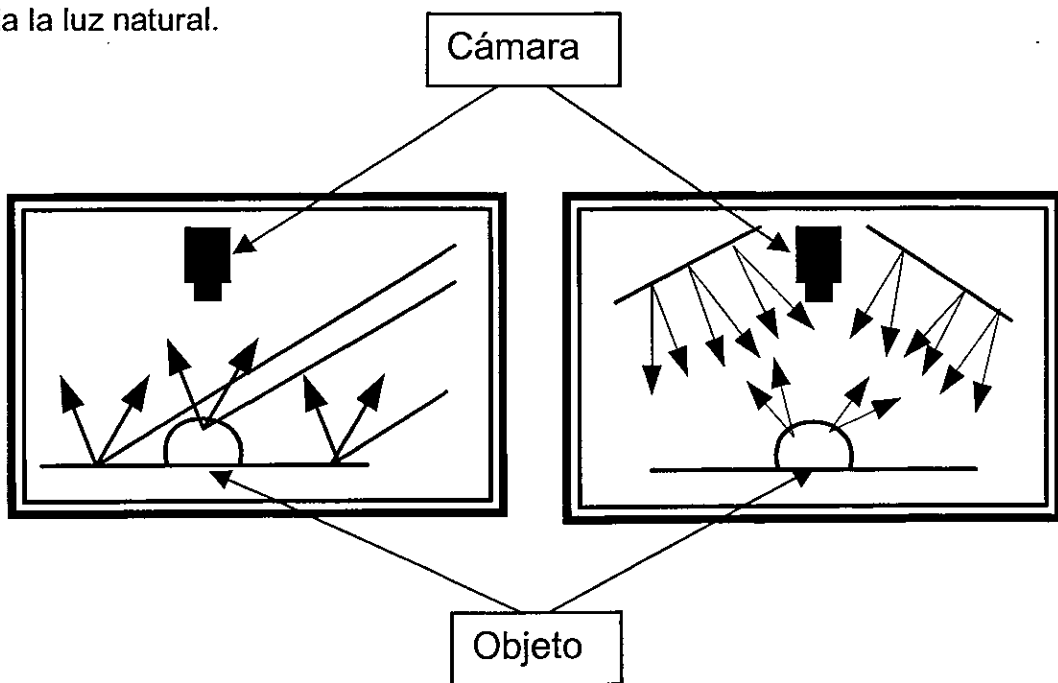


Ilustración 2.5.  
Iluminación Difusa Direccional

## 2. Iluminación por detrás difusa

Proporciona una silueta y una forma de medir los objetos planos.

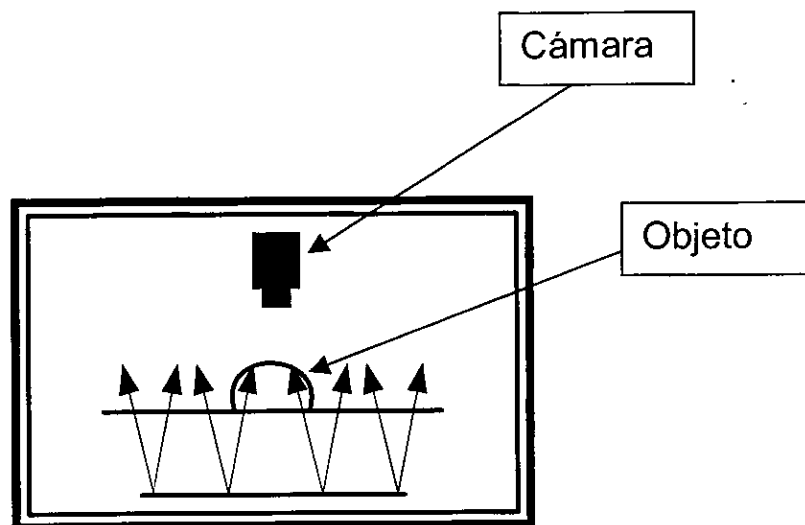


Ilustración 2.6.  
Iluminación por detrás difusa

### 3. Iluminación Omni-direccional difusa

Proporciona una imagen libre de sombras y con gran contraste.

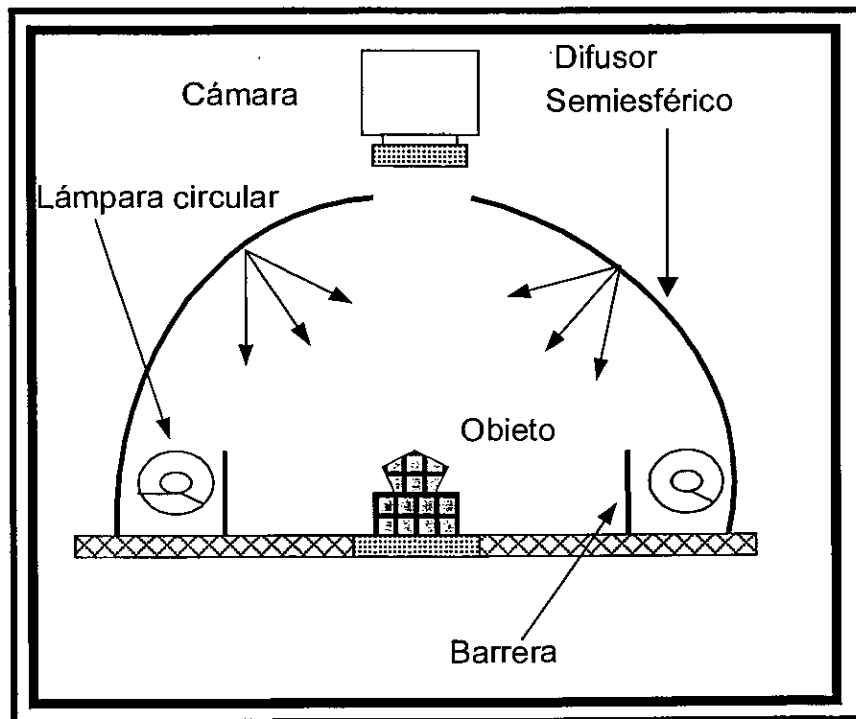


Ilustración 2.7.  
Iluminación Omni-direccional difusa

#### 4. Iluminación direccional lateral o grassing

Resalta la textura de los objetos y características salientes.

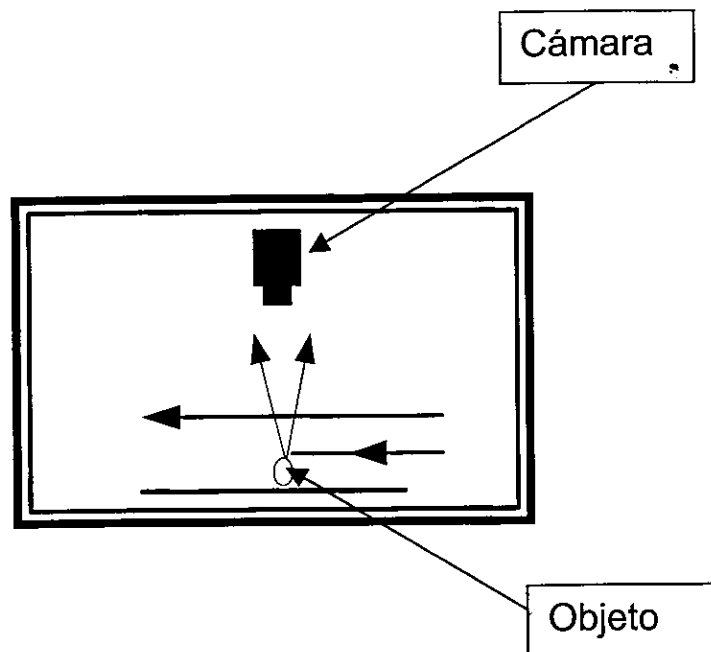


Ilustración 2.8.  
Iluminación Direccional Lateral o Grassing

## **5. Lámparas de iluminación**

En el mercado se pueden encontrar diversos tipos de lámparas. Los principales factores son su duración, el consumo y la calidad de luz que emiten.

Entre las más comunes están:

### **i. Lámparas de Incandescencia**

Son las populares bombillas, cuya luz se consigue por medio de un filamento que se calienta por el paso de la electricidad. Sus principales características son:

- Emiten una luz de gran calidad, con lo que reproducen muy bien los colores.
- Son las más baratas entre todas las fuentes de luz artificial.
- Ofrecen mayor flexibilidad, debido a la enorme gama de modelos y potencias.
- Consumen más energía que otras, en relación con la cantidad de luz que aportan.
- Tienen una duración más limitada que las alternativas.

## ii. Lámparas Halógenas

Frente a las bombillas tradicionales, la luz halógena es más luminosa y blanca. Existen con y sin reflector, según se quiera concentrar o no la luz. Entre sus propiedades más importantes se encuentran:

- Ofrece una luz más blanca y brillante, lo que hace que permita una completa discriminación de los colores.
- Su eficacia y duración es superior a las incandescentes.
- Tiene un elevado consumo de energía.
- Los tipos de poca potencia exigen un transformador.
- La emisión de luz es muy concentrada, lo que obliga a apantallar la lámpara.
- Su calidad de luz permanece inalterable a lo largo de toda su vida útil.

### iii. Lámparas Fluorescentes

En este caso, la luz no está producida por el calentamiento de un filamento, sino por la descarga eléctrica en el arco mantenida en un gas o vapor ionizado.

Las lámparas fluorescentes son aconsejables como alumbrado general de aplicación universal y económico, dadas las siguientes características:

- Ofrecen degradado de la gama, una buena calidad de luz y reproducción natural de los colores.
- Su consumo energético es muy reducido y rentable, porque a igual intensidad de luz, consumen la quinta parte de energía y con una duración de ocho a diez veces más lámparas incandescentes
- Su duración es muy larga, de ocho a diez veces más.
- Sus dimensiones y diseños son limitados
- Pueden producir efectos estroboscópicos, ya que usualmente estas lámparas tienen circuitos osciladores, normalmente a 60 Hz, y dependiendo de la frecuencia de funcionamiento de la cámara, podrá generar zonas oscuras a la imagen.

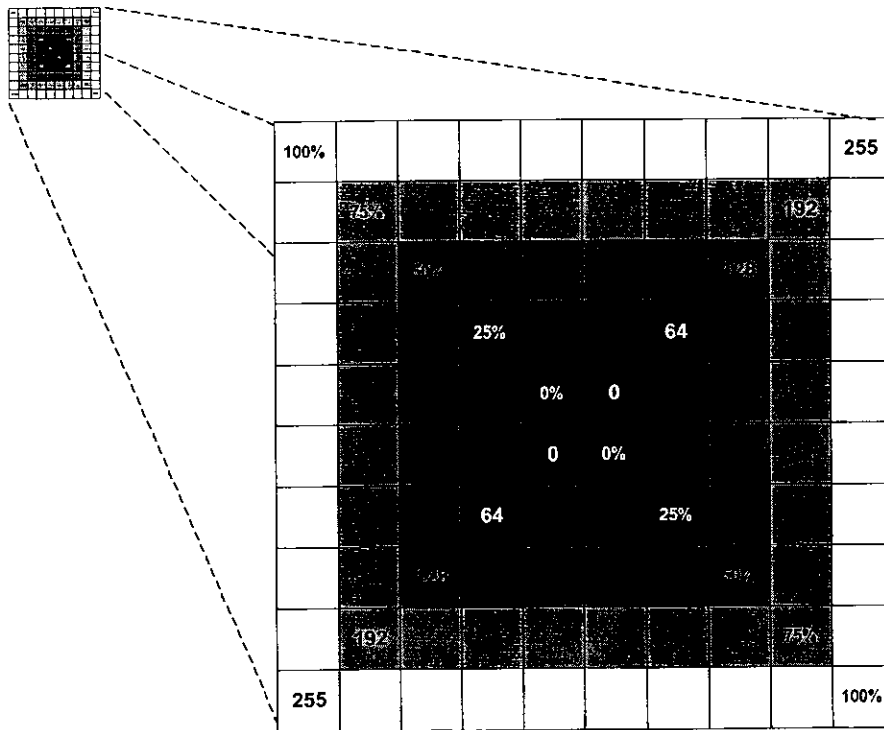


### **III. LA IMAGEN DIGITAL Y SU HISTOGRAMA**

#### **A. REPRESENTACIÓN DIGITAL Y VISUALIZACIÓN**

Una imagen digital es una matriz bidimensional, cuyos elementos son llamados píxeles. El proceso de desplegar una imagen es crear una representación gráfica de esta matriz donde determinados valores de píxeles son asignados a niveles particulares de gris (imagen monocromática) o a colores específicos. El tamaño de una imagen es dado por el número de píxeles en cada dirección.

La ilustración 3.1. muestra la ampliación de una matriz de 10 x 10 píxeles, en donde a cada píxel se le ha asignado un valor numérico entre 0 y 255 según la tonalidad de gris que posea. Los píxeles con bajo valor son asignados a niveles oscuros de gris y los píxeles con alto valor son asignados a niveles brillantes de gris. El píxel de la esquina superior izquierda está localizado en la coordenada (0,0) y el píxel de la esquina inferior derecha en la coordenada (10,10), y a cada píxel individual le corresponderá una coordenada (x,y).



### Ilustración 3.1.

#### Imagen básica ampliada con tipo de píxel en escala de grises

A medida que una imagen va aumentando en el número de píxeles que la conforman, puede contener mayor información, como por ejemplo una fotografía.

En la ilustración 3.2. se puede apreciar una gaviota, la cual está compuesta por una matriz de 256 píxeles de ancho x 256 píxeles de alto.

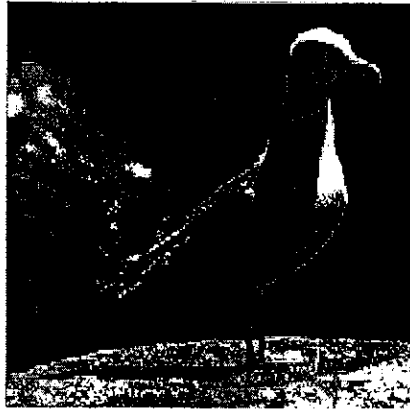


Ilustración 3.2.  
Imagen con tipo de píxel en escala de grises

En una imagen los valores de los píxeles pueden tener distintos formatos:  
En una imagen binaria solamente son posibles dos valores: blanco (1) y negro (0): En una imagen en escala de grises, los valores de los píxeles pueden estar entre 0 y un máximo (255 para nuestro caso). Las imágenes digitales pueden ser almacenadas como archivos en una computadora. El archivo contiene el valor asociado con cada coordenada y además, un encabezado que contiene información adicional, como su tamaño, el tipo de datos de los elementos, modelo de color, etc.

## B. EL HISTOGRAMA

Una imagen digital usualmente contiene un gran número de píxeles. Por ejemplo, una imagen de 512 píxeles de ancho por 512 píxeles de alto contiene aproximadamente un cuarto de millón de píxeles. Las dos técnicas más comunes que ayudan a comprender una imagen son sus parámetros estadísticos y su histograma correspondiente.

Entre los parámetros estadísticos que juegan un papel importante podemos mencionar la media, los valores de varianza, el máximo y el mínimo valor, la kurtosis, etc.<sup>3</sup>

Un histograma acumulativo de una imagen en escala de grises es una función  $H(k)$ , la cual provee el número total de píxeles (numero de ocurrencias) menores que el valor  $k$ .

$$H(k) = \text{card}\{f(w, h) | f(w, h) < k\}$$

$$k \in [0, k_{max}],$$

$$(w, h) \in [(0, 0), (W - 1, H - 1)]$$

Donde **card** es la función cardinalidad de un conjunto de píxeles, en este caso, y  $f(w,h)$  que es la función que define la imagen a escala de grises, relacionando la coordenada  $(w,h)$  con un nivel de gris correspondiente.

El histograma de una imagen  $f(w,h)$  en escala de grises es una tabla  $h(k)$  de la diferencia de dos puntos del histograma acumulativo. Provee el número total de píxeles (número de ocurrencias) que se dan para un nivel específico de gris de valor  $k$ .

$$h(k) = H(k) - H(k - 1)$$

La ilustración 3.3. tiene los siguientes parámetros estadísticos.

Numero de píxeles:	65536
Valor mínimo:	0 (negro puro)
Valor máximo:	255 (blanco puro)
Promedio:	87.19
Desviación Estándar:	65.77

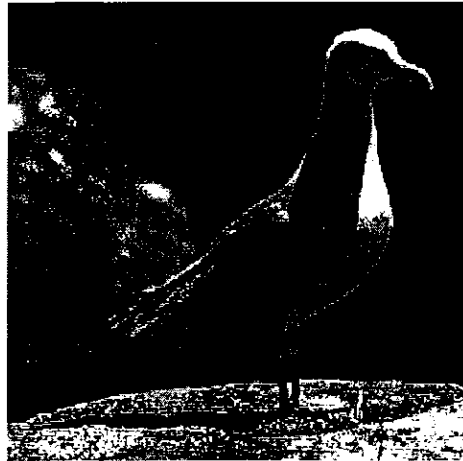


Ilustración 3.3.  
Foto de Gaviota

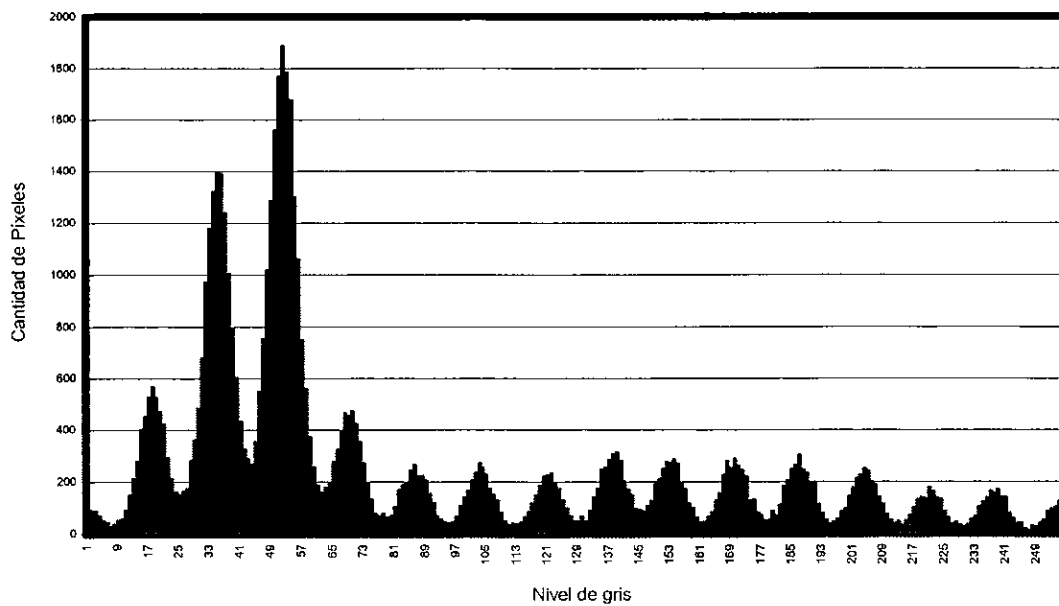
La tabla 3.1. muestra la cantidad y el acumulado de píxeles para un determinado nivel de gris desde el nivel 0 al 255. Las gráficas 3.1. y 3.2. muestran los histogramas respectivos.

Tabla 3.1.  
Nivel de Grises y Cantidad de Píxeles en Ilustración 3.3.

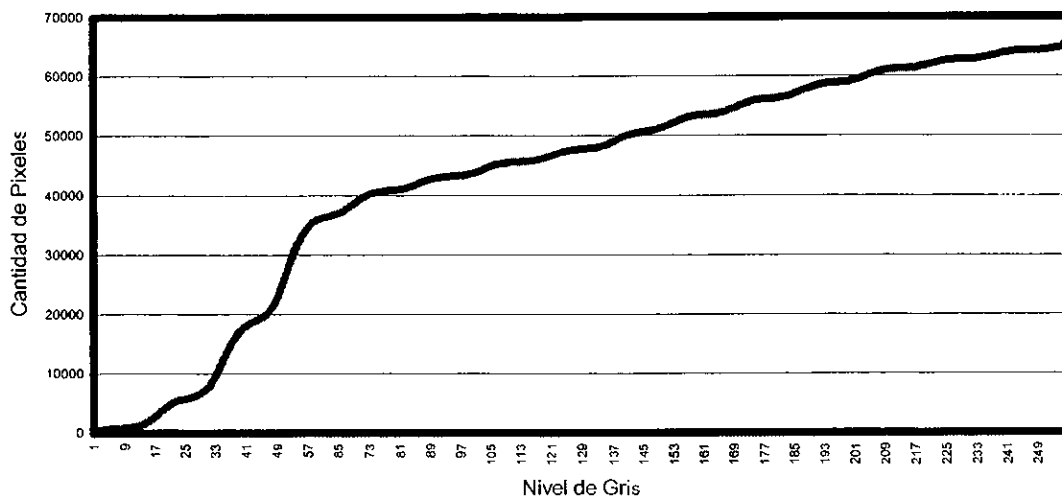
Nivel de grís	Cantidad de Píxeles en Imagen	Cantidad de Píxeles Acumulados	Nivel de grís	Cantidad de Píxeles en Imagen	Cantidad de Píxeles Acumulados	Nivel de grís	Cantidad de Píxeles en Imagen	Cantidad de Píxeles Acumulados
0	412	412	41	327	18643	82	188	41419
1	91	503	42	290	18933	83	194	41613
2	88	591	43	267	19200	84	245	41858
3	70	661	44	353	19553	85	267	42125
4	53	714	45	548	20101	86	222	42347
5	45	759	46	754	20855	87	222	42569
6	27	786	47	1018	21873	88	206	42775
7	36	822	48	1287	23160	89	154	42929
8	53	875	49	1561	24721	90	118	43047
9	58	933	50	1769	26490	91	68	43115
10	92	1025	51	1886	28376	92	56	43171
11	148	1173	52	1786	30162	93	45	43216
12	212	1385	53	1676	31838	94	41	43257
13	278	1663	54	1301	33139	95	44	43301
14	399	2062	55	1060	34199	96	66	43367
15	453	2515	56	748	34947	97	105	43472
16	529	3044	57	561	35508	98	138	43610
17	567	3611	58	374	35882	99	166	43776
18	526	4137	59	256	36138	100	206	43982
19	472	4609	60	184	36322	101	234	44216
20	421	5030	61	158	36480	102	273	44489
21	295	5325	62	177	36657	103	255	44744
22	213	5538	63	192	36849	104	230	44974
23	160	5698	64	276	37125	105	173	45147
24	150	5848	65	324	37449	106	150	45297
25	164	6012	66	394	37843	107	129	45426
26	174	6186	67	464	38307	108	81	45507
27	282	6468	68	454	38761	109	46	45553
28	360	6828	69	472	39233	110	35	45588
29	483	7311	70	422	39655	111	40	45628
30	679	7990	71	353	40008	112	38	45666
31	971	8961	72	271	40279	113	45	45711
32	1178	10139	73	196	40475	114	64	45775
33	1320	11459	74	132	40607	115	84	45859
34	1396	12855	75	76	40683	116	115	45974
35	1389	14244	76	69	40752	117	149	46123
36	1240	15484	77	76	40828	118	184	46307
37	1002	16486	78	61	40889	119	219	46526
38	794	17280	79	70	40959	120	225	46751
39	603	17883	80	104	41063	121	234	46985
40	433	18316	81	168	41231	122	196	47181

Nivel de gris	Cantidad de Píxeles en imagen	Cantidad de Píxeles Acumulados	Nivel de gris	Cantidad de Píxeles en imagen	Cantidad de Píxeles Acumulados	Nivel de gris	Cantidad de Píxeles en imagen	Cantidad de Píxeles Acumulados
123	174	47355	168	253	54631	213	32	61212
124	128	47483	169	290	54921	214	50	61262
125	99	47582	170	259	55180	215	69	61331
126	70	47652	171	245	55425	216	98	61429
127	50	47702	172	219	55644	217	131	61560
128	48	47750	173	126	55770	218	138	61698
129	66	47816	174	130	55900	219	136	61834
130	48	47864	175	81	55981	220	179	62013
131	90	47954	176	72	56053	221	164	62177
132	139	48093	177	53	56106	222	139	62316
133	172	48265	178	52	56158	223	133	62449
134	246	48511	179	86	56244	224	87	62536
135	254	48765	180	69	56313	225	62	62598
136	284	49049	181	112	56425	226	38	62636
137	306	49355	182	183	56608	227	45	62681
138	313	49668	183	206	56814	228	33	62714
139	281	49949	184	247	57061	229	27	62741
140	202	50151	185	265	57326	230	34	62775
141	170	50321	186	304	57630	231	55	62830
142	149	50470	187	246	57876	232	67	62897
143	96	50566	188	234	58110	233	101	62998
144	92	50658	189	198	58308	234	121	63119
145	86	50744	190	197	58505	235	138	63257
146	106	50850	191	114	58619	236	163	63420
147	127	50977	192	79	58698	237	156	63576
148	190	51167	193	55	58753	238	169	63745
149	209	51376	194	38	58791	239	140	63885
150	249	51625	195	44	58835	240	138	64023
151	277	51902	196	58	58893	241	78	64101
152	272	52174	197	84	58977	242	60	64161
153	286	52460	198	96	59073	243	39	64200
154	269	52729	199	142	59215	244	42	64242
155	191	52920	200	176	59391	245	19	64261
156	171	53091	201	213	59604	246	13	64274
157	116	53207	202	225	59829	247	29	64303
158	98	53305	203	253	60082	248	27	64330
159	61	53366	204	243	60325	249	40	64370
160	41	53407	205	199	60524	250	51	64421
161	44	53451	206	188	60712	251	83	64504
162	64	53515	207	141	60853	252	95	64599
163	82	53597	208	114	60967	253	102	64701
164	125	53722	209	74	61041	254	124	64825
165	154	53876	210	52	61093	255	711	65536
166	224	54100	211	39	61132			
167	278	54378	212	48	61180			

Gráfica 3.1.  
Histograma de Ilustración 3.3.



Gráfica 3.2.  
Histograma Acumulativo de Ilustración 3.3.



Es importante observar que la imagen tiene un gran número de píxeles en la región alrededor del valor 50. Estos píxeles corresponden al fondo de la imagen (el mar) que representan una gran porción del total de píxeles en la imagen.

El despliegue de una imagen digital provee información acerca de la distribución espacial de los píxeles y, por otro lado, el histograma provee información acerca de la densidad de la distribución del los píxeles.

El histograma puede ser generado a través del conteo de las ocurrencias de píxeles para un determinado rango de nivel de gris. Las ilustraciones 3.4. y 3.5. muestran otros ejemplos de imágenes en escala de grises, mientras que las gráficas 3.3., 3.4., 3.5. y 3.6. muestran los correspondientes histogramas.

La ilustración 3.4. tiene los siguientes parámetros.

Numero de píxeles:	65536
Valor mínimo:	0 (negro puro)
Valor máximo:	255 (blanco puro)
Promedio:	89.03
Desviación Estándar:	46.85

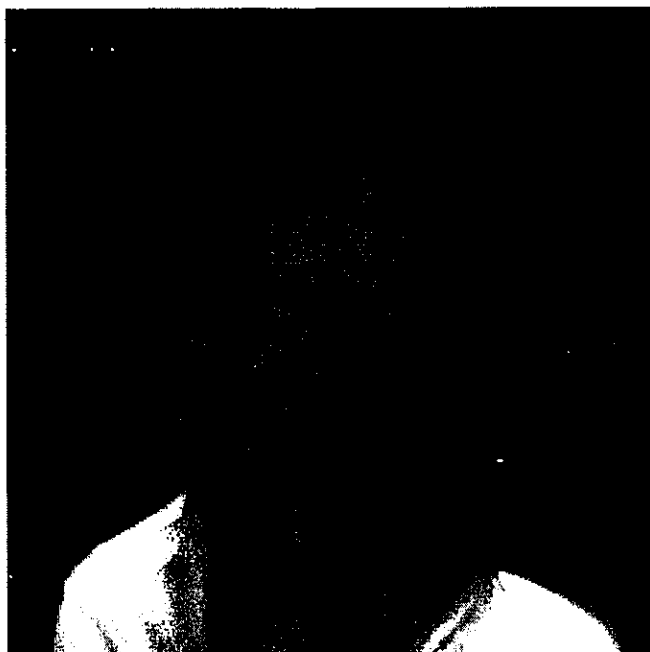
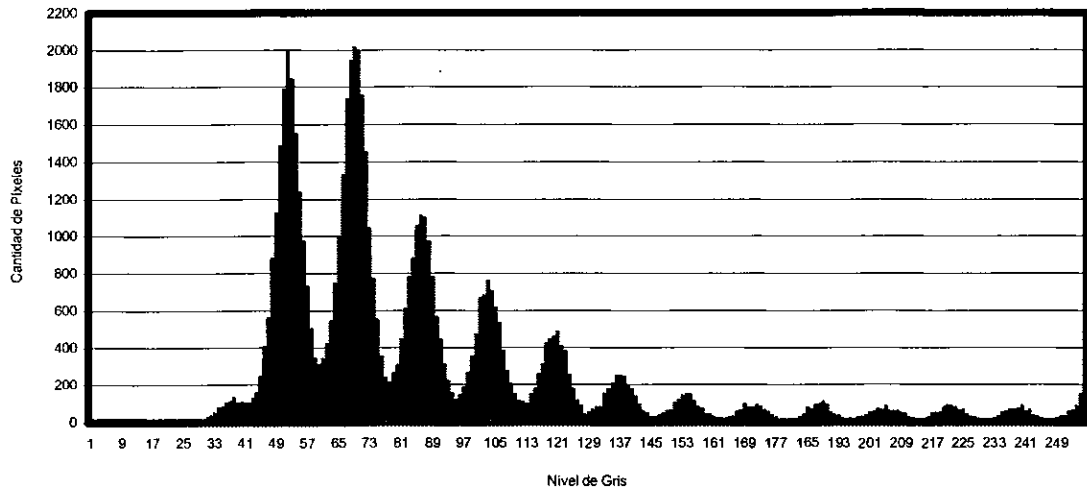
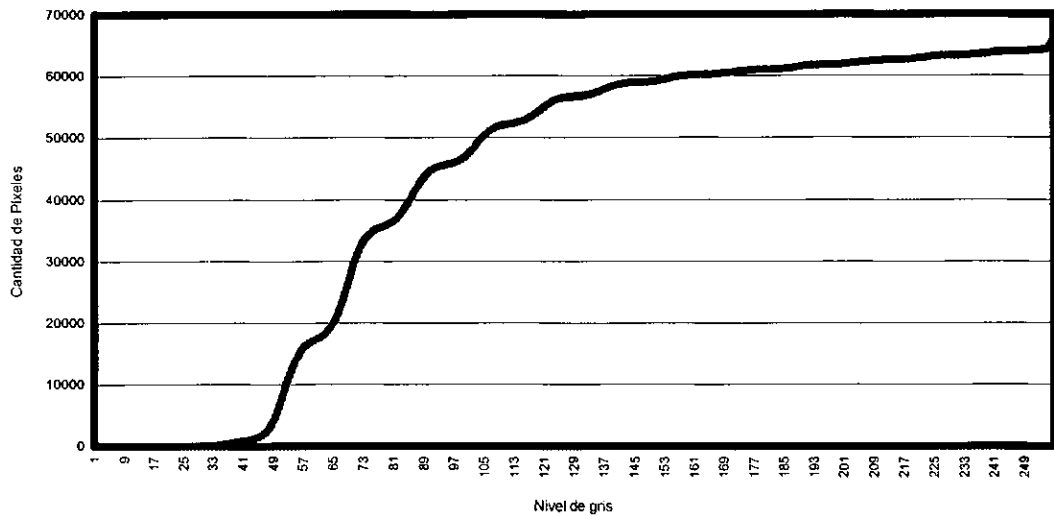


Ilustración 3.4.  
Foto de persona

Gráfica3.3.  
Histograma de Ilustración 3.4.



Gráfica3.4  
Histograma Acumulativo de Ilustración 3.4.



La ilustración 3.5. tiene los siguientes parámetros.

Numero de píxeles:	65536
Valor mínimo:	0 (negro puro)
Valor máximo:	255 (blanco puro)
Promedio:	149.62
Desviación Estándar:	66.23

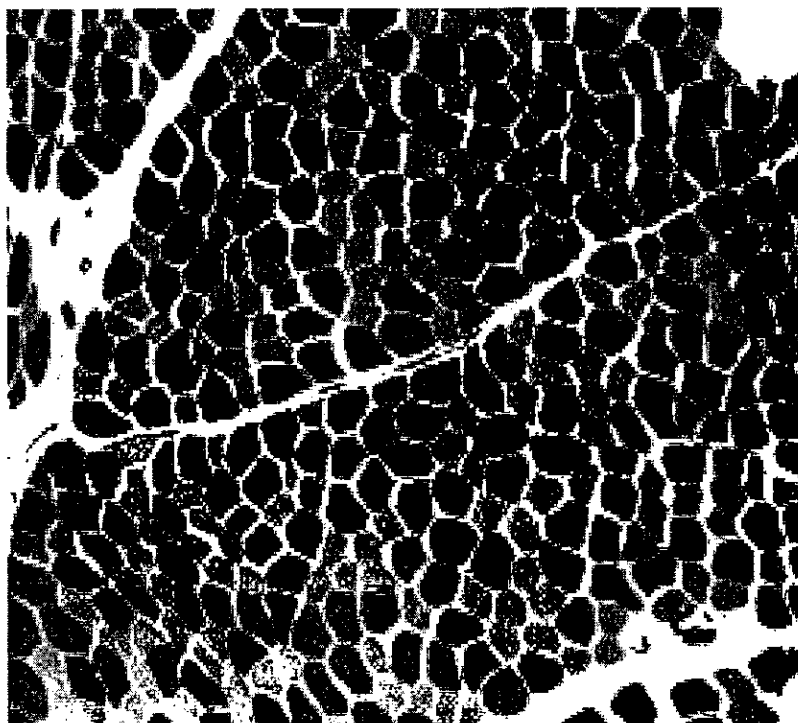
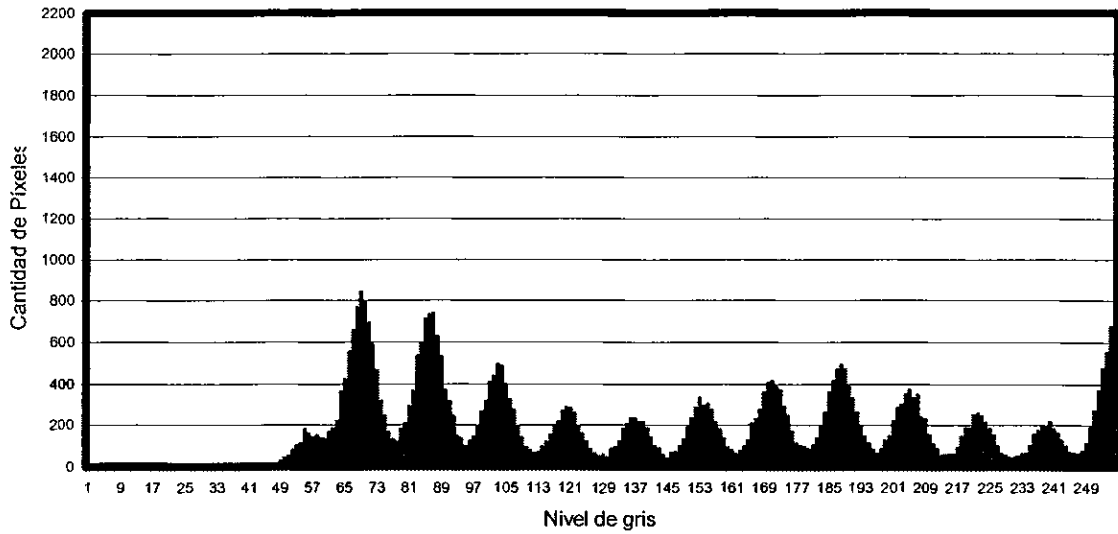
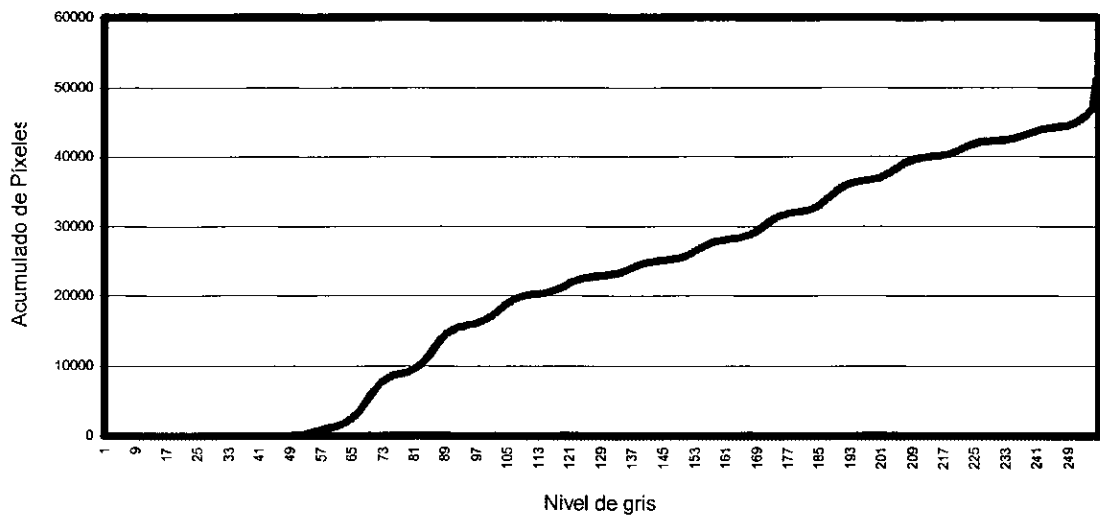


Ilustración 3.5.  
Foto de Textura

Gráfica 3.5.  
Histograma de Ilustración 3.5.



Gráfica 3.6.  
Histograma acumulativo de ilustración 3.5.



## **IV. TEORIA DE FUNCIONAMIENTO**

En este capítulo se presenta el principio y la teoría de funcionamiento del sistema propuesto. Además se realiza el análisis de nueve imágenes de prueba a fin de poner en evidencia de manera clara la viabilidad de la propuesta. Se explican adicionalmente algunas condiciones necesarias a tomar en cuenta, como lo son la generación del histograma patrón, problemas de alineación, variaciones de color, la rotación de la tapa y los criterios de aceptación.

En las siguientes secciones se aplican las técnicas expuestas en la sección III para el análisis de imágenes digitales con el fin de lograr su aplicación al diseño del sistema propuesto.

## A. PRINCIPIO DE OPERACIÓN

El principio de operación se basa en el análisis matemático - estadístico de la recurrencia de píxeles para una determinada imagen (histograma de prueba), el cual es comparado contra una imagen patrón (histograma patrón).

El criterio de aceptación o rechazo se basa en la comparación de la similitud de ambos resultados dentro de un margen de tolerancia establecido previamente por medio de un expertaje según las necesidades que se tengan y el margen de exactitud deseado.

La imagen es obtenida a través de una cámara de video con formato digital de 256 tonalidades de gris (8 bits), la cual es transferida hacia la computadora, a partir de esta imagen se determina su correspondiente histograma sobre la base de la recurrencia de sus píxeles, este histograma es analizado y comparado contra un patrón previamente determinado y finalmente se determina si la tapa es aceptable o si es rechazada.

## **B. DESCRIPCIÓN DEL PROCESO**

### **1. Captura de Imagen y Obtención de Parámetros e Histograma:**

El proceso se realiza en varias etapas, se inicia cuando la imagen es capturada por la cámara y es transferida a la memoria de la computadora y la dispone para su análisis, el instante en que la cámara toma la imagen es determinado por medio de un sensor electrónico que genera una señal eléctrica cuando la tapa se encuentra alineada, la cámara entonces toma la imagen.

La imagen generada está compuesta por una matriz de datos, como se vió en la sección anterior. En la siguiente ilustración se muestra una imagen generada a través de una cámara digital, la cual será objeto de nuestro análisis:

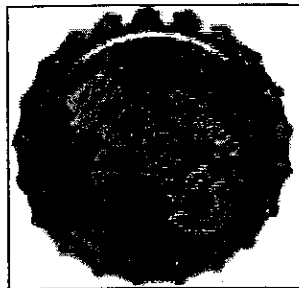


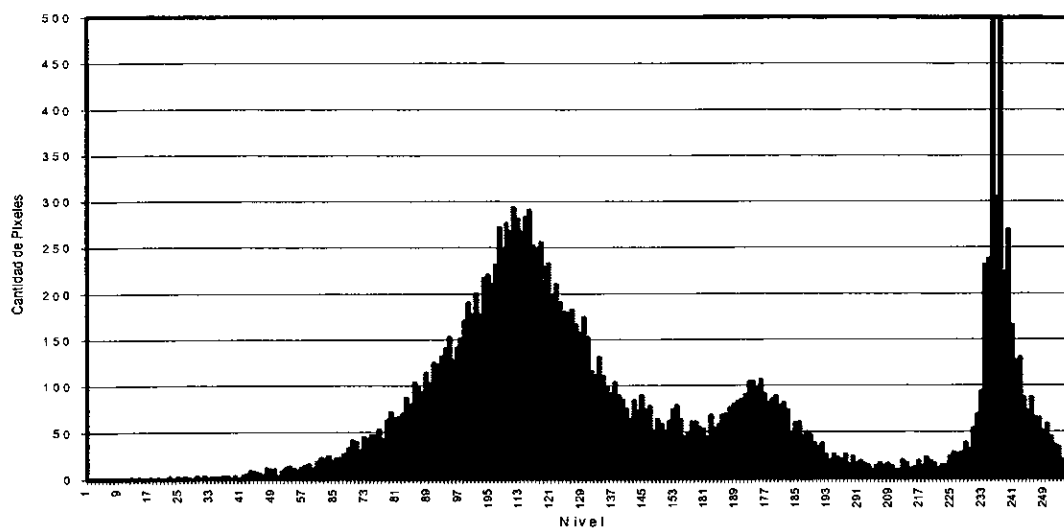
Ilustración 4.1.  
Imagen Tapa Crush

La ilustración 4.1. tiene los siguientes parámetros:

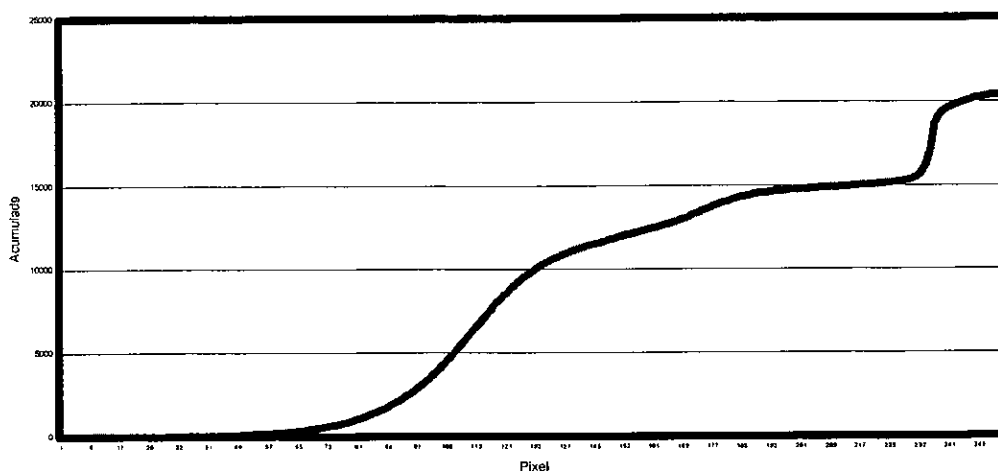
Numero de píxeles:	20444
Valor mínimo:	0 (negro puro)
Valor máximo:	255 (blanco puro)
Promedio:	152.61
Desviación estándar:	57.79

En las gráficas 4.1. y 4.2. se presentan los histogramas correspondientes de la ilustración 4.1.

Gráfica 4.1.  
Histograma de Ilustración 4.1.



Gráfica 4.2.  
Histograma Acumulativo de Ilustración 4.1.



### **C. AREA DE INTERES:**

La interpretación de la imagen se puede realizar con base a relacionar todos los parámetros anteriores y algunos criterios establecidos.

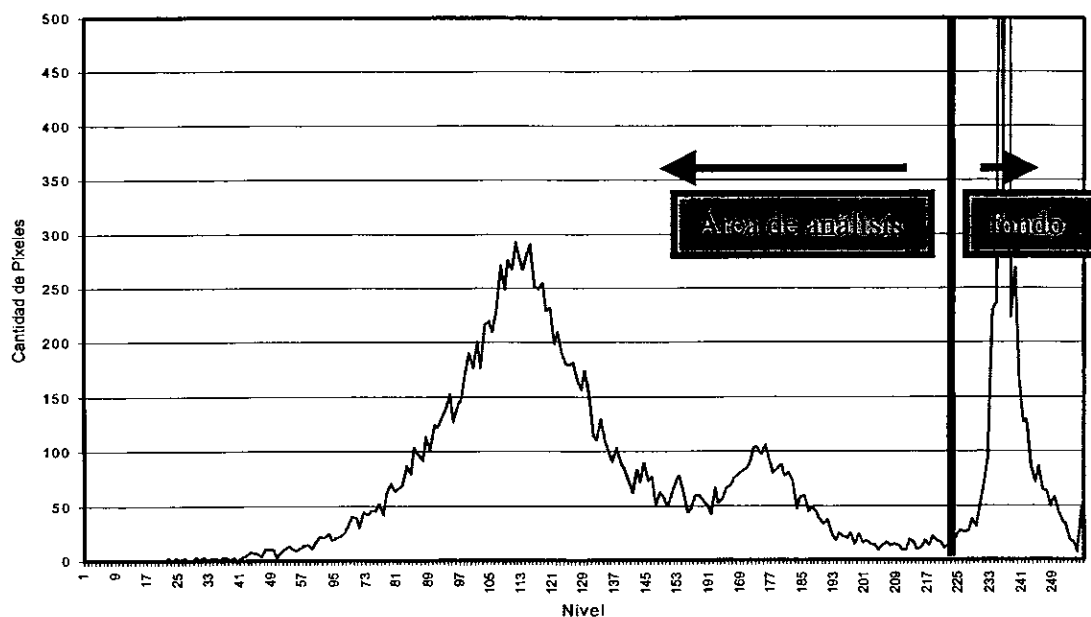
Del histograma inicial se obtiene una gráfica lineal donde se puede ver una región clara que corresponde al fondo de la ilustración 4.1., la cual no es útil para el análisis, por lo cual es eliminada, como se muestra en la gráfica 4.3.

Esta condición debe ser garantizada por medio de la no utilización en el logotipo del color del fondo (para este caso, blanco).

Este parámetro podrá ser ajustado a conveniencia. Para nuestro análisis se ha determinado un valor de 225 como el más adecuado.

En otras palabras, el análisis posteriormente realizado sólo tomará en cuenta valores en la escala de gris de hasta 225, inclusive. A este valor lo denominaremos como Área De Interés (ADI).

Gráfica 4.3.  
Área de Interés de Ilustración 4.1.



## D. SUAVIZADO DE LA CURVA

La gráfica obtenida presenta una tendencia clara. Esta presenta dos picos (uno pronunciado y uno leve) y un valle. Estas son las características únicas de la tapa, y las que la diferenciarán de cualquier otra. Este resulta uno de los parámetros de comparación más importantes, y sobre el que se basa la operación del sistema. La curva también presenta pequeñas irregularidades, las cuales resultan inconvenientes para el caso de un corrimiento de la gráfica, el cual puede ser debido a algunas variaciones de iluminación; entonces podría

tenerse una consecuencia de rechazo de una tapa por esta situación, para lo que se utiliza la siguiente función:

Si  $n$  es el nivel de gris (variado de 0 a 225) y  $H\_prueba[n]$  es la función que determina la cantidad de píxeles para determinado valor de  $n$ , entonces se tiene:

$$\text{Si } n = 0$$

$$H\_prueba\_S[0] = H\_prueba[0]$$

$$\text{Si } 0 < n \text{ y } n < ADI$$

$$H\_prueba\_S[n] = \text{promedio } [H\_prueba(n-1), H\_prueba(n), H\_prueba(n+1)]$$

$$\text{Si } n = ADI$$

$$H\_prueba\_S[ADI] = H\_prueba[ADI]$$

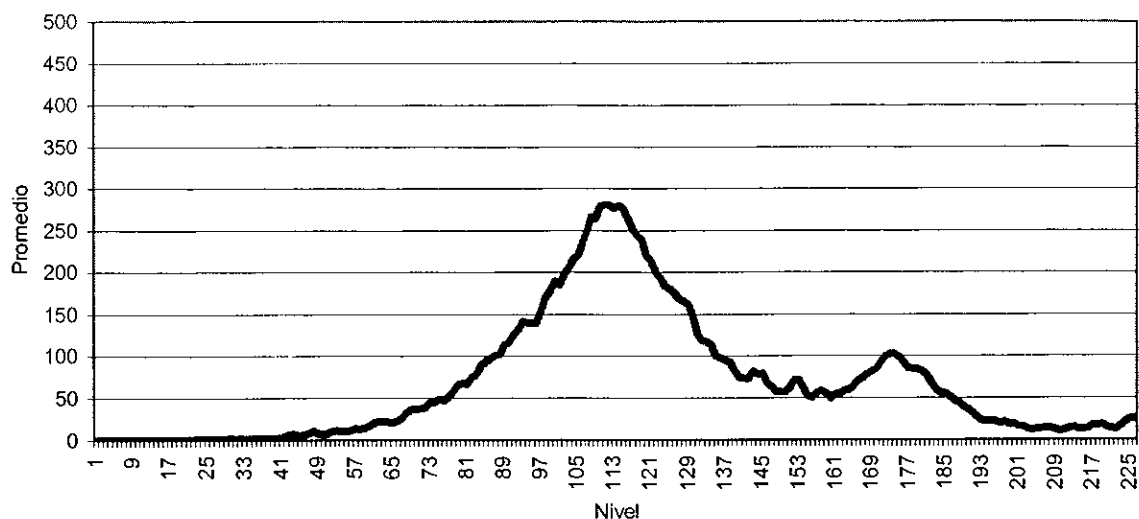
En la tabla 4.1. se presentan los datos ya promediados, a partir de la gráfica 4.3. La gráfica 4.4. es una representación de la tabla 4.1.

Tabla 4.1.  
Niveles y Promedios de Ilustración 4.1.

Nivel de gris	Cantidad de Pixeles en Imagen	Promedio	Nivel de gris	Cantidad de Pixeles en Imagen	Promedio	Nivel de gris	Cantidad de Pixeles en Imagen	Promedio
0	0	0.00	41	5	5.33	82	86	78.00
1	0	0.00	42	8	6.67	83	79	89.33
2	0	0.00	43	7	7.00	84	103	93.00
3	0	0.00	44	6	5.67	85	97	97.33
4	0	0.00	45	4	7.00	86	92	100.67
5	0	0.00	46	11	8.33	87	113	102.33
6	0	0.00	47	10	10.33	88	102	113.00
7	0	0.00	48	10	7.67	89	124	116.00
8	0	0.00	49	3	7.00	90	122	125.67
9	0	0.00	50	8	7.33	91	131	131.00
10	0	0.33	51	11	10.67	92	140	141.00
11	1	0.33	52	13	11.67	93	152	139.67
12	0	0.67	53	11	11.00	94	127	140.00
13	1	0.33	54	9	10.67	95	141	139.33
14	0	0.33	55	12	11.67	96	150	153.67
15	0	0.33	56	14	13.67	97	170	170.00
16	1	0.33	57	15	13.33	98	190	179.00
17	0	0.67	58	11	14.67	99	177	189.00
18	1	0.33	59	18	17.00	100	200	184.67
19	0	0.33	60	22	20.33	101	177	197.67
20	0	0.67	61	21	22.33	102	216	204.33
21	2	0.67	62	24	21.33	103	220	215.33
22	0	1.33	63	19	21.33	104	210	220.00
23	2	1.00	64	21	20.67	105	230	237.00
24	1	1.67	65	22	23.00	106	271	250.00
25	2	1.33	66	26	26.67	107	249	265.33
26	1	1.00	67	32	32.67	108	276	264.00
27	0	1.33	68	40	37.00	109	267	278.67
28	3	1.33	69	39	36.33	110	293	280.33
29	1	2.33	70	30	37.67	111	281	280.33
30	3	1.67	71	44	38.67	112	267	276.67
31	1	2.00	72	42	44.00	113	282	279.67
32	2	1.67	73	46	44.67	114	290	274.67
33	2	1.67	74	46	48.00	115	252	263.67
34	1	2.00	75	52	46.67	116	249	252.00
35	3	2.33	76	42	52.00	117	255	244.33
36	3	2.33	77	62	58.33	118	229	238.67
37	1	2.33	78	71	65.67	119	232	220.00
38	3	1.33	79	64	67.00	120	199	213.67
39	0	2.00	80	66	66.33	121	210	199.67
40	3	2.67	81	69	73.67	122	190	193.33

Nivel de Gris	Cantidad de Píxeles en Imagen	Promedio	Nivel de Gris	Cantidad de Píxeles en Imagen	Promedio	Nivel de Gris	Cantidad de Píxeles en Imagen	Promedio
123	180	183.00	168	82	81.67	213	10	12.33
124	179	180.33	169	84	85.00	214	11	13.00
125	182	175.67	170	89	92.33	215	18	14.00
126	166	168.33	171	104	99.00	216	13	17.67
127	157	165.67	172	104	102.00	217	22	17.67
128	174	161.00	173	98	102.67	218	18	18.67
129	152	147.00	174	106	98.33	219	16	15.00
130	115	126.00	175	91	92.67	220	11	13.67
131	111	118.67	176	81	85.67	221	14	13.00
132	130	117.00	177	85	84.67	222	14	17.00
133	110	112.67	178	88	83.67	223	23	21.33
134	98	99.67	179	78	82.33	224	27	25.33
135	91	97.33	180	81	77.33	225	26	26.00
136	103	94.33	181	73	67.00			
137	89	92.00	182	47	59.67			
138	84	82.33	183	59	55.33			
139	74	73.67	184	60	54.67			
140	63	73.33	185	45	51.33			
141	83	72.67	186	49	46.67			
142	72	81.33	187	46	44.00			
143	89	78.00	188	37	38.67			
144	73	79.67	189	33	35.67			
145	77	67.00	190	37	31.67			
146	51	63.67	191	25	27.00			
147	63	57.33	192	19	23.00			
148	58	57.00	193	25	22.00			
149	50	56.33	194	22	22.33			
150	61	61.33	195	20	22.33			
151	73	70.67	196	25	20.00			
152	78	71.33	197	15	21.00			
153	63	61.67	198	23	18.00			
154	44	51.67	199	16	19.00			
155	48	50.67	200	18	16.33			
156	60	56.00	201	15	15.67			
157	60	58.00	202	14	12.67			
158	54	55.33	203	9	12.00			
159	52	49.67	204	13	12.67			
160	43	54.00	205	16	14.00			
161	67	54.33	206	13	14.67			
162	53	59.00	207	15	13.67			
163	57	59.00	208	13	12.33			
164	67	64.33	209	9	10.33			
165	69	70.33	210	9	12.33			
166	75	74.33	211	19	14.67			
167	79	78.67	212	16	15.00			

Gráfica 4.4.  
Curva Suavizada de Ilustración 4.1.



## E. COMPARACION CONTRA PATRON:

El siguiente paso en el análisis corresponde a la comparación de la imagen analizada contra un patrón establecido<sup>4</sup>. Realmente, el patrón es un grupo de curvas que es permitido para la imagen, y la desviación contra este patrón o grupo de curvas determinará si la tapa es aceptable o no. El método clásico de comparación entre dos señales y que brinda mejores resultados sobre cualquier otro es la correlación, la cual es utilizada para determinar el grado de

similitud entre dos grupos de datos, la correlación discreta en una dimensión es definida por la siguiente ecuación:

$$g(x) = f(x) \circ h(x) = \sum_k f^*(k)h(x+k)$$

donde  $g(x)$  es la correlación de las funciones  $f(x)$  y  $h(x)$ .

En nuestro caso las funciones  $f(x)$  y  $h(x)$  son los histogramas patrón y de prueba  $H\_patron[n]$  y  $H\_prueba\_S[n]$  respectivamente, la función de correlación es una función que toma distintos valores y en nuestro caso nos interesa saber el valor máximo (FC) que la función adquiere como dato representativo de la similitud de los datos, entonces tenemos que:

$$FC = \text{Máximo } [g(x)]$$

Donde FC es el factor de correlación.

El criterio de error entonces se basa en los siguientes puntos:

- 1) Desviación de un 2% del promedio general sobre el patrón (corrimiento de histogramas)
- 2) Desviación de un 5% de la desviación estándar sobre el patrón (dispersión de datos)
- 3) Desviación de un 2% entre los histogramas (patrón y de prueba) a través del parámetro FC.

Estos datos se basan en la experiencia y pueden ser modificados según el margen de exactitud deseado. A continuación se presenta un resumen sobre los parámetros obtenidos para la tapa sometida a estudio:

Tabla 4.2.  
Tabla de Resultados de Ilustración 4.1.

Descripción	Patrón(%)	Prueba	Diferencia(%)	Aceptable
Promedio	150.42	152.61	1.45 %	Sí
Desviación estándar	56.12	57.79	2.97 %	Sí
FC			0.27 %	Sí
Aceptable				Sí

(\*) Valores obtenidos del análisis de 30 tapas. Se recomienda probar 120 para un valor más confiable.

## **F. GENERACION DE PATRON**

La generación del histograma patrón es una fase previa del proceso el cual se basa en la toma de una gran cantidad de muestras (se recomiendan alrededor de 120) sobre las cuales se promedian los promedios individuales, las desviaciones estándar y los histogramas de todas las imágenes muestreadas. Estos datos son transferidos después a la memoria de trabajo.

Los datos obtenidos del análisis anterior son almacenados en la memoria de trabajo del sistema y también opcionalmente en un archivo, el cual será almacenado en el disco duro de la computadora, para ser utilizado posteriormente.

Este proceso deberá ser ejecutado siempre que sea necesario. Por ejemplo, si durante el ciclo de trabajo se presenta un gran número de rechazos de tapas, se recomienda crear un nuevo patrón que se ajuste mejor a las tapas que circulan en ese instante por la banda transportadora.

## G. ANALISIS DE VARIACIONES DE INTENSIDAD EN LAS IMAGENES

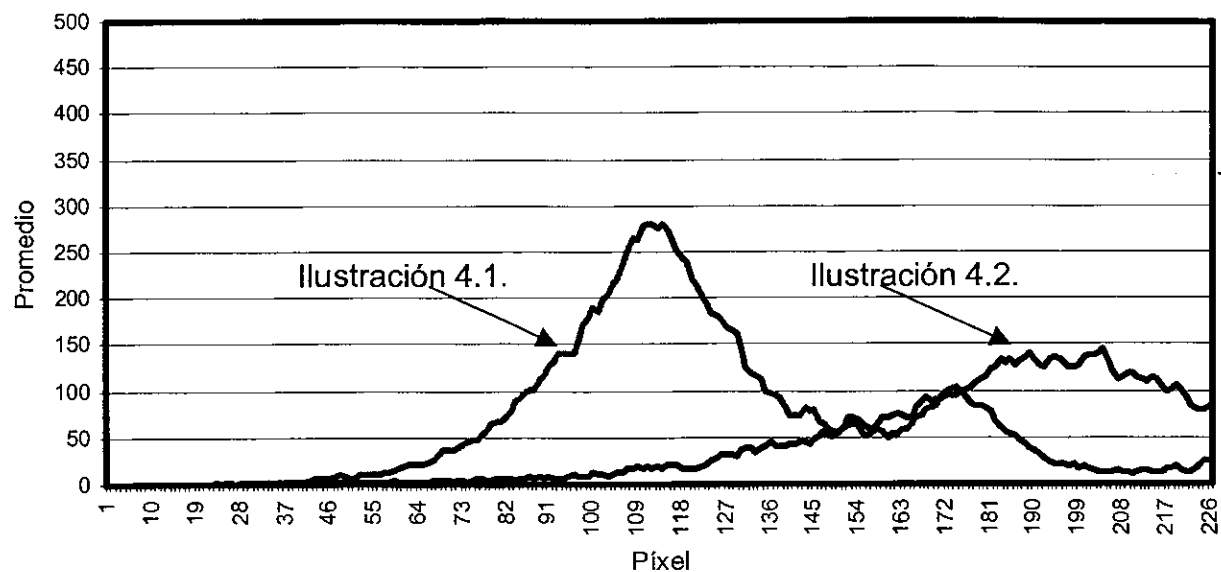
Uno de los efectos indeseables, pero inevitable, en el sistema, es la variación en la intensidad de la imagen, la cual se puede deber a factores como interferencia de la luz natural, variación en la tonalidad de la impresión, o variación de las condiciones de iluminación, degradación de la cámara, etc. Este fenómeno se reflejará en el histograma de la imagen como un corrimiento de toda la curva un determinado rango (ver grafica 4.5.).



Ilustración 4.2.  
Imagen para análisis con sobre intensidad de luz

Numero de píxeles:	20445
Valor mínimo:	0 (negro puro)
Valor máximo:	255 (blanco puro)
Promedio:	216.48
Desviación Estándar:	44.08

Gráfica 4.5.  
Histograma Promediado de la Ilustración 4.1 y 4.2.



A continuación se presentan los resultados de las pruebas entre las tapas 1 y 2, lo que demuestra que en este caso las tapas se consideran como diferentes.

Tabla 4.3.  
Tabla de Resultados de Ilustración 4.1 y 4.2.

Descripción	Ilustración 4.1(*)	Ilustración 4.2	Diferencia(%)	Aceptable
Promedio	152.61	216.48	41.85 %	No
Desviación estándar	57.79	44.08	23.76 %	No
FC			42.57 %	No
Aceptable				No

(\*) La imagen uno es tomada como referencia para el cálculo de los porcentajes

## H. ANALISIS DE VARIACIONES DE ROTACION DE LA TAPA

Un parámetro que resulta impredecible es la orientación de la tapa respecto a la imagen que toma la cámara, ya que inevitablemente la tapa gira al desplazarse por la banda transportadora. La utilización de histogramas hace que este efecto no tenga incidencia sobre los parámetros estadísticos de la imagen, ni sobre los histogramas. Para demostrar este hecho se consideraron dos imágenes con distinta alineación y se determinaron sus parámetros estadísticos y los histogramas correspondientes de las Ilustraciones 4.1. y 4.3.

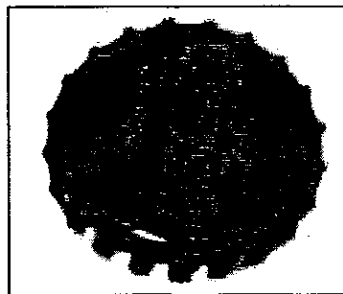
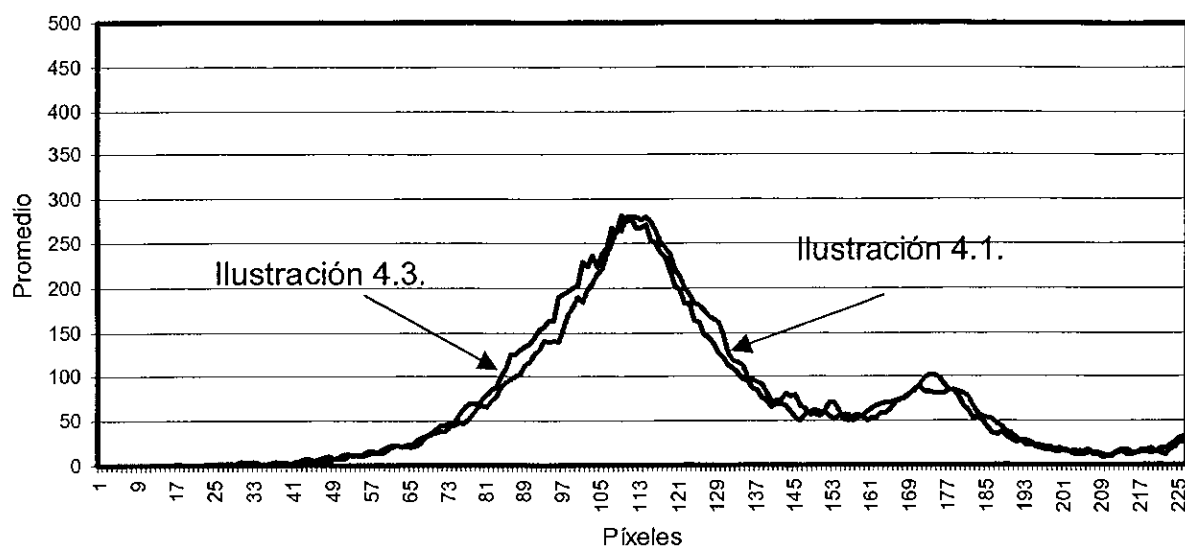


Ilustración 4.3.  
Imagen para análisis con rotación

Gráfica 4.6.  
Histograma Promediado de Ilustración 4.1 y 4.3.



A continuación se presentan los resultados de las pruebas entre las ilustraciones 4.1 y 4.3, como prueba para demostrar que no existen diferencias significativas entre dos tapas de igual logotipo pero con distinta orientación (problema de rotación).

Tabla 4.4.  
Tabla de Resultados de Ilustración 4.1 y 4.3

Descripción	Ilustración 4.1(*)	Ilustración 4.3	Diferencia(%)	Aceptable
Promedio	152.61	151.85	0.49 %	Sí
Desviación estándar	57.79	57.52	0.47 %	Sí
FC			0.37 %	Sí
Aceptable				Sí

(\*) La imagen uno es tomada como referencia para el cálculo de los porcentajes.

El análisis anterior demuestra que no es necesario preocuparse por la orientación que presente la tapa en relación con la imagen que toma la cámara, ya que no tiene incidencia alguna sobre los parámetros estadísticos o sobre su histograma.

## I. TEORIA DE DETECCION DE FALLAS

Una de las partes medulares del sistema es la capacidad de detectar tapas que se encuentren defectuosas o dañadas, esto se basa en la variación de los parámetros estadísticos y los histogramas correspondientes. Por ejemplo el hecho que una tapa tenga un defecto por un punto negro, (ver ilustración 4.4.); sería evidenciado al determinar el histograma de la tapa, ya que todos los puntos correspondientes a esta área defectuosa se correrían hacia un extremo del histograma, y esto también haría variar las medidas estadísticas de la imagen, haciendo que en el instante en que se calcula el parámetro de aceptabilidad la tapá sea rechazada, como se muestra en la Ilustración 4.4., Gráfica 4.7 y tabla 4.5.

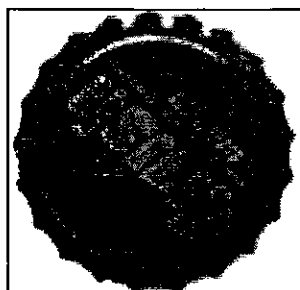
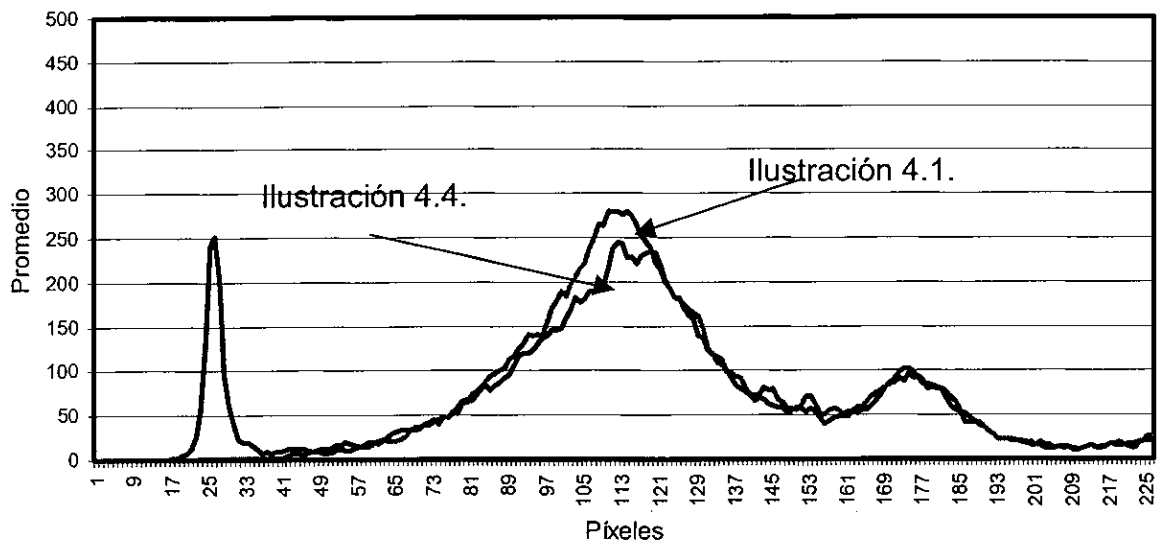


Ilustración 4.4.  
Imagen para análisis con punto negro

Gráfica 4.7.  
Histograma Promediado de Ilustración 4.1 y 4.4.



A continuación se presentan los resultados de las pruebas entre las Ilustraciones 4.1 y 4.4, como prueba para demostrar que la tapa será desechada por el sistema.

Tabla 4.5.  
Tabla de Resultados de Ilustración 4.1. y 4.4.

Desempeño	Ilustración 4.1(*)	Ilustración 4.4	Diferencia(%)	Aceptable
Promedio	152.61	146.91	3.73 %	No
Desviación estándar	57.79	64.87	12.25 %	No
FC			11.06 %	No
Aceptable				No

(\*) La imagen uno es tomada como referencia para el cálculo de los porcentajes

Otro ejemplo es una tapa que se encuentre doblada. Al introducirse una tapa de este tipo a la coronadora, ésta quiebra la boquilla de la botella de vidrio debido a la presión que ejerce para sellar la misma. Es importante eliminar este tipo de tapas de la línea de sellado.

La imagen de la tapa con este tipo de defecto hará que el área del fondo se pronuncie más, debido a la mayor región del fondo. Entonces, al determinar el histograma y los parámetros estadísticos de la imagen, esta presentará distorsión respecto a una que se encuentre en buen estado eliminándose de la línea de producción, como se muestra en la ilustración 4.5. y la gráfica 4.8 contiene los histogramas y la tabla 4.5. el detalle comparativo.



Ilustración 4.5.  
Imagen para análisis doblada

Gráfica 4.8.  
Histograma Promediado de Ilustración 4.1 y 4.5.

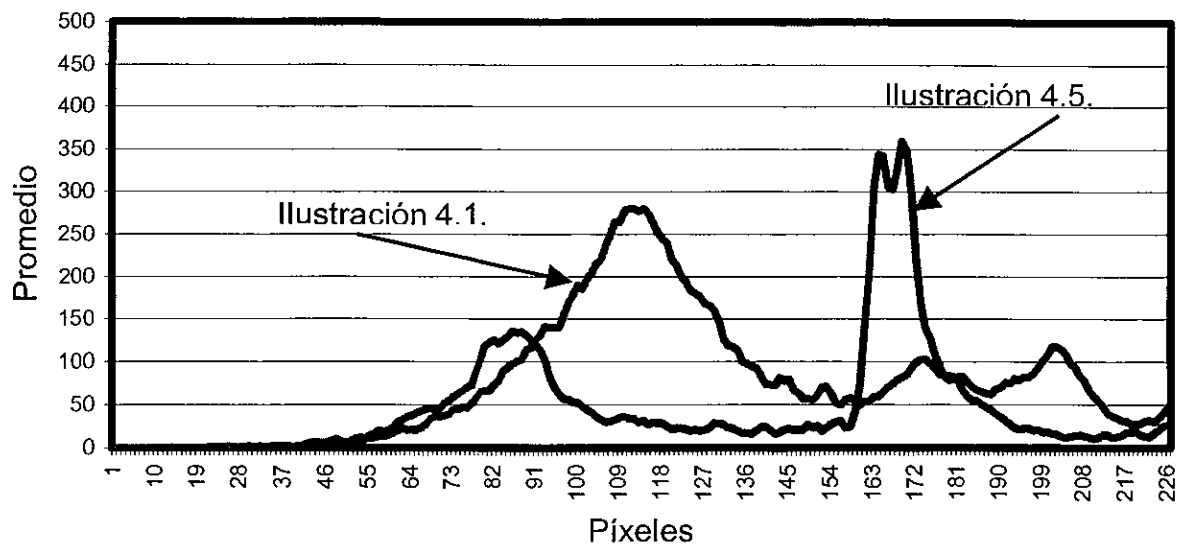


Tabla 4.6.  
Tabla de Resultados de Ilustración 4.1. y 4.5.

Descripción	Ilustración 4.1(%)	Ilustración 4.5	Diferencia(%)	Acceptable
Promedio	152.61	200.87	31.62 %	No
Desviación estándar	57.79	51.57	10.76 %	No
DCFF			32.87 %	No
Acceptable				No

(\*) La imagen uno es tomada como referencia para el cálculo de los porcentajes

Un tercer tipo de falla se presenta cuando la tapa no pertenece al grupo y tiene impreso un logotipo distinto (ver grafica 4.9.). Este tipo de falla resulta el más sencillo de detectar, ya que los histogramas correspondientes no tendrán ninguna relación debido a la variación en el logotipo y la proporción de colores. Entonces, la tapa será eliminada por el sistema, como se demuestra en las ilustraciones 4.6., 4.7. y 4.8.

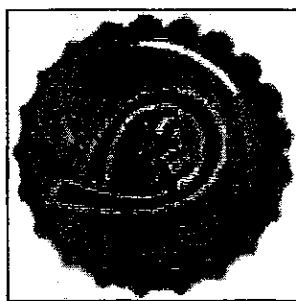


Ilustración 4.6.  
Imagen para análisis Tiky

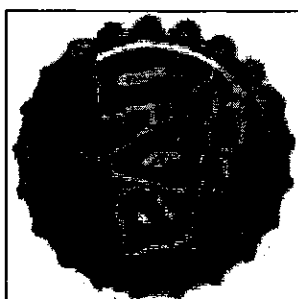


Ilustración 4.7.  
Imagen para análisis Uva

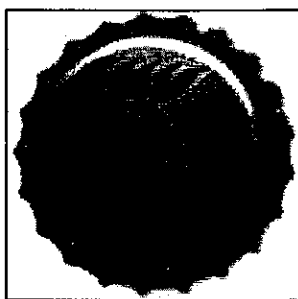


Ilustración 4.8.  
Imagen para análisis Gallo

Gráfica 4.9.  
Histograma Promediado de Ilustración 4.6. 4.7 4.8

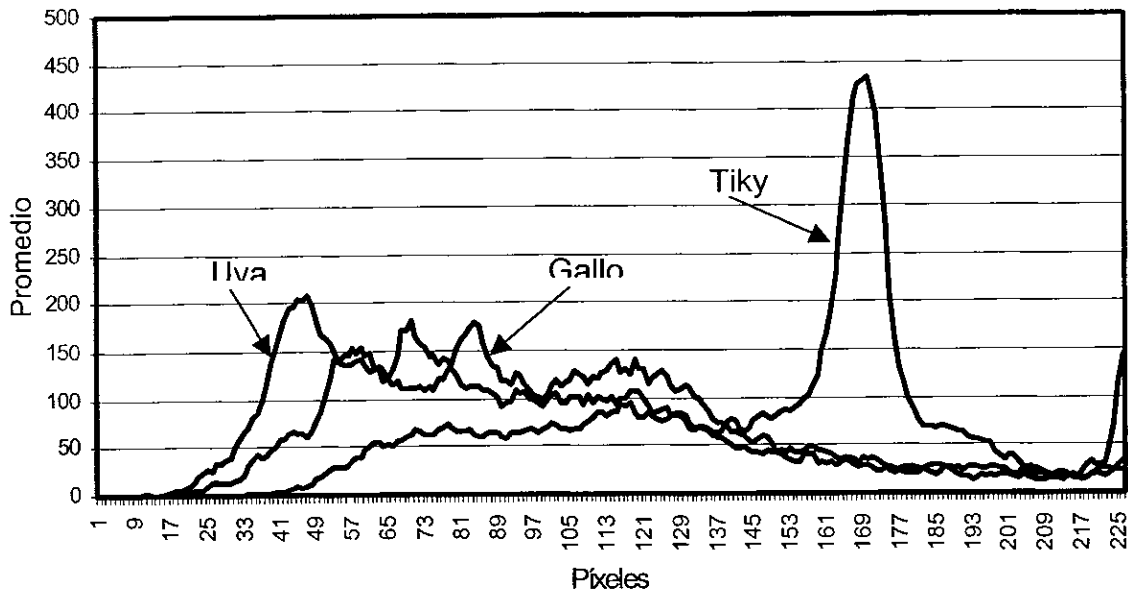


Tabla 4.7.  
Tabla de Resultados de Ilustración 4.1. y 4.6. 4.7. 4.8.

Descripción	Ilustración 4.6	Ilustración 4.7	Ilustración 4.8
Promedio	9.02 %	6.90 %	14.33 %
Desviación estándar	8.13 %	21.13 %	30.07 %
FC	11.50 %	46.08 %	34.55 %
Aceptable	No	No	No

(\*) La imagen uno es tomada como referencia para el cálculo de los porcentajes

Finalmente, la mala posición de la tapa también puede ser detectada. Por ejemplo una tapa que se encuentre volteada, resulta muy sencilla de detectar, ya que en este caso se tendrá la ausencia total del logotipo y el histograma de la imagen no tendrá ninguna relación con el histograma patrón, por lo cual la tapa será eliminada de la banda transportadora.

Como se muestra en la ilustración 4.9., gráfica 4.10. que tiene los histogramas correspondientes y la tabla 4.8. que compara dichas imágenes.

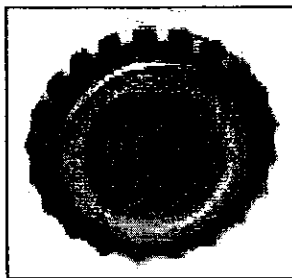


Ilustración 4.9.  
Imagen para análisis Tapa volteada

Gráfica 4.10.  
Histograma Promediado de Ilustración 4.1. y 4.9

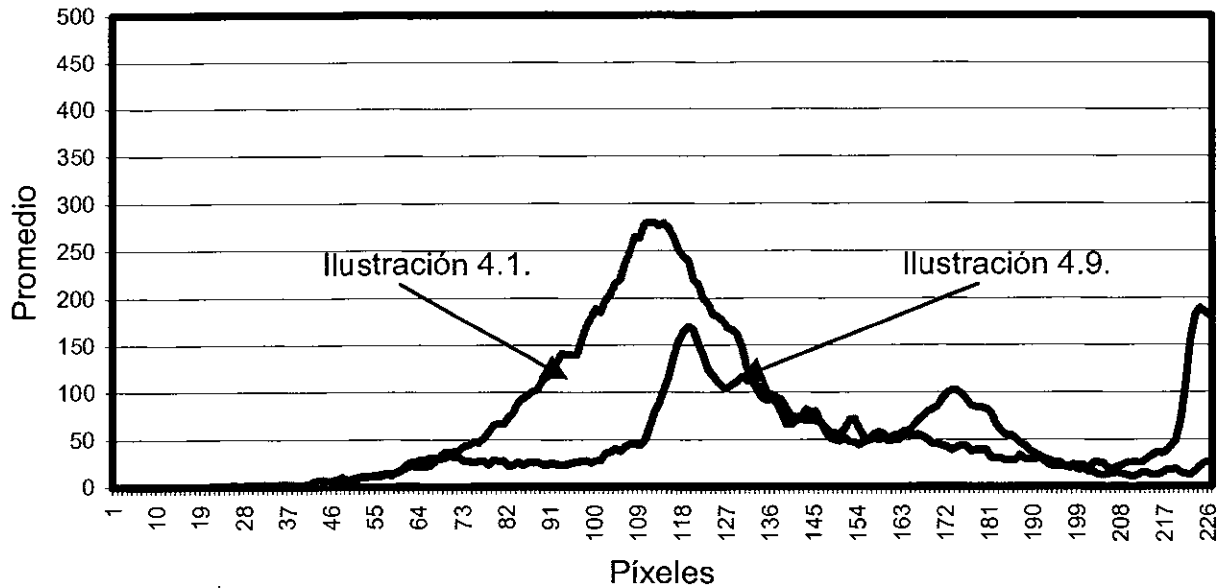


Tabla 4.8.  
Tabla de Resultados de Ilustración 4.1. y 4.9.

Descripción	Ilustración 4.1(*)	Ilustración 4.9	Diferencia(%)	Aceptable
Promedio	152.61	181.87	19.17 %	No
Desviación estándar	57.79	56.583	2.09 %	Sí
FC			51.24 %	No
Aceptable				No

(\*) La imagen uno es tomada como referencia para el cálculo de los porcentajes

## **V. DISEÑO DE LA APLICACIÓN PROPUESTA**

En este capítulo se presenta un diseño básico, pero funcional, del sistema propuesto, que incluye un diagrama estructural que explica el funcionamiento esencial del sistema así como el flujo de las señales e información. Después se presenta el diseño del programa de aplicación, donde se explica su arquitectura, las partes que lo integran y las interrelaciones entre ellas, y en el siguiente capítulo se presenta el diseño electrónico.

La solución propuesta comprende el diseño de la arquitectura de interconexión de un conjunto de componentes que pueden interactuar de manera inteligente para realizar una discriminación entre imágenes tomadas de tapas en la etapa de pre-alimentación y discernir entre ciertos parámetros si la tapa cumple con ciertos márgenes predefinidos, ya que de lo contrario se desecha.

El principio de funcionamiento comprende la utilización de varios parámetros estadísticos (media, desviación estándar y diferencia cuadrática) entre dos histogramas o grupos de valores (uno patrón y uno de prueba) como parámetros de comparación. Siempre que estos valores se mantengan entre un rango determinado la tapa se considera como buena o aceptable.

A continuación se presentan los criterios a tomar en cuenta para el diseño, así como la justificación de su utilización.

#### **A. TIPO DE IMAGEN:**

Todas las imágenes que se analizarán son proporcionadas por una cámara blanco y negro. Este tipo de imagen permite un análisis más rápido y menor carga computacional, lo cual resulta crítico, ya que esta aplicación es en tiempo real.

## **B. FORMATO DE IMÁGENES:**

Todas las imágenes se trabajan en formato bmp (mapa de bits de Microsoft Windows) sin compresión, en escala de grises con 256 tonalidades (8bits) por las siguientes razones:

- Un mayor grado de estandarización con otros programas de manejo de imágenes.
- La gran disponibilidad de información respecto a este formato.
- Su manejo resulta más sencillo y comparable, ya que utiliza algoritmos de compresión.

## **C. NO REPETICION DE PATRONES:**

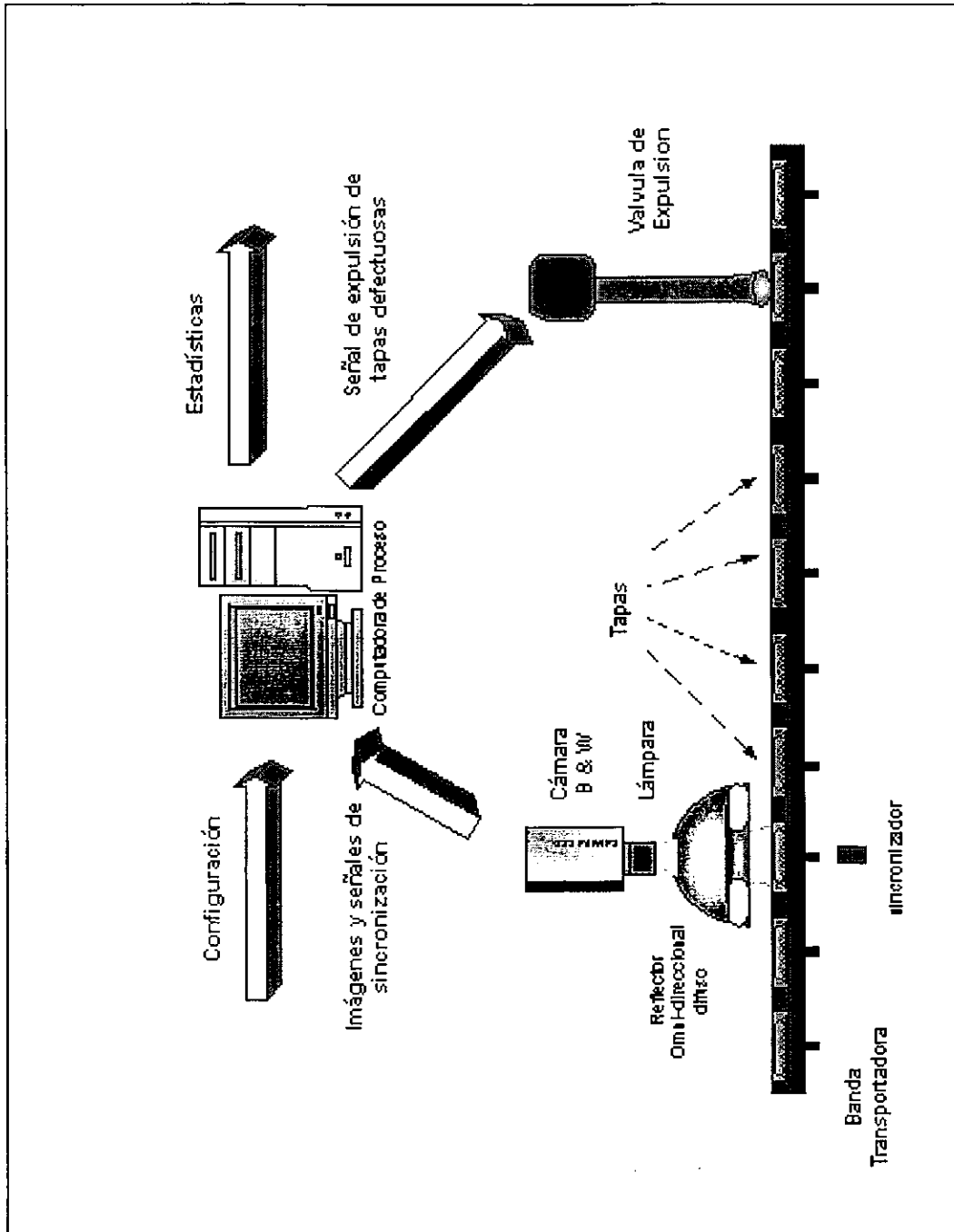
Se asume que los diseños de logotipos pueden variarse a voluntad para evitar la repetición de patrones o que dos patrones sean demasiado parecidos.

## **D. DIAGRAMA ESTRUCTURAL**

El diagrama estructural tiene la función de mostrar el funcionamiento básico y la dirección de flujo de señales, así como dar al lector una idea clara y sencilla de cómo está formado el sistema.

A continuación se presenta la ilustración 5.1. que muestra el diagrama estructural propuesto y se da una explicación de cada una de las partes:

Ilustración 5.1.  
Diagrama Estructural



## 1. Cámara B & N (Blanco y Negro)

Es la encargada de adquirir la imagen de la tapa cuando ésta se encuentra ubicada en la posición indicada. Esta imagen es transmitida hacia la computadora de proceso.

## 2. Sincronizador

Este dispositivo es el encargado de enviar una señal a la cámara indicando que la tapa se encuentra en la posición correcta para capturar la imagen. Este es un detector de proximidad inductivo.

Se elige este tipo de sensor por las siguientes razones:

- No presenta desgaste, debido a la fricción, porque no tiene piezas móviles.
- No le afecta el polvo o suciedad.
- Presenta un tiempo de respuesta adecuado.

### 3. Computadora de análisis

Esta es la encargada de realizar todo el análisis y determinar si una tapa cumple o no con los requisitos impuestos. En el tema 4 se explica la forma en que debe realizarse dicho proceso. También ésta contiene el programa de análisis que es finalmente el encargado de realizar esta tarea.

Uno de los parámetros más importantes para la misma es la velocidad a la cual funciona el procesador central, ya que de éste depende que se pueda completar el análisis de la imagen, a continuación se presenta un cálculo básico para verificar que el procesador elegido tiene la capacidad de soportar esta aplicación.

El procesador elegido (Pentium IV) funciona a una frecuencia 1.4 Gigahertz si suponemos que cada instrucción se ejecuta en 4 ciclos en promedio (uno de lectura, dos de proceso y uno de escritura) se tienen alrededor de 350 millones de instrucciones por segundo (ver tabla 5.1.):

Tabla 5.1.  
Capacidad del Equipo de Cómputo Elegido

Velocidad (Gigahertz)	Multiplicador	Ciclos de Reloj	Ciclos por Instrucción	Total de Instrucciones ejecutadas
1.4	1000000000	1400000000	4	350000000

Cada imagen tiene alrededor de veinticinco mil píxeles, lo que implica que las imágenes deberán tener una resolución de 100 píxeles por pulgada (dpi), en formato de 8 bits en escala de grises.

El proceso básico por tapa implica la lectura de la imagen, el cálculo de su histograma, su promedio, su desviación estándar, y finalmente se calculan los parámetros de aceptación.

Para realizar un análisis básico tomaremos en cuenta los parámetros anteriores asignándoles una cantidad de instrucciones aproximadas según la carga computacional que cada una representa, por ejemplo el cálculo del histograma de una forma burda se realizaría efectuando un conteo sobre toda la imagen doscientas cincuenta y seis veces (8 bites), lo que implicaría un total de instrucciones de seis millones y medio de instrucciones (256 x 25000).

Tabla 5.2.  
Carga Computacional por imagen a 100 dpi

Lectura de imagen	Histograma	Promedio y Desviación estándar	Parámetros	Total de Instrucciones
25000	6400000	25000	1000	6451000

Al realizar la relación entre los resultados anteriores (total de instrucciones ejecutadas y total de instrucciones por imagen) tenemos que el procesador podría analizar hasta 54 imágenes por segundo, las coronadoras funcionan normalmente a 200 botellas por minuto pero en algunos casos alcanzan velocidades de hasta 300 botellas por minuto o 5 botellas por segundo, de lo anterior vemos que el procesador tiene suficiente capacidad.

Finalmente existen otros parámetros importantes para la computadora pero no resultan limitantes para el sistema, entonces se han especificado en base a la disponibilidad del mercado local de la siguiente forma:

- ❑ Memoria Ram 128 Megabytes
- ❑ Fuente de poder 250 Watts
- ❑ Disco duro de 40 Gigabytes

- Monitor a colores de 14 pulgadas
- Unidad de Cd-Rom

#### **4. Válvula de expulsión**

Esta es una válvula neumática normalmente cerrada que permite la circulación de aire comprimido cuando se expulsa alguna tapa de la banda de transporte. Esta es abierta una fracción de segundo, para garantizar que solamente se expulsará la tapa defectuosa. Entre las ventajas de este tipo de válvula se pueden mencionar las siguientes:

- Son confiables y eficientes.
- Existe una gran cantidad de modelos y fabricantes.
- Puede ser conectada a la línea de aire comprimido de la máquina de la planta.
- Es fácilmente sustituible.

## E. ARQUITECTURA DEL PROGRAMA

El programa de análisis es una de las partes medulares del sistema, ya que de este depende el éxito del mismo. Este es el encargado de realizar el cotejo sobre la imagen y determinar si esta cumple con los parámetros establecidos o si es defectuosa.

La arquitectura seleccionada es híbrida, debido a que se puede tener un mejor funcionamiento. La arquitectura que se considera adecuada para el sistema es de funciones y procedimientos para el proceso de análisis y el manejo de memoria se hace sobre una arquitectura Blackboard<sup>5</sup>.

Razones:

- La arquitectura de funciones y procedimientos permite realizar el análisis de las imágenes por pasos como los descritos en el tema 4.
- Resulta conveniente para la optimización o mejora de las funciones y procedimientos, ya que estos tienen tareas específicas y se ejecutan uno tras otro.
- Debido a la naturaleza del proceso, que es muy repetitivo (todas las tapas son sometidas exactamente al mismo proceso), y es un proceso

por lotes, (una vez se toma una imagen, no se puede analizar otra hasta que se finalice el análisis de la misma).

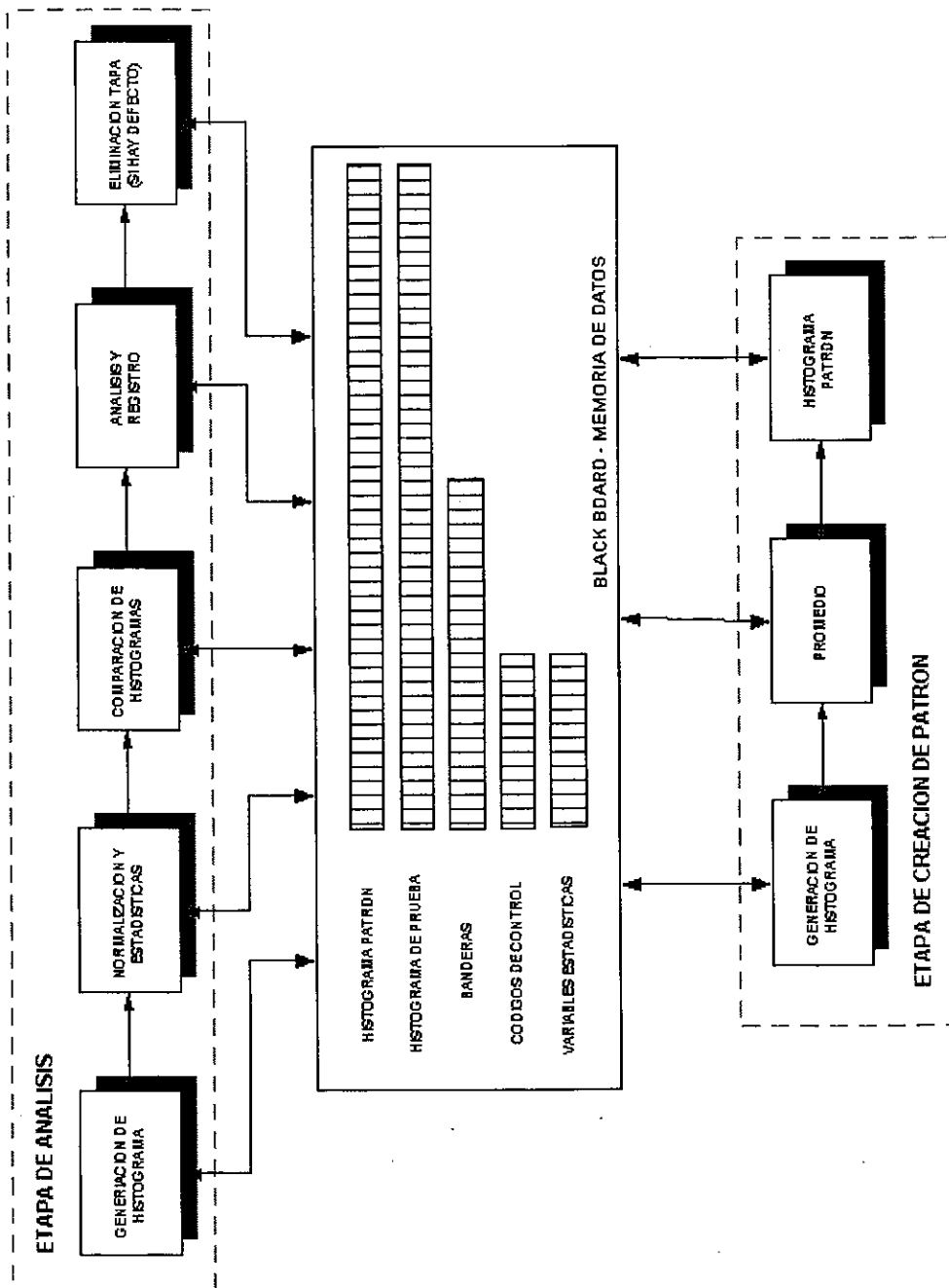
- Debido a que todos los procedimientos están relacionados con la misma imagen.
- Es conveniente el uso de un solo bloque de memoria que contenga estos datos para lo cual la arquitectura de Blackboard es la que mejor se aplica.

Este programa tiene dos etapas de funcionamiento:

1. La etapa de análisis, en la cual el sistema ejecuta la supervisión de las tapas que pasan por la línea de producción.
2. La etapa de creación del patrón, donde el sistema captura una cantidad de imágenes (ciento veinte), de las cuales obtiene un promedio y desviación estándar general, y un histograma general, el cual contiene características de un grupo grande de tapas.

La ilustración 5.2. presenta la arquitectura del programa de control, indicando los procedimientos más importantes para mayor claridad:

**Ilustración 5.2.**  
**Arquitectura de Programa de Análisis**



Los procedimientos y funciones que están representados en el diagrama realizan las funciones básicas para que el sistema pueda funcionar adecuadamente. Los procedimientos se ejecutan cuando son llamados y, al finalizar cada procedimiento este llama al próximo. Las funciones son llamadas desde los procedimientos. Todos los procedimientos y funciones realizan tareas sobre un área de memoria compartida llamada Blackboard, la cual contiene histogramas patrón y de prueba, banderas que indican el estado del sistema y códigos de control que son los encargados de controlar el flujo de información en el sistema.

## **F. ETAPA DE ANALISIS**

A continuación se presenta una descripción de los procedimientos de la etapa de análisis que se encuentran representados en la ilustración 5.3. diagrama 1 y se describe también su funcionamiento.

## 1. Generación de Histograma de Imagen

Este procedimiento tiene la función de determinar el histograma de la imagen de prueba y trasladarlo hacia la memoria compartida. La captura de la imagen se realiza en la cámara y, posteriormente, es digitalizada por una tarjeta de manejo de video y trasladada hacia la memoria de la computadora.

Inicialmente el procedimiento será llamado por la circuitería del sistema cuando una imagen ya se ha transferido a la memoria de la computadora. El procedimiento enviará el código de control a la memoria compartida, que indicará que se encuentra procesando la imagen.

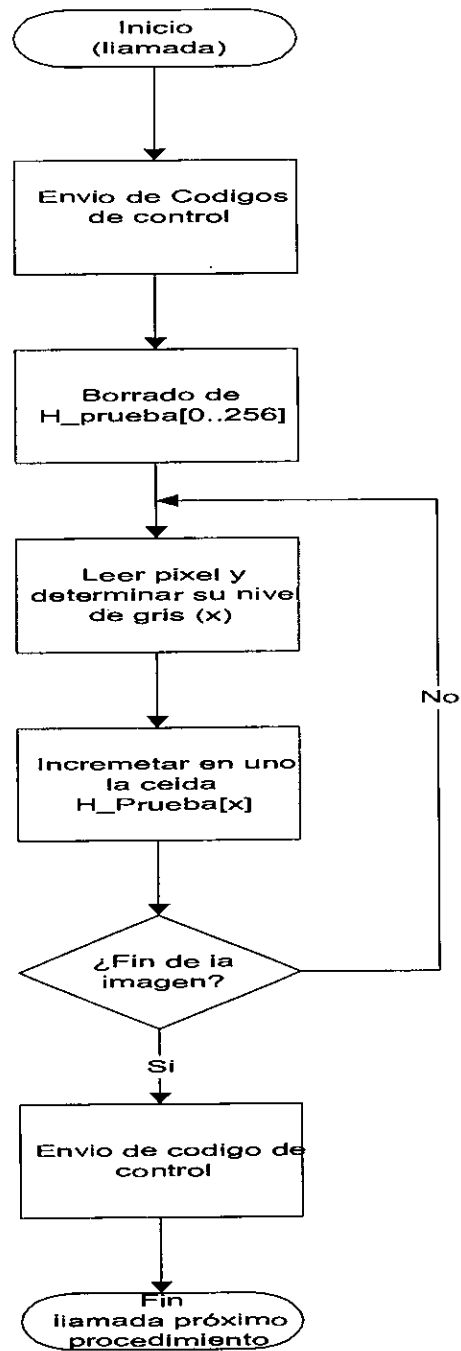
El procedimiento realiza el conteo de los niveles de gris y los clasifica en un arreglo de memoria de 256 posiciones, llamado  $H_{prueba}[0..255]$ . Este arreglo corresponderá al histograma de la imagen y, por cada nivel de gris, se tendrá una posición en el arreglo, que contendrá el total de píxeles de la imagen para ese nivel. El procedimiento revisará cada píxel de la imagen e

incrementará en uno la posición de memoria del nivel de gris correspondiente al encontrar un píxel de ese nivel en la imagen.

Una vez finalizado, se envía el código de control a la memoria compartida para indicar que el histograma de prueba está terminado y se llama al siguiente procedimiento.

A continuación se presenta la ilustración 5.3. diagrama de flujo 1 para este procedimiento.

Ilustración 5.3.  
Diagrama de Flujo 1



## 2. Normalización y Estadísticas

Este procedimiento es llamado por el anterior y tiene la función de suavizar el histograma y determinar algunos parámetros estadísticos necesarios en el proceso, como el promedio estadístico y la desviación estándar del grupo de datos.

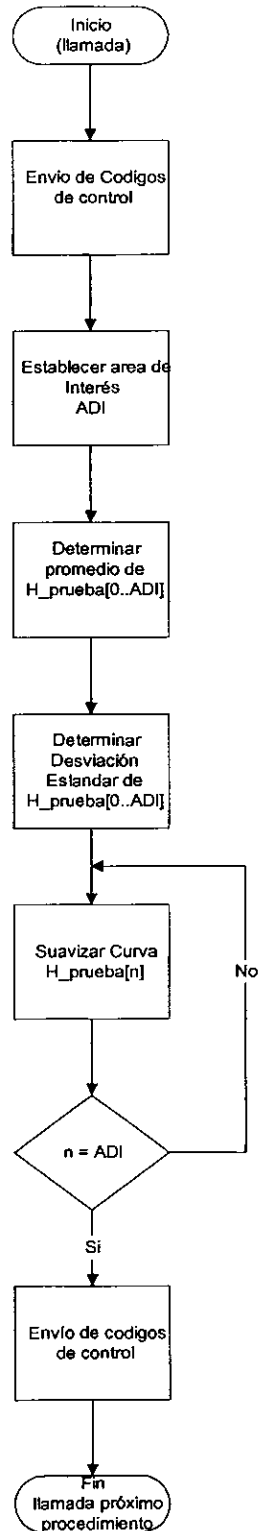
Inicialmente, verifica que ningún otro proceso se encuentre activo y entonces envía un código de control a la memoria compartida para indicar que se encuentra procesando.

El establecimiento del parámetro ADI es realizado por el usuario previamente. Este parámetro es utilizado por este procedimiento para poder separar el área de interés del fondo de la imagen.

El procedimiento también efectúa el cálculo de la intensidad promedio y una desviación estándar en base a los datos que se encuentran en  $H\_prueba[n]$ , los cuales transfiere a la memoria compartida para que sean analizados por el siguiente procedimiento. Posteriormente, también realiza una operación de suavizado de la curva, según los criterios expresados en el tema 4, página 41.

Una vez finalizado envía un código de control y realiza la llamada al siguiente procedimiento. La ilustración 5.4 presenta el diagrama flujo 2 del procedimiento.

Ilustración 5.4.  
Diagrama de Flujo 2



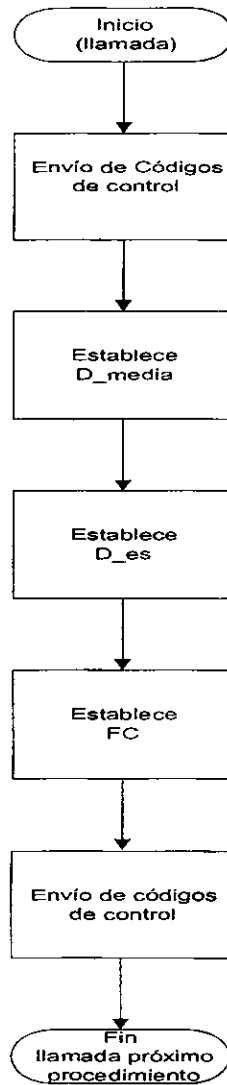
### 3. Comparación de Histogramas

Este procedimiento es llamado por el anterior y tiene la función de comparar los histogramas patrón y de prueba. Esta función requiere un parámetro, llamado desviación cuadrática del factor de forma, del promedio y la desviación estándar estadístico entre histogramas. Cada uno tiene un peso específico para su análisis, según se vió en el tema 4, página 45.

Inicialmente, el proceso envía códigos de control para indicar que se encuentra procesando. Después, establece la diferencia porcentual entre el promedio y la desviación estándar de los dos histogramas, Finalmente, establece la desviación cuadrática del factor de forma, utilizando las fórmulas expuestas en el tema 4, página 46.

Una vez finalizado, envía un código de control y realiza la llamada al siguiente procedimiento, la ilustración 5.5. presenta el diagrama flujo 3 del procedimiento.

Ilustración 5.5.  
Diagrama de Flujo 3



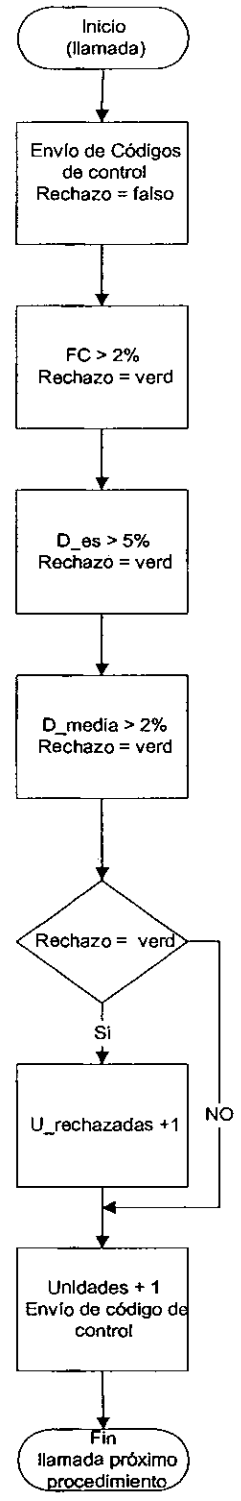
#### 4. Análisis y registro

Este procedimiento es llamado por el anterior y tiene la función de evaluar si la tapa será aceptada o rechazada. Para realizar esta función lo hace a través de los parámetros DCFF,  $D_{media}$  y  $D_{es}$  de los histogramas.

El criterio de aceptación se establece en un máximo porcentaje de tolerancia por cada parámetro, y el criterio de aceptación se basa en la aprobación de las distintas pruebas que es factible realizar. El rechazo ocurre cuando alguna de las pruebas falla, como se vió en el capítulo anterior.

Este procedimiento llevará también control del número de tapas defectuosas ( $U_{rechazo}$ ) y total de tapas analizadas ( $U_{analiz}$ ), etc. Estos datos nos permitirán conocer el porcentaje de desperdicio por lote.

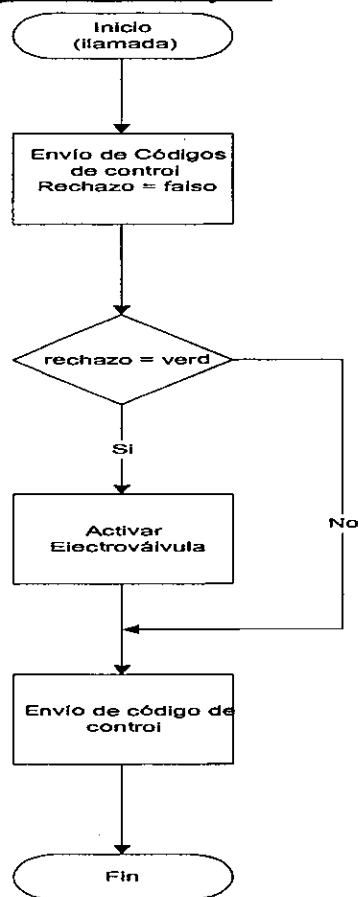
### Ilustración 5.6. Diagrama de Flujo 4



## 5. Eliminación de tapa.

Si el procedimiento anterior establece la tapa como defectuosa este enviará la orden a la electroválvula para eliminar la tapa, entonces esta se activará durante un instante de tiempo, eliminándola de la línea. La ilustración 5.7 presenta el diagrama de flujo 5 para el procedimiento.

**Ilustración 5.7.**  
**Diagrama de Flujo 5**



## G. ETAPA DE CREACION DEL PATRON

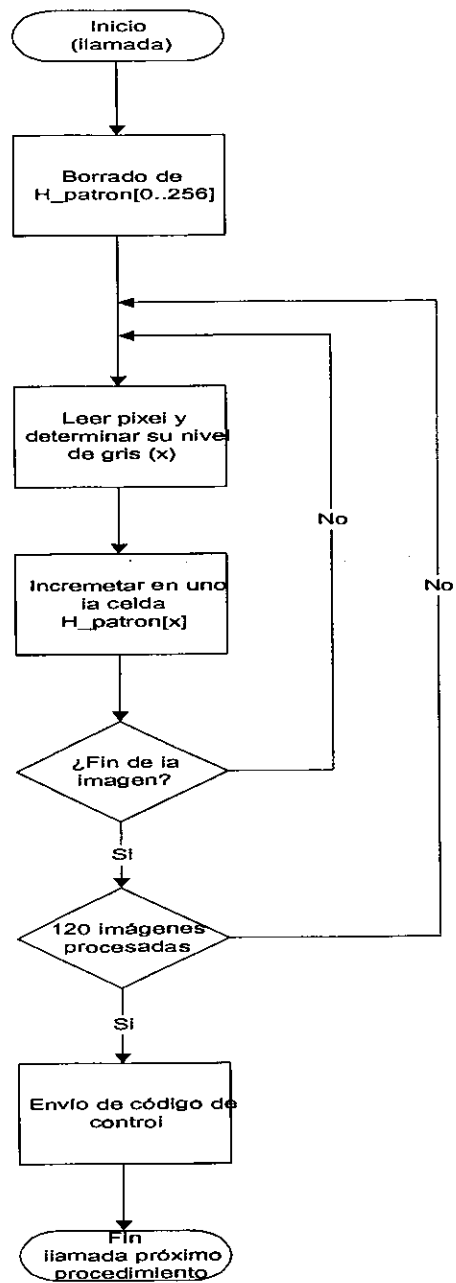
Esta etapa se realiza previo a la etapa de control de calidad, y tiene la función de crear el histograma patrón en la memoria compartida. Este se obtiene promediando un gran número de imágenes, y contiene los siguientes procedimientos:

### 1. Generación de Histograma Patrón

El procedimiento realiza el conteo de los niveles de gris y los clasifica en un arreglo de memoria de 256 posiciones llamado  $H\_patron[0..255]$ . Este arreglo corresponderá al histograma de la imagen y por cada nivel de gris se tendrá una posición en el arreglo que contendrá el total de píxeles de la imagen para determinado nivel de gris. El procedimiento revisará cada píxel de la imagen e incrementará en uno la posición de memoria del nivel de gris correspondiente al encontrar un píxel de ese nivel en la imagen. Una vez finalizado se envía el código de control a la memoria compartida para indicar que el histograma de prueba está terminado y se llama al siguiente procedimiento.

La ilustración 5.8 presenta el diagrama de flujo 6 para este procedimiento.

**Ilustración 5.8.**  
**Diagrama de Flujo 6**



Es importante mencionar que este procedimiento realizará un análisis sobre 120 imágenes para poder obtener valores promedios representativos y podrá ser llamado cuando sea necesario regenerar el patrón.

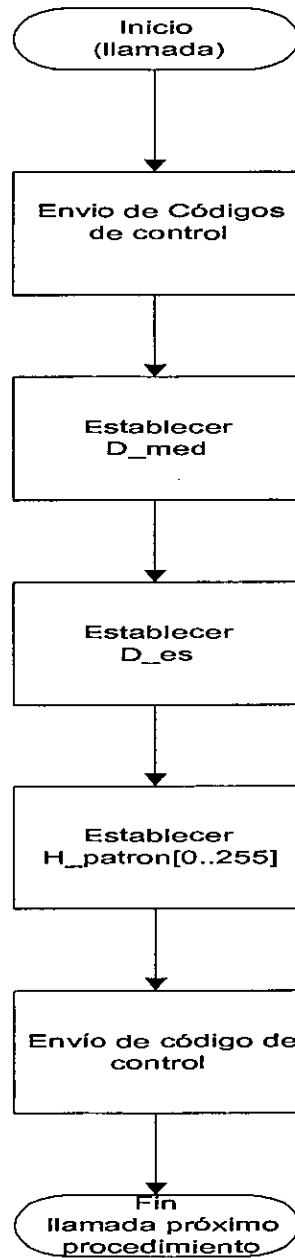
## **2. Promedio**

Este procedimiento es llamado por el anterior y tiene la función de establecer los parámetros  $D_{media}$  (promedio general de todas las muestras),  $D_{es}$  (desviación estandar de todas las muestras) y  $H_{patron}$ . Inicialmente envía códigos de control a la memoria compartida.

El parámetro  $D_{media}$ ,  $D_{es}$  y  $H_{patron}$  son obtenidos promediando todos las muestras que se tomaron.

La ilustración 5.9 presenta el diagrama de flujo 7 para este procedimiento:

Ilustración 5.9.  
Diagrama de Flujo 7

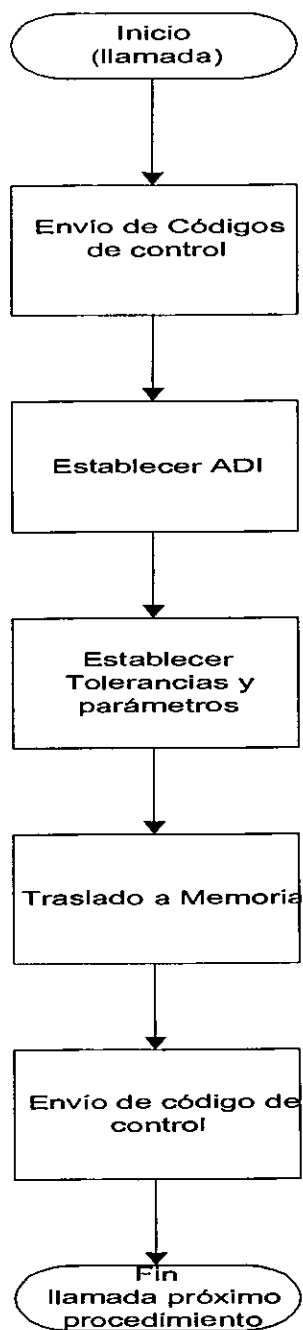


### 3. Histograma Patrón

Este procedimiento es llamado por el anterior y establece el Área de Interés (ADI) y los porcentajes de tolerancia para cada una de las pruebas que se realizan a las imágenes. Estos parámetros son establecidos con base en el margen de exactitud deseado por el usuario. Finalmente transfiere esta información a la memoria compartida e inicia la etapa de análisis.

La Ilustración 5.10 presenta el diagrama de flujo 8 para este procedimiento:

**Ilustración 5.10**  
**Diagrama de Flujo 8**



## **H. IMPLEMENTACION DE PROGRAMA DE ANALISIS:**

En esta sección se presentan algunos criterios de selección para la herramienta de implementación y desarrollo la cual debe cumplir con algunas características como son velocidad de procesamiento, sencillez de manejo, flexibilidad y adaptabilidad a modificaciones, sin embargo la más importante resulta de un adecuado manejo de aplicaciones en tiempo real.

Existen actualmente varias opciones que cumplen con dichos requisitos por ejemplo: Borland C++, Borland Turbo Pascal, Image++ de Image Integration, LabVIEW 5.0 de National Instruments, Khoros Pro 2001 de Khoral Research; las cuales, sin embargo, por el rápido avance de la tecnología son sustituidas por versiones mejoradas constantemente; razón por la cual es recomendable un estudio en este sentido previo a la implementación del sistema.

La herramienta de implementación elegida es LABVIEW versión 5.1<sup>6</sup> e IMAQ Versión 2.0<sup>7</sup> de National Instruments debido a las siguientes razones:

- Facilidad de uso
- Presenta un tipo de implementación gráfica
- Permite creación de procedimientos y funciones en otros lenguajes
- Integra una gran cantidad de herramientas para manejo de imágenes (alrededor de 400)
- Adecuado manejo de señales en tiempo real
- Capacidad de generación y manejo de histogramas de imágenes
- Capacidad de crear reportes
- Existe abundante información respecto a la herramienta

La programación en LabVIEW se realiza gráficamente en lenguaje G; la arquitectura de desarrollo es abierta<sup>8</sup> y permite crear programas ejecutables compilados a 32 bits, esto es una característica apreciable para aplicaciones en tiempo real.

La ilustración 5.11. presenta la interfase de programación de LabVIEW y en la ilustración 5.12. un ejemplo de este tipo de programación; este programa

genera un número aleatorio cada 250 milisegundos y realiza una gráfica en el monitor y también envía los números a un archivo de texto denominado data.txt; también calcula el promedio de los datos y lo despliega en el monitor, para una completa descripción de las funciones se sugiere consultar bibliografía relacionada<sup>9</sup>.

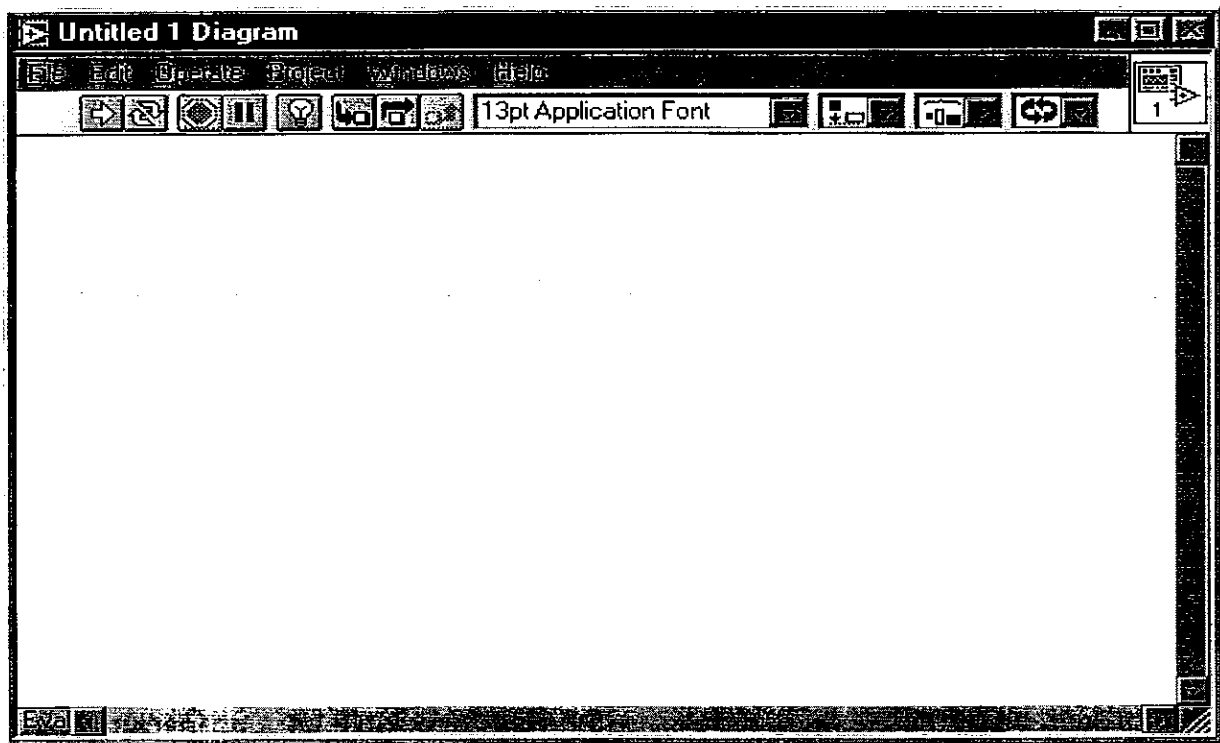


Ilustración 5.11  
Interfase de programación LabVIEW

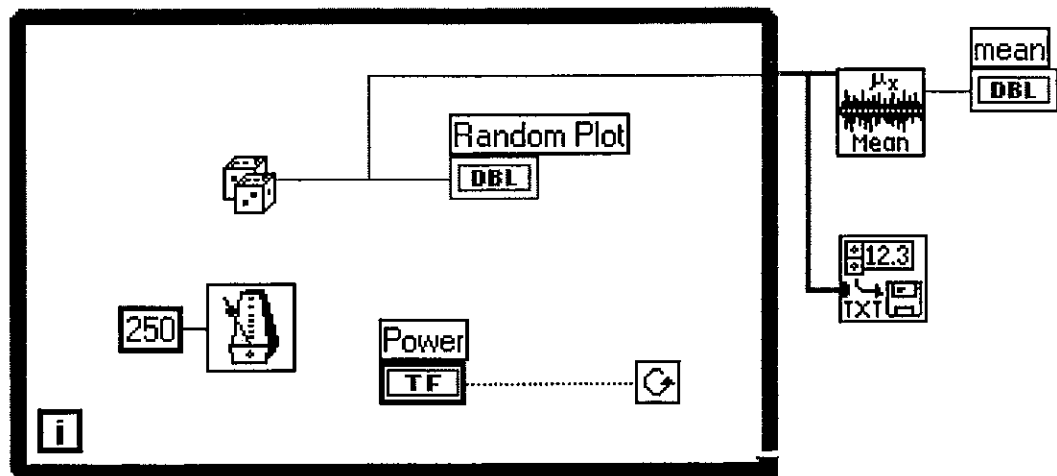


Ilustración 5.12  
Tipo de Programación LabVIEW

IMAQ Versión 2.0 es una herramienta poderosa ya que incluye alrededor de 400 funciones para manejo de imágenes digitales, entre las que se pueden mencionar histogramas de imágenes, correlaciones entre imágenes, aplicación de máscaras, operaciones aritméticas entre imágenes, detección de bordes, filtros, redimensionamiento, etc.

A continuación se presentan algunas funciones útiles para nuestro sistema, así como su representación en lenguaje G y una descripción básica de su funcionamiento, para más información se sugiere consultar bibliografía especializada<sup>8</sup>

### 1. Máscara (IMAQ MASK):

Esta función da como resultado una imagen de salida (Image Dst Out) a partir de la aplicación de una máscara (Image Mask) a una imagen de entrada (Image Src).

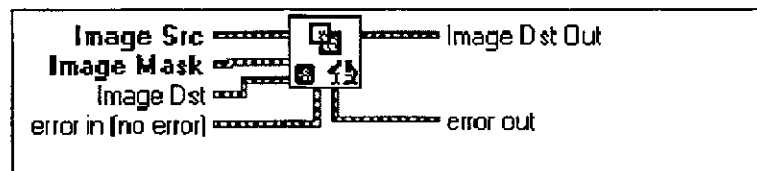


Ilustración 5.13.  
Máscara (IMAQ MASK)

## 2. Histograma (IMAQ HISTOGRAM):

Calcula el histograma de una imagen de entrada (Image), también puede aplicársele una máscara (Image Mask), el parámetro intervalo (Interval Range) indica el rango mínimo y máximo sobre el cual se calculará el histograma.

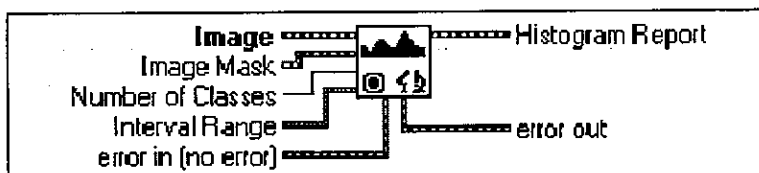


Ilustración 5.14.  
Histograma (IMAQ HISTOGRAM)

### 3. Valor de un Píxel (IMAQ GETPIXELVALUE)

Esta función retorna el valor de un píxel en la coordenada (x,y) de una imagen de entrada (Image), esta generara un valor dependiendo del formato de la imagen (U8, I16, SGL).

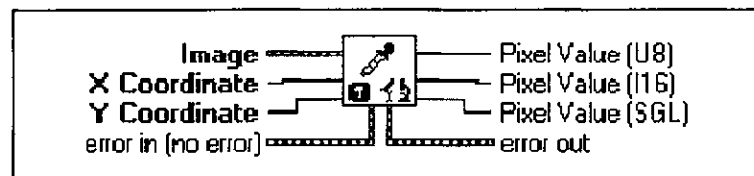


Ilustración 5.15.  
Valor de un Píxel (IMAQ GETPIXELVALUE)

### 4. Suma (IMAQ ADD)

Suma dos imágenes (Image Src A e Image Src B) o una imagen (Image Src A) y una constante (Constant).

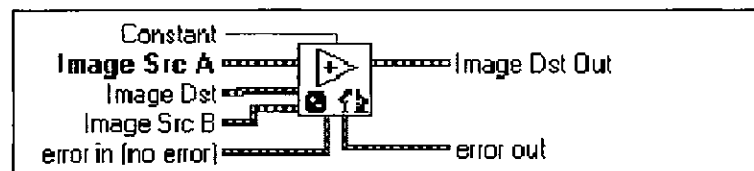


Ilustración 5.16.  
Suma (IMAQ ADD)

## 5. Comparación (IMAQ COMPARE)

Realiza operaciones como obtener el promedio, valor máximo o mínimo, (Operador = 0,1,2), entre dos imágenes (Image Src A y Image Src B) o entre una imagen (Image Src A) y una constante (Constant).

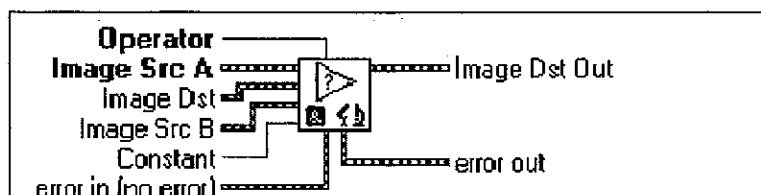


Ilustración 5.17.  
Comparación (IMAQ COMPARE)

## 6. Correlación (IMAQ CORRELATION)

Calcula la correlación entre dos imágenes (Image Src y Image Template), ésta puede ser restringida a un área rectangular (Optional Rectangle), ya que esta es una operación que requiera de una gran cantidad de instrucciones para su ejecución.

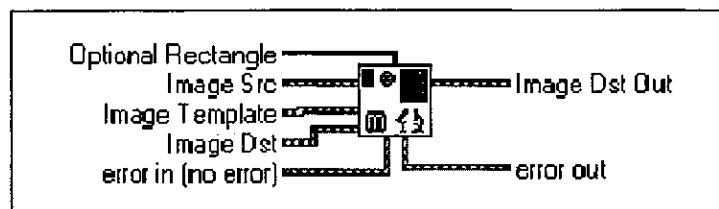


Ilustración 5.18.  
Correlación (IMAQ CORRELATION)

## **VI. DISEÑO ELECTRONICO**

En este capítulo se expone el diseño electrónico del sistema, así como los principales componentes que lo integran, entre los que se puede mencionar cámaras, tarjetas de digitalización, sensores, fuentes, relés, etc.

El diseño electrónico que se presenta en este capítulo es básico y relativamente simple para facilitar su comprensión, y sirve de base para que en el futuro se puedan realizar muchas mejoras de funcionalidad. También se presenta a lo largo del capítulo la forma básica de operar de cada elemento.

Los elementos elegidos son componentes estandarizados, para permitir una mejor funcionalidad y una adecuada integración de los mismos. También es posible obtener de distintos fabricantes componentes similares, que resulta una gran ventaja, en caso de daño o fallas en los mismos.

También se explican las principales características para los componentes elegidos y se presentan sus principales características (voltajes de operación distancia de detección, las corrientes de operación, etc.).

Básicamente, el sistema está compuesto por un sensor de proximidad, una cámara de video, una tarjeta de captura de imágenes, una electroválvula, la computadora de análisis y componentes auxiliares. La ilustración 6.1. muestra un diagrama básico del sistema y los componentes. Esta parte corresponde a la electrónica del sistema, la cual será explicada en detalle en este capítulo.

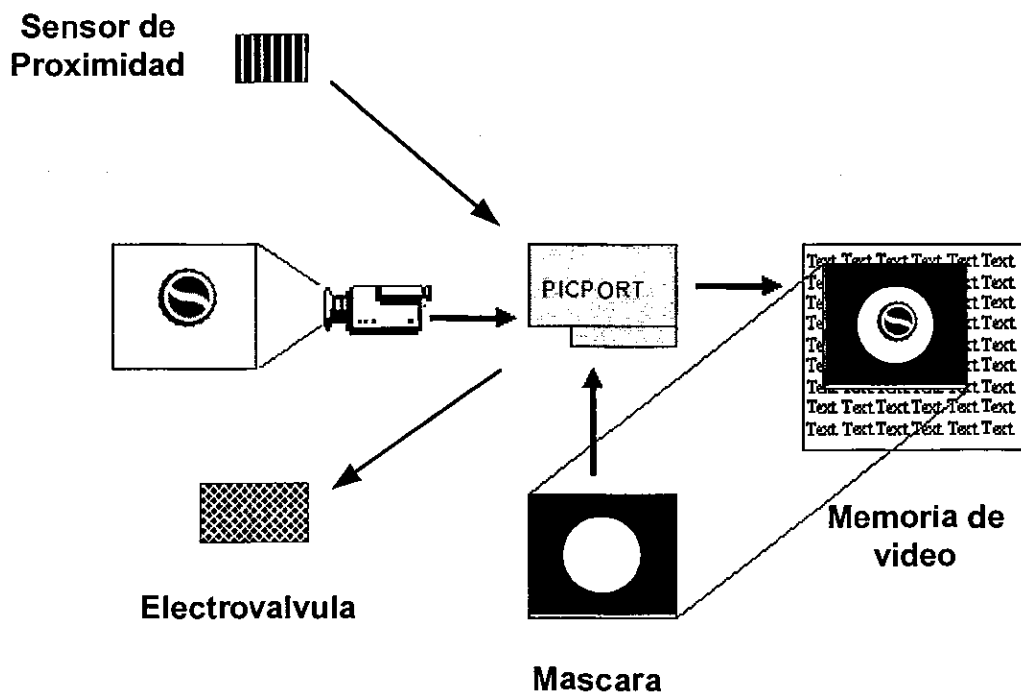


Ilustración 6.1  
Sistema Electrónico

El funcionamiento de los componentes electrónicos se puede resumir de la siguiente forma: el sensor de proximidad envía una señal cuando la tapa se encuentra en determinada posición. Esta señal es recibida por la cámara de video y ésta inicia la adquisición de la imagen. Cuando la cámara termina la captura de la imagen, esta envía una señal a la tarjeta de captura. La imagen es transferida a la tarjeta de adquisición de imágenes. Esta la digitaliza y a través de un proceso de DMA la envía directamente a la memoria de video de la computadora. Durante este proceso, a la imagen se le aplica una máscara para reducir el tamaño de la misma y eliminar parte del área que no es útil. A partir de este instante, la computadora puede iniciar su análisis y establecer si la tapa cumple con los parámetros establecidos. Finalmente, si una tapa es rechazada se envía una señal a la electroválvula para que deseche la tapa. La electroválvula es operada a través de un relé de estado sólido para mejorar su funcionalidad y reducir el ruido eléctrico.

## **A. TARJETA DE ADQUISICIÓN DE IMÁGENES**

La tarjeta de adquisición de imágenes propuestas es la pieza clave de la circuitería, debido a que esta tiene la capacidad de realizar una sincronización con otros componentes, como sensores y relés. En este caso se ha elegido

una tarjeta PICPORT modelo 9512 versión 2 de la empresa Leutron<sup>10</sup>, con las siguientes características:

- Tarjeta de Adquisición de Imágenes para bus PCI Rev. 2.1
- Entrada de Video: Estándar RCA (1 vpp) y Svideo
- Captura de imágenes con 8 bits con tasas de muestreo de hasta 16Mhz.
- Transferencia de imagen directa en tiempo real hacia un host o a la memoria de video vía PCI usando dos canales de DMA independientes.
- Puerto RS-232 para configuración
- Conector de 44 pines funciones específicas.
- Entrada de Trigger, separado optoelectrónicamente, permitiendo adquisición de imágenes asíncrona.
- Salida de trigger para flash light, strobes, etc., optoelectrónicamente separada.
- Resolución de imágenes de hasta 2048 x 2048 píxeles.
- Tasa de transferencia en bus maestro PCI de hasta 132 Mb/seg.
- Reflejo de imagen horizontal en tiempo real
- Máscara de bloqueo para sobreimpresión de texto o gráficos

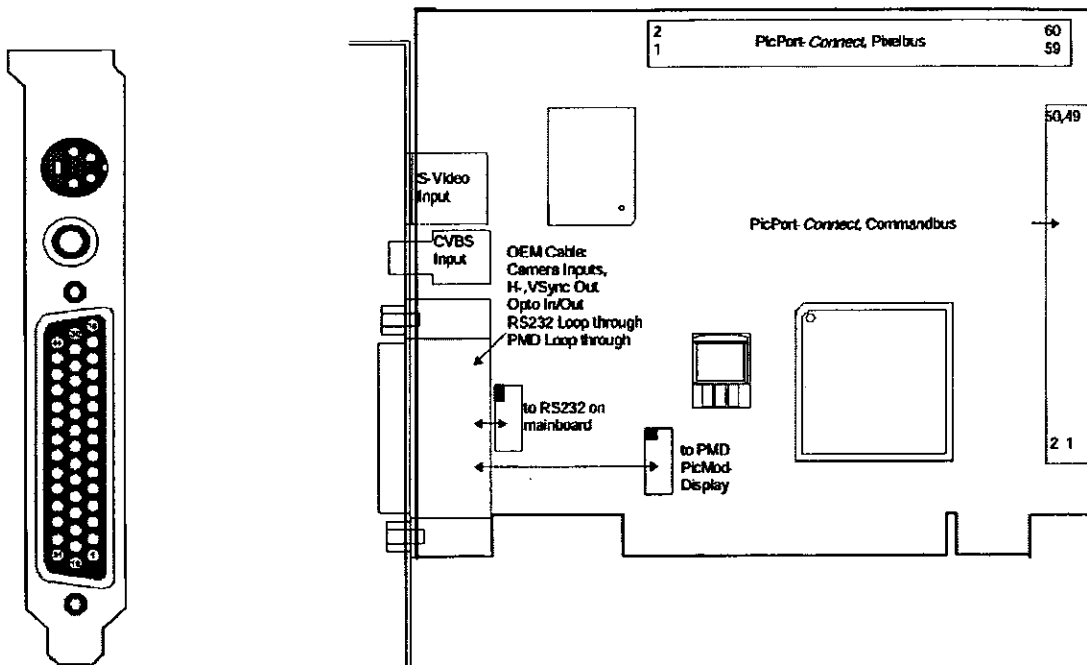
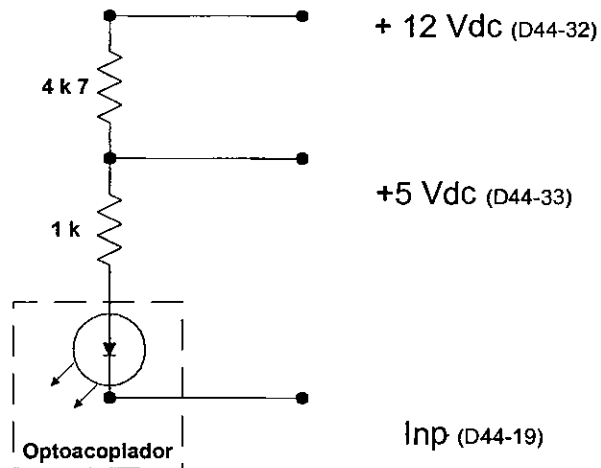


Ilustración 6.2.  
Tarjeta de Adquisición de Imágenes

Esta tarjeta se instala físicamente en el interior de la computadora a través de un bus PCI estándar y debe configurarse previamente para que opere de una forma adecuada. Esta tarjeta posee un conector tipo D de 44 pines que tiene varias funciones de control y sincronización las cuales serán analizadas en los siguientes párrafos.

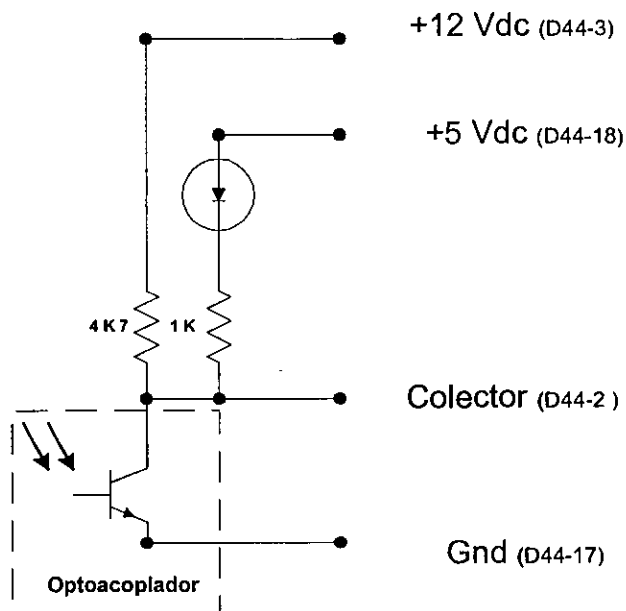
Una de las principales características de esta tarjeta es la capacidad de manejo de señales externas (modo asíncrono) como las provenientes de sensores. Esto se realiza a través del siguiente circuito integrado en la tarjeta:



**Ilustración 6.3.**  
**Modo Asíncrono**

Este circuito tiene la capacidad de manejo de dos voltajes y utiliza un optoacoplador que tiene la función de aislar eléctricamente la tarjeta de los circuitos externos y prevenir interferencias eléctricas externas. Cuando algún sensor envía una señal ésta dependiendo de su valor, generará una corriente, la cual activará la señal de entrada de la tarjeta.

De igual forma la señal de salida se utiliza a través del siguiente circuito:



**Ilustración 6.4.**  
**Circuito de dos Voltajes**

Este circuito permite la activación de dispositivos externos, como lámparas de destello (falsees), electroválvulas, etc. Esta salida se encuentra aislada eléctricamente a través de un optoacoplador que tiene la función de aislar eléctricamente la tarjeta de los circuitos externos y prevenir interferencias eléctricas externas, cuando la tarjeta envía una señal de activación el optotransistor para el estado de saturación y el voltaje en la terminal del colector se reduce a cero y entonces se activa el elemento externo que en nuestro caso se trata de un relé de estado sólido.

## B. CAMARA DE VIDEO

La cámara de video elegida es LV-1000 marca LEUTRON<sup>11</sup>, esta tiene la función de obtener las imágenes en escala de grises de las tapas; funciona a través de un circuito CCD el cual captura imágenes digitalmente, y las almacena en una memoria temporal. Esta cámara tiene varios modos de funcionamiento. De estos, el más apropiado es el asíncrono, ya que este modo permite que la cámara tome imágenes cuando algún dispositivo externo se lo solicite.

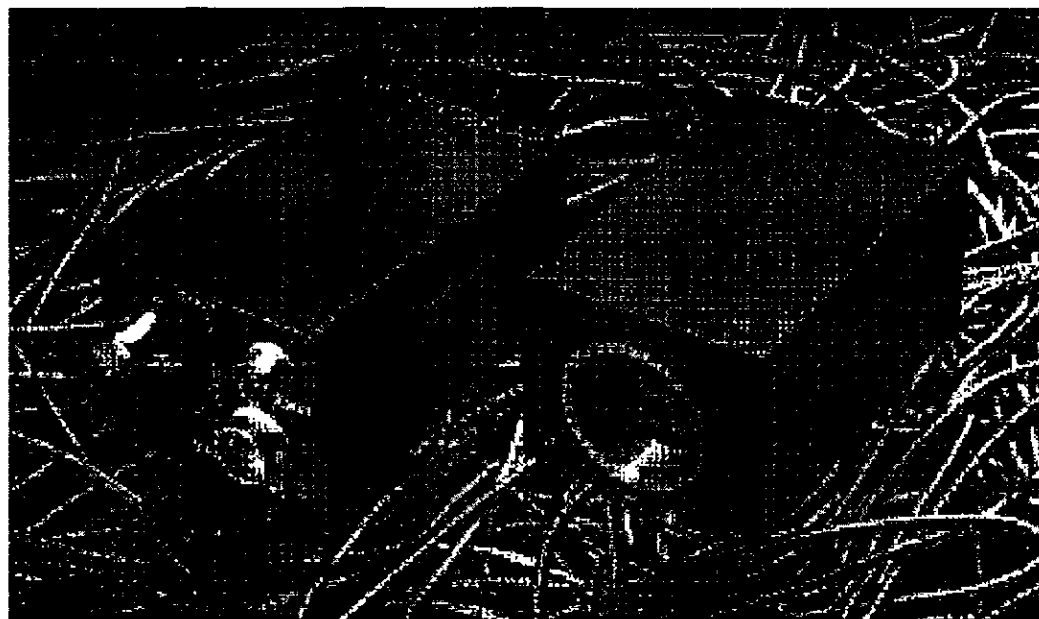


Ilustración 6.5  
Foto de Cámara

Las principales especificaciones de la misma son:

- Formato 2/3" CCD con tecnología de búsqueda progresiva
- Píxeles efectivos: 13 millones (1300 horizontal x 1030 vertical)
- Píxel cuadrado de 6.7  $\mu\text{m}$  x 6.7  $\mu\text{m}$
- Relación de aspecto 5:4
- Alta sensibilidad: iluminación de objeto mínima de 1 lux
- Velocidad de captura por imagen 1/12 seg. Alta velocidad 1/6 seg. Baja velocidad
- Modo de funcionamiento asíncrono
- Salida de video estándar 1.0 vpp, 75 ohm
- Señal WEN pulso de salida al finalizar captura
- Montaje de lentes tipo C

Esta cámara fue elegida en base a su capacidad de sincronizarse con señales externas lo cual se realiza a través de un conector; su esquema de conexiones se presenta en la ilustración 6.6.

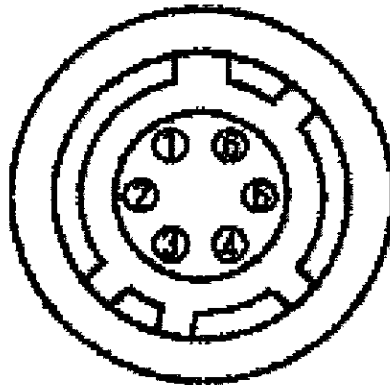


Ilustración 6.6  
Esquema de conexiones

Tabla 6.1.  
Terminal y Función

Terminal	Función
1	RDX
2	TDX
3	GND
4	Reset
5	Trigger
6	WEN

Entre estas terminales, las que se utilizan para realizar la sincronización con el proceso son las 4, 5 y 6.

La terminal 4 (Reset) tiene la función de inhibir la captura de imagen en la cámara. La terminal 5 (Trigger) realiza la sincronización del instante en que inicia la captura de la imagen con algún evento externo. En este caso, se realiza cuando la tapa se encuentra en la posición adecuada para tomar la imagen, la terminal 6 (WEN) es un pulso de sincronización el cual se activa cuando la imagen ya ha sido capturada, esta señal se conecta a la tarjeta de captura de imagen para determinar el instante en que empieza el proceso de análisis.

### **C. SENSOR DE PROXIMIDAD**

El sensor de proximidad elegido es marca ECFA serie HT-D12NA tipo inductivo con un alcance de 4 mm. Este funciona con base al cambio de la inductancia de una bobina cuando se le aproxima un objeto metálico como el hierro (ferromagnético). Electrónicamente se miden estos cambios y el sensor

proporciona una salida de voltaje que es capaz de activar diferentes dispositivos eléctricos o electrónicos.



Ilustración 6.7.  
Foto Sensor de Proximidad

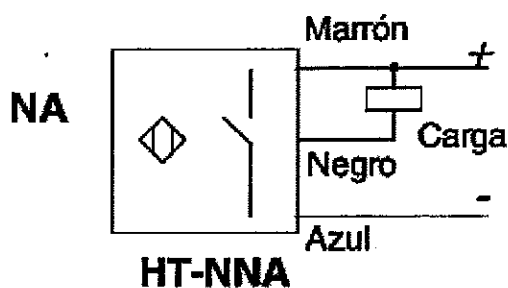


Ilustración 6.8  
Diagrama de conexiones

## D. ELECTROVALVULA

La válvula elegida es una electroválvula danfoss, modelo EVSIS 3-25. El funcionamiento es muy sencillo, ya que esta simplemente permite el paso de aire comprimido cuando se envía voltaje a la bobina de apertura, y cuando esta señal desaparece, existe un mecanismo que estrangula el paso del aire.

## **E. DISEÑO ELECTRÓNICO**

El diseño electrónico se expone en el siguiente diagrama, el cual muestra las relaciones que existen entre los diferentes componentes. Este permite la sincronización entre los distintos dispositivos del sistema y el trabajo coordinado de los mismos.

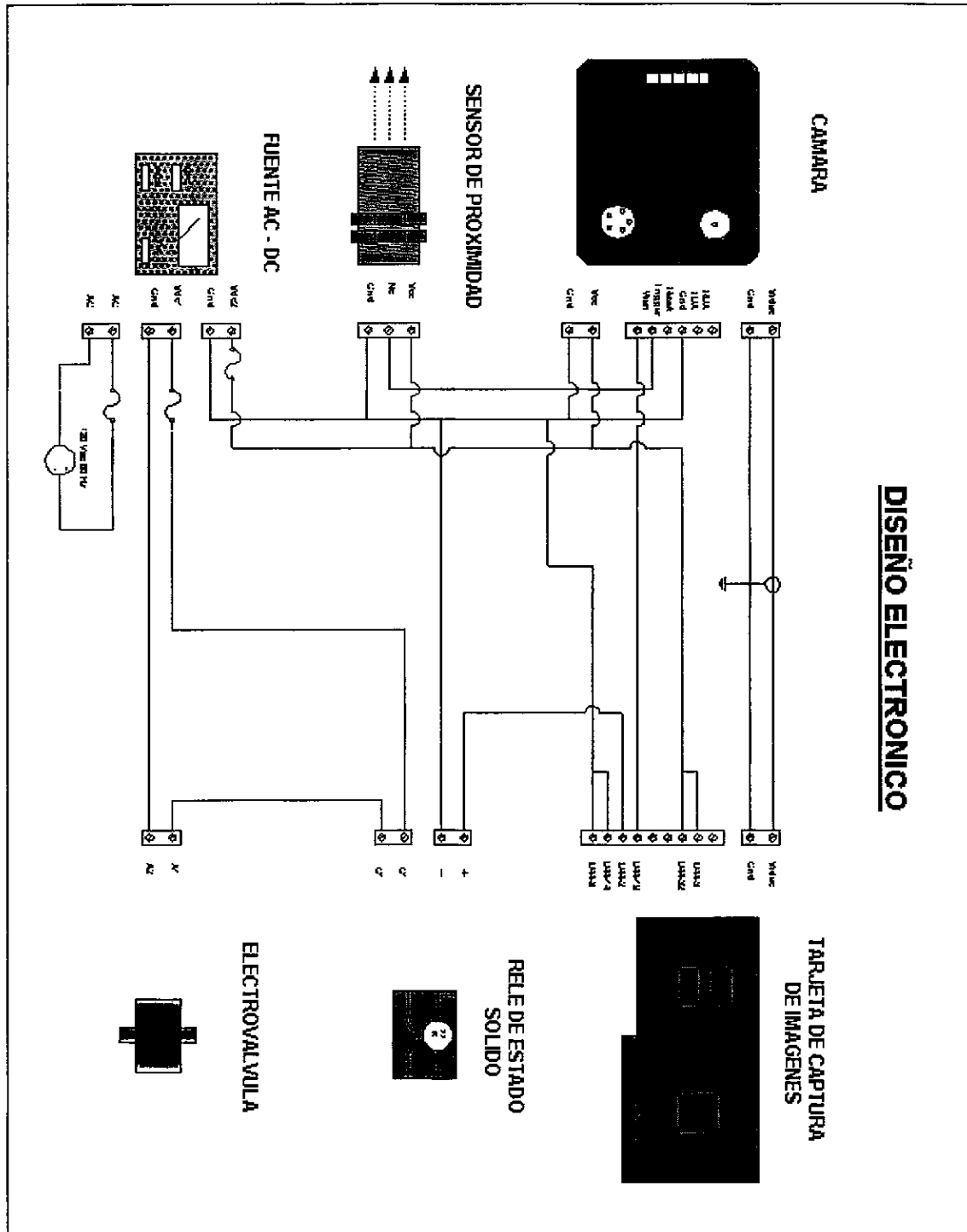
Finalmente se puede apreciar lo sencillo del diseño, ya que el análisis y selección se realiza por medio del programa, el cual se convierte en una de las partes más importantes del sistema.

La tarjeta de captura de imágenes y la cámara son las partes medulares del sistema a nivel de componentes, ya que estas permiten el manejo de señales externas.

Debido a la gran cantidad de información obtenida, el sistema deberá responder en forma eficiente a las diferentes condiciones generadas. Esto implica alcanzar ciertas velocidades de transferencia y procesamiento de datos, así como una determinada capacidad de almacenamiento de datos.

La velocidad de funcionamiento del sistema queda determinada principalmente por la velocidad a la que trabaje el procesador central y del tipo de procesador que se trate. Actualmente, esto no resulta ser un problema, debido a que en el mercado aparecen constantemente procesadores más veloces y mejores que sus versiones anteriores, a precios cada vez menores.

Ilustración 6.9  
Diseño Electrónico



## **VII. EVALUACIÓN TÉCNICO ECONOMICA PARA EL SISTEMA**

Este capítulo pretende presentar una evaluación en la cual se tomen en cuenta tanto consideraciones técnicas como económicas sobre la implementación de un sistema como el propuesto en esta tesis, a fin de tener un criterio de evaluación y determinar los casos donde es viable su aplicación.

Cabe señalar que una completa y detallada evaluación entre diversas opciones de inversión para un determinado proyecto, debe ser realizada para cada caso en particular, de acuerdo con la totalidad de características del proyecto.

### **A. ANÁLISIS ECONOMICO DE COSTOS AL INSTALAR EL SISTEMA**

Para realizar el análisis económico de costos referente a la instalación y puesta en marcha del sistema, se utilizó información de las empresas proveedoras o distribuidoras para marzo del 2001, se tienen dos tipos de costos: de materiales y de desarrollo e instalación.

Los costos de materiales para la instalación y puesta en funcionamiento de proyecto, principalmente en lo que se refiere a equipo de cómputo, tienden a variar mucho dependiendo de marcas, país donde se compra, establecimiento donde se adquiere el equipo, etc. Los resultados económicos pueden llegar a variar de los aquí planteados. La tabla 7.1. muestra en detalle los costos aproximados.

Tabla 7.1.  
Costos de Materiales

DESCRIPCIÓN	COSTO PROMEDIO (Q)
Computadora de análisis con las siguientes características:	Q19,450.00
Procesador Pentium IV de 1.4 Ghz	
128 Mb de memoria Ram	
Fuente de poder de 250 Watts	
Disco duro de 40 Gb	
Monitor a colores de 14"	
Unidad de fuente de poder (UPS) 500 Va	
Unidad de Cd-Rom x52	
Cámara de video B&W leutron MV 1000	Q7,250.00
Tarjeta de Captura de imágenes picport leutron	Q10,560.00
Sensor de proximidad	Q880.00
Electroválvula	Q484.00
Fuente de voltaje	Q3,520.00
Lámpara de iluminación con difusor	Q528.00
Rele de estado sólido	Q792.00
Cables y accesorios	Q2,000.00
Piezas para montaje y sujeción	Q2,000.00
<b>Costo total aproximado</b>	<b>Q47,464.00</b>

Los costos de desarrollo e instalación, incluyen básicamente el desarrollo de programas de control y análisis, instalación y puesta en marcha del sistema. Estos tienden a variar dependiendo de muchos factores y deberán ser analizados detalladamente para cada caso en particular.

Basado en la experiencia personal y consideraciones propias, así como tomando en cuenta que el desarrollo de programas e interfases debe realizarse por un ingeniero en electrónica (tomando en cuenta los conocimientos especializados que deben aplicarse), que está disponible la computadora descrita con anterioridad y que en ella se realizará el desarrollo y pruebas del sistema, el costo de desarrollo de programas e interfase está compuesto por las horas-ingeniero (alrededor de 200), como se muestra en la tabla 7.2.

Tabla 7.2  
Costos de Desarrollo e Instalación

DESCRIPCION	COSTO (Q)
Desarrollo de programas e interfases	Q20,000.00
Costo de mano de obra para instalación y puesta en marcha	Q2,000.00
Otros (*)	Q1,000.00
<b>Total</b>	<b>Q23,000.00</b>

(\*) *Por ejemplo: compra de materiales que puedan dañarse, algún trabajo de albañilería que sea necesario durante la instalación del sistema, gastos de pintura, gastos imprevistos, etc.*

Es importante mencionar que el costo total de desarrollo de programas e interfase puede ser distribuido entre el número total de sistemas que se construirán, reduciendo así el costo total del sistema.

La tabla 7.3. resume los costos estimados.

Tabla 7.3.  
Costos Totales

Costo de materiales	Q47,464.00
Costo de desarrollo y mano de obra	Q23,000.00
<b>Total</b>	<b>Q70,464.00</b>

En la discusión anterior, se calculó el monto total para la instalación y puesta en funcionamiento del sistema. Este costo corresponde económicamente a la inversión inicial. El criterio más acertado sobre la decisión de instalar o no el sistema es el monto de la inversión vrs. el monto de las pérdidas por mala calidad atribuible a la tapa, entre los que se puede mencionar rechazo de lotes producidos por mala calidad, tiempo de producción perdido debido a botellas quebradas, horas hombre invertidas en revisar lotes de producción, etc.

Este sistema tiene un tiempo de vida útil, durante el cual se espera que funcione de una manera adecuada. Luego, debido a muchos factores como el avance tecnológico, desarrollo de nuevos sistemas, etc. Puede ser necesario reemplazarlo. Debido a todo esto es razonable estimar este tiempo de vida útil en diez años.

El criterio de evaluación aquí utilizado<sup>12</sup> es la Tasa Interna de Retorno (TIR), la cual se calcula basándose en la inversión inicial los costos de mantenimiento del sistema y una tasa de referencia.

A manera de ejemplificar el uso de esta herramienta se efectuó la evaluación para los siguientes parámetros:

- Costos de mantenimiento del sistema: estos se consideran como costos por recambio de piezas, ajustes, limpieza, cambios al programa, etc, basado en la experiencia personal se pueden considerar en alrededor de 10 % anual de la inversión inicial.
- Tasa de referencia: para nuestro análisis consideraremos este valor en 15% (comúnmente utilizado en este tipo de análisis).
- Gastos debidos a la mala calidad: para nuestro análisis se consideran en Q150,000.00 anuales y se integran del salarios pagados a tres personas

de control de calidad, así como de tres lotes rechazados por mala calidad.

Con base a estos datos, tenemos que:

$$TIR = 208\%$$

Este resulta ser el factor de comparación económico entre diferentes opciones. Por ejemplo si tuviéramos otra opción de inversión con una TIR mayor a 208 % sería una mejor opción que la presentada aquí. También en este caso el valor de la inversión es de Q 70,464.00 y los costos debido a la mala calidad Q 150,000.00 por lo que la instalación del sistema esta justificada.

## VIII. CONCLUSIONES

- 1- La utilización de la técnica de análisis histogramas es una técnica novedosa y actualmente ya existe suficiente tecnología para llevarla a una realización practica.
- 2- El desarrollo y la implementación del sistema propuesto es práctico y realizable.
- 3- Basado en la investigación realizada, se puede concluir que el desarrollo y puesta en funcionamiento de un sistema como el aquí expuesto, brindará una mejor supervisión de defectos que los métodos actuales utilizados basados en la supervisión humana.
- 4- No resulta justificable, en todos los casos, la implementación del sistema, debido a factores como el costo de los materiales y desarrollo del sistema, tiempo de puesta en funcionamiento y costos atribuibles a la mala calidad. Unicamente se justifica su implementación en los casos donde los costos atribuibles a mala calidad superan por mucho el costo total de instalación y funcionamiento del sistema.

- 5- Los objetivos generales propuestos fueron alcanzados ya que el trabajo desarrollado es una propuesta concreta, se aplicó la práctica de ingeniería para este caso específico y se generó un documento con suficientes lineamientos para desarrollar el sistema propuesto.
  
- 6- Los objetivos específicos propuestos fueron alcanzados ya que en capítulo IV se presentó de forma clara y detallada el principio de funcionamiento y en las ilustraciones 5.2 y 6.9 se presenta el diseño del sistema propuesto, se presentaron los histogramas de las imágenes 4.1, 4.2, 4.3, 4.4, 4.5, 4.6, 4.7, 4.8 y 4.9 que corresponden a imágenes reales en situaciones simuladas y también se incluyó en el trabajo un análisis técnico-económico sobre la viabilidad de la propuesta.

## **IX. RECOMENDACIONES**

- 1- Es indispensable una evaluación técnico-económica en cada caso en que se pretenda implementar el sistema diseñado, debido a que esta determina si es económicamente rentable la inversión que debe realizarse en el sistema.
  
- 2- Un sistema, como el tratado en este trabajo, posee un gran potencial de desarrollo, y se logra a través de la integración de nuevas características o mejoras en los procedimientos utilizados; razón por la cual, es recomendable una explotación de las posibilidades que brinda el sistema.
  
- 3- Es recomendable que se fomente el acercamiento entre las universidades y las industrias en materia tecnológica ya que esto repercute en el aprovechamiento de investigaciones como la presente.



## X. GLOSARIO

### A

---

---

**Análisis matemático - estadístico**

Proceso de aplicar reglas matemáticas y estadísticas a un grupo de datos, con el fin de establecer o medir una determinada característica.

**Arquitectura Blackboard**

Tipo de arquitectura donde todos los procesos comparten una misma porción de memoria.

### B

---

---

**Barnizado**

Proceso de aplicación de laca o barniz sobre láminas metálicas para proteger su impresión, esto se realiza previo a su troquelado.

### C

---

---

**Cilindro neumático**

Dispositivo neumático que provee movimiento lineal en base a la acción de un cilindro y una recámara.

CO<sub>2</sub>

Bióxido de carbono, es un compuesto gaseoso.

Conteo

Proceso realizado por un aparato electrónico.

Coronadora

Máquina que realiza el proceso de colocación de la tapa en la botella

Código de control

Es un número que indica para nuestro caso que se está ejecutando algún proceso.

## ***E***

---

---

Empaquetado

Proceso industrial de empaçar unidades producidas.

Emular

Simulación de algún proceso o característica a través de un proceso computacional.

Expertaje

Procedimiento de evaluación o análisis realizado por peritos en la materia.

# F

---

---

## Ferromagnético

Material como el hierro que es capaz de conducir con facilidad el campo magnético.

## Formato bmp

Forma de almacenar digitalmente archivos de imágenes, este no utiliza ningún tipo de compresión.

# H

---

---

## Híbrida

Mezcla de dos características o que está formada por dos características distintas

## Histograma

Es una gráfica de incidencias de un grupo de elementos de una población

/

---

---

#### Imagen binaria

Es una imagen donde sus píxeles sólo pueden tener dos valores (0 y 1)

#### Imagen digital

Es una imagen que está compuesta por píxeles, los cuales pueden ser de distintos tipos como binario, escala de grises, 16 colores, etc.

#### Impresión

Proceso industrial de imprimir logotipos sobre láminas de metal, previo a su troquelado.

#### Inyección de sello

Proceso industrial de formar un sello de PVC sobre la cara posterior de una tapa, este tiene por objetivo lograr que la botella quede herméticamente sellada.

#### Interconexión

Conexiones entre dos o más elementos.

#### Interferencias

Se produce cuando se mezclan dos señales, una de las cuales es indeseable, puede producir una pérdida o distorsión de información.

# L

---

---

Logotipo  
Diseño que se imprime en las tapas

# LI

---

---

Llenadora  
Máquina industrial que realiza el proceso de limpieza y el llenado de botellas de líquido

# M

---

---

Matriz bidimensional  
Grupos de datos ordenados en filas y columnas

# O

---

---

Optoacoplador  
Es un dispositivo electrónico que permite aislar dos señales eléctricas por medio de un haz de luz.

# P

---

---

## Parámetros estadísticos

Son características que pueden ser identificadas en una población o grupo de datos.

## Píxel

Unidad básica que compone las imágenes digitales, esta es una fracción de la imagen que conserva todas las características de color y brillo.

# S

---

---

## Sensor

Dispositivo electrónico que detecta características físicas como masa, volumen, velocidad, etc.

## Sincronización

Es una coordinación de eventos o una secuencia de eventos.

# T

---

---

## Tanque de almacenamiento

Contenedor que almacena las tapas previo a su utilización por la máquina coronadora

**Tapa**

Pieza metálica de determinadas características que es producida mediante un proceso de troquelado, y tiene la función de sellar botellas.

**Troquelado**

Proceso industrial que utiliza un molde y presión hidráulica para producir piezas en serie.

# V

---

---

**Válvulas de llenado**

Válvula que permite el paso del líquido a la botella

**Válvula neumática**

Válvula que permite el paso de algún gas como aire comprimido, es activada por medio de una señal eléctrica.



## **XI. BIBLIOGRAFÍA**

- 1 Jain, Anil K. Fundamentals of Digital Image Processing. 1989. Prentice Hall.
- 2 National Instruments. PC- Based Vision Solutions. 1998. Part Number 350323C. pp 28-33.
- 3 Spiegel, Murray R. Theory and problems of Statistics. 1961. Schaum Publishing Co. pp45, 47, 91.
- 4 National Instruments. PC-Based Vision Solutions. 1998. Part Number 350323C. pp 34, 35, 36.
- 5 Spiegel, Murray R. Theory and problems of Statistics. 1961. Schaum Publishing Co. pp 243, 244, 245.
- 6 Shaw y Garlan, Software Architecture: Perspectives on an Emerging Discipline. Prentice Hall. 1996. pp 21, 27.
- 7 National Instruments. LabVIEW. 1998. Part Number 350003C.
- 8 National Instruments. IMAQ Vision for G. 1997. Part Number 321379B.
- 9 National Instruments. LabVIEW EVALUATION PACKAGE. 1998 350100D. Capitulo I.
- 10 National Instruments. LabVIEW EVALUATION PACKAGE. 1998 350100D. Capítulos II y III.
- 11 Leutron. Getting Started. Revision 1.1. 28/04/2000.
- 12 Leutron. LV 1000 User's Manual. Revision 1.1. 24/02/1999.
- 13 Gómez Ceja, Guillermo. Planeación y Organización de Empresas. 1994. Mc Graw Hill.

