

# Sistema de control de calidad de engranajes mediante tratamiento digital de imágenes.

*MSc. Ing. Freedy Sotelo Valer*

*Universidad Nacional de Ingeniería (UNI)*

Facultad de Ingeniería Mecánica - Carrera de Ingeniería Mecatrónica, Lima - Perú

[fresov@uni.edu.pe](mailto:fresov@uni.edu.pe)

## RESUMEN

El presente proyecto consiste en la simulación e implementación de un sistema de control de calidad de engranajes, mediante visión artificial y procesamiento digital de imágenes (PDI), utilizando computadora y plataforma de programación visual.

El proyecto ha sido implementado en tres etapas:

1. Desarrollo de algoritmos para procesos específicos, necesarios en el sistema de control de calidad.
2. Los algoritmos desarrollados en la etapa anterior, fueron verificados utilizando el Matlab como soporte de programación.
3. El software fue implementado en plataforma de programación VC<sup>++</sup>.

Finalmente, el sistema de control de calidad fue implementado.

**Palabras clave:** Visión artificial, procesamiento digital de imágenes, algoritmo, Matlab, VC<sup>++</sup>.

## ABSTRACT

This project involves the simulation and implementation of a quality control system of gears, using artificial vision and digital images processing (DIP), using computer and visual programming platform.

The project was implemented in three stages:

1. Algorithms development for specific processes required for quality control system.
2. The algorithms developed in the previous stage, were verified using the Matlab as programming support.
3. The software was implemented in programming platform VC<sup>++</sup>.

Finally, the quality control system was implemented.

**Keywords:** Artificial vision, image digital processing, algorithms, Matlab, VC<sup>++</sup>.

## 1. INTRODUCCIÓN

Un problema presente en diversos campos de la actividad humana y en la industria es la captación y evaluación de imágenes mediante identificación de ciertas características particulares.

Algunas tareas que pueden realizarse mediante procesamiento digital de imágenes son:

- Reconocimiento de formas y patrones
- Detección de fallas
- Control de calidad
- Sistemas de seguridad, etc.

Existe una diversidad de sistemas comerciales que aplican técnicas de procesamiento digital de imágenes, pero estos se caracterizan por ser de aplicación específica y tener costos elevados.

Por dicha razón se hace necesario desarrollar e implementar sistemas que resuelvan problemas propios de nuestro entorno a costo razonable.

Aquí se desarrolla e implementa una estación de control de calidad de engranajes, mediante visión artificial, para la captación se utiliza una cámara de video digital (WebCam) y se procesa en tiempo real.

## 2. OBJETIVOS

- Desarrollar algoritmos específicos, para control de calidad en engranajes.
- Implementar un sistema de control de calidad para engranajes mediante procesamiento digital de imágenes.
- Integrar los conocimientos de Programación, Electrónica y Mecánica para desarrollar un Sistema Mecatrónico.
- Contribuir a la difusión en nuestro medio sobre el uso de las técnicas de PDI.

## 3. DESARROLLO DEL TRABAJO

### 3.1 DESARROLLO DE ALGORITMOS

Para poder implementar el sistema, se tuvieron que desarrollar algunos algoritmos y verificar su validez utilizando el Matlab, inicialmente se partió desde el dibujo de un engranaje, para finalmente hacerlo con imágenes reales captadas con diferentes dispositivos. A continuación se muestran los algoritmos y los resultados obtenidos.

### 3.2 ALGORITMO INICIAL Y RESULTADOS

1. Carga imagen a color y obtiene matriz A en 3D.

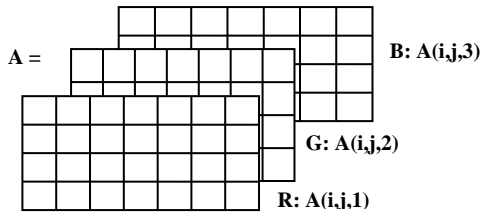


Figura 1: Representación de imagen a color.

Donde : R = Componente Red de imagen.  
G = Componente Green de imagen.  
B = Componente Blue de imagen.

$$A = \{R, G, B\} = \{A(i,j,1), A(i,j,2), A(i,j,3)\}$$

2. Imagen en niveles de gris, separando la componente Green de la matriz A.

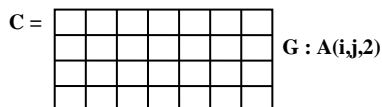


Figura 2: Representación de imagen monocromática.

$$C(i,j) = A(i,j,2)$$

3. Histograma de la imagen en niveles de gris.

$$H(k) = 0 ; \text{ Para } k = [1,256]$$

$$H(C(i,j)+1) = H(C(i,j)) + 1$$

4. Media aritmética ( $\mu$ ):

$$\mu = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N x_i$$

5. Varianza ( $\sigma^2$ ):

$$\sigma^2 = \frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2$$

6. Desviación estándar ( $\sigma$ ):

$$\sigma = \sqrt{\frac{1}{N} \sum_{i=1}^N (x_i - \mu)^2}$$

7. Mediana ( $M_d$ ):

$$M_d = \begin{cases} x_{(n+1)/2} & ; \text{ si } n \text{ es impar} \\ \frac{1}{2}(x_{n/2} + x_{(n+2)/2}) & ; \text{ si } n \text{ es par} \end{cases}$$

8. Binariza la imagen en grises. El valor del umbral, se obtiene a partir del histograma.

$$CC(i,j) = \begin{cases} 0 & ; C(i,j) \leq 50 \\ 255 & ; C(i,j) > 50 \end{cases}$$

9. Redefine la matriz C, reduciendo su tamaño, separando área de interés. Mediante barrido horizontal y barrido vertical.

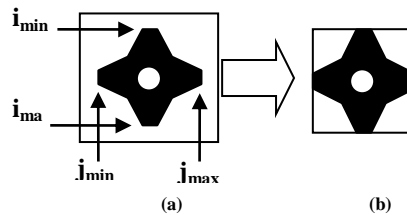


Figura 3: Redefiniendo la matriz de análisis.

10. Área de la imagen en número de píxeles. Constante de proporcionalidad para áreas,

$$Kp = \pi \times R^2$$

$$Area = Kp \times \frac{Na}{Np}$$

donde:

Kp= Constante de proporcionalidad para área del agujero.

Na= Número de puntos del área a calcular.

Np= Número de puntos del agujero.

En este caso,  $R = 0.55$        $\pi = 3.1416$   
 Entonces       $Kp = 0.950 \text{ cm}^2$

11. Calcular el centro de masas.

$$Xm = \frac{1}{NP} \sum_{j=1}^Q \sum_{i=1}^P i \quad ; \forall C(i, j) = 1$$

$$Ym = \frac{1}{NP} \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q j \quad ; \forall C(i, j) = 1$$

donde,  $(Xm, Ym)$  es el centro de masa del engranaje.

NP=0 luego:

$$NP = \sum_{i=1}^P \sum_{j=1}^Q C(i, j) \quad ; \forall C(i, j) = 1$$

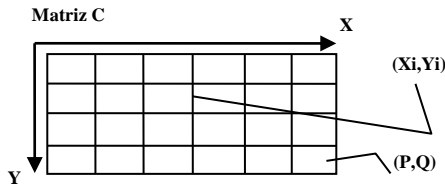


Figura 4: Referencia de coordenadas (sub-índices).

12. Contornos de la imagen.

Haciendo un barrido horizontal captura los puntos donde  $C(i,j)=0$  y  $C(i,j+1)=1$ .

$$D(i, j) = \begin{cases} 1 & ; \text{ para } A(i, j) + A(i+1, j) = 1 \\ 0 & ; \text{ para } A(i, j) + A(i+1, j) \neq 1 \end{cases}$$

Haciendo un barrido vertical captura los puntos donde  $C(i,j)=0$  y  $C(i+1,j)=1$ .

$$D(i, j) = \begin{cases} 1 & ; \text{ para } A(i, j) + A(i, j+1) = 1 \\ 0 & ; \text{ para } A(i, j) + A(i, j+1) \neq 1 \end{cases}$$

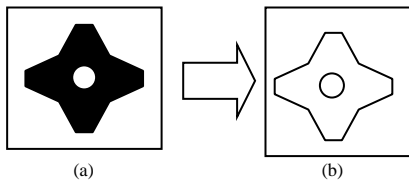


Figura 5: Obtención de la matriz de contornos.

13. En la matriz de contornos se detecta perímetro:

Almacena el perímetro:

$$E(i, j) = 0 \quad ; \text{ Para } i = [1, P], j = [1, Q].$$

El barrido horizontal detecta un primer punto de referencia  $(Xr, Yr)$ . Luego se iguala a una coordenada de prueba,  $(Xp, Yp) = (Xr, Yr)$  y se almacena en una matriz.

	x	x	X
	x	p	X
	x	x	X

Cada píxel "x" está en la vecindad "p".

Busca un próximo punto en la vecindad del punto de prueba  $(Xp, Yp)$ , igual a  $(Xp+1, Yp+1)$ , luego iguala a la coordenada de prueba,  $(Xp, Yp) = (Xp+1, Yp+1)$  y se almacena en una matriz.

$$E(k, 1) = i \quad ; \text{ para } C(i, j) = 1$$

$$E(k, 2) = j \quad ; \text{ para } C(i, j) = 1$$

Donde:  $k = [1, T]$

$T = \#$  de puntos del perímetro

T almacena los puntos que están en el contorno exterior.

14. Eliminando el contorno de la matriz, queda el interior de la pieza.

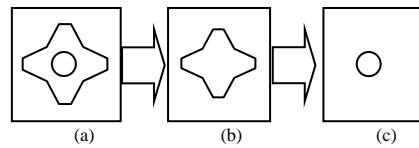


Figura 6: Perímetro y orificio central.  
 (a) M. inicial. (b) M. perímetro. (c) M. final.

15. Firma de la pieza:

Halla las distancias euclidianas del centro de masa  $(Xm, Ym)$  a los puntos del borde de la pieza.

$$Vr(i) = \sqrt{(VE(i, 1) - Xm)^2 + (VE(i, 2) - Ym)^2}$$

16. Ubica como referencia la menor distancia entre el borde y el centro de masa.

17. Agrega ruido aleatorio al perímetro del engranaje:

$$vrde(i) = vrd(i) + rand \quad ; \text{ tal que } 0 < rand < 1$$

Halla error del engranaje vrde respecto de vrd:

$$err(i) = vrde(i) - vrd(i) \quad ; \text{ para } i = [1, T]$$

18. Emitir reporte final del proceso.

### 3.3 RESULTADOS GRÁFICOS DE ALGORITMOS

En la figura 7, se observan los diferentes resultados gráficos obtenidos durante el proceso.

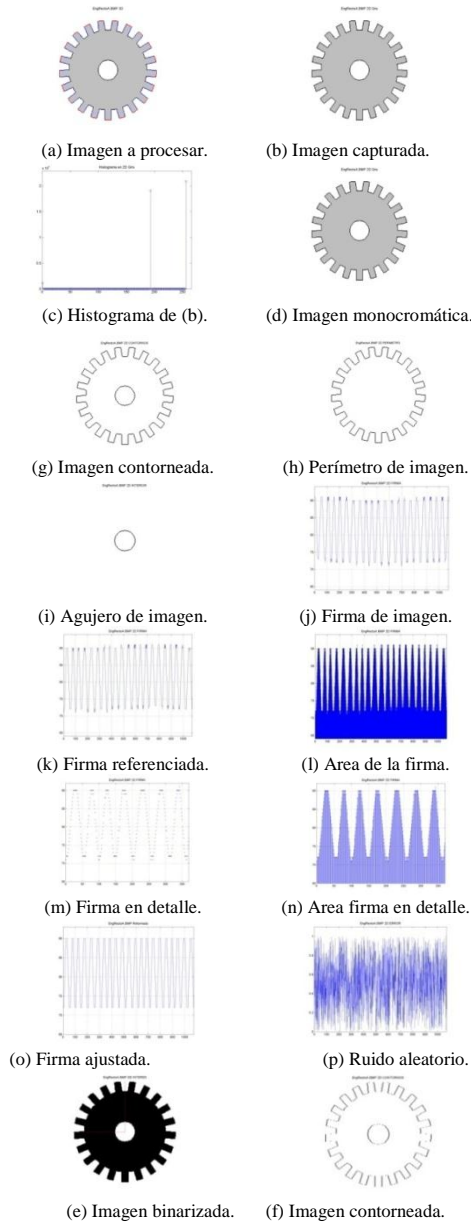


Figura 7: Resultados gráficos obtenidos al ejecutar los algoritmos.

### 3.4 CONTINUACIÓN DE ALGORITMO

La numeración del algoritmo aquí inicia en 19 porque dentro del proceso global a la etapa anterior.

19. Del vector de distancias del centro de masa al borde, se elimina los lados de los dientes y se almacena solo bordes interior y exterior del engranaje.

$$vc(k) = \begin{cases} 72 \Leftrightarrow 71 \leq vrd(i) \leq 73 \\ 90 \Leftrightarrow 89 \leq vrd(i) \leq 91 \end{cases}$$

donde:  $k = [1, n]$

$n =$  Numero de puntos de bordes de dientes.

Vector de bordes =  $vc(i)$

20. Ubica inicio del borde interior de un diente y reordena el vector  $vc$ .

$$ii = i + 1 \quad / \quad (vc(i) = 90) \cap (vc(i+1) = 72)$$

Vector de bordes reordenado =  $vcc(i)$

21. Determina número de dientes, contando el número de transiciones de borde interior a borde exterior.

$$dientes = 0$$

luego:

$$dientes = dientes + 1 \Leftrightarrow (vcc(i) = 72) \cap (vcc(i+1) = 90)$$

22. Cambiar interior de engranaje a gris = 150, diferente al de la pieza(0) y al exterior(255).

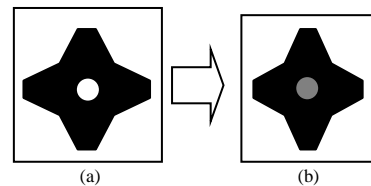


Figura 8: Señalización del agujero central del engranaje. (a) Matriz C inicial. (b) Matriz C final.

23. Hallar las áreas de la figura, de acuerdo al nivel de gris de las mismas.

Constante de proporcionalidad para áreas,

$$Kp = \pi \times R^2$$

$$Area = Kp \times \frac{Na}{Np}$$

donde:

$Kp =$  Cte. de proporcionalidad (área agujero).

$Na =$  Número de puntos del área a calcular.

$Np =$  Número de puntos del agujero.

En este caso,  $R=0,55$ ,  $\pi=3,1416$ ; entonces

$$Kp = 0,950 \text{ cm}^2$$

Area engranaje =  $Ap$ , número de puntos.

Area exterior =  $Al$ , número de puntos.

Area interior =  $Aa$ , número de puntos.

24. Emitir reporte final del proceso.



(a) Imagen binarizada (b) Imagen señalizada

Figura 9: Resultados gráficos obtenidos de ejecutar los algoritmos.

#### 4. IMPLEMENTACIÓN DEL SISTEMA EN PLATAFORMA DE PROGRAMACIÓN VISUAL

##### 4.1 DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

La implementación del sistema de control de calidad se realizó en plataforma de programación Visual C++.

En la figura 10 se muestra el diagrama de flujo del sistema de control de calidad.

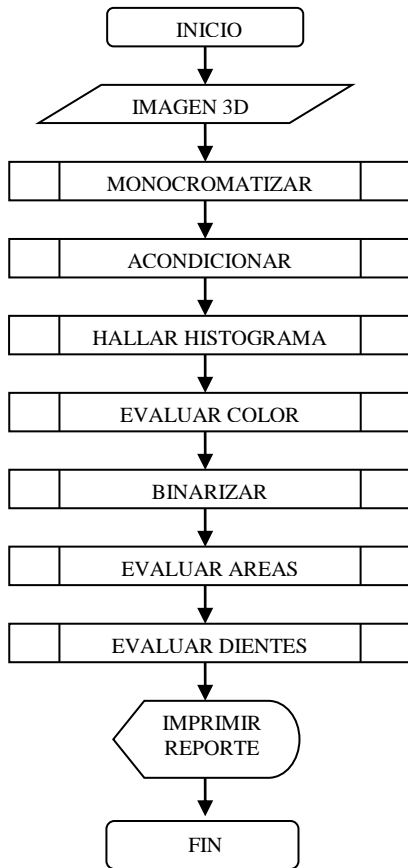


Figura 10: Diagrama de flujo del sistema de control de calidad en simulación.

En la figura 11 se muestra el diagrama de bloques del sistema, allí se puede apreciar los diferentes módulos con los que cuenta el sistema.

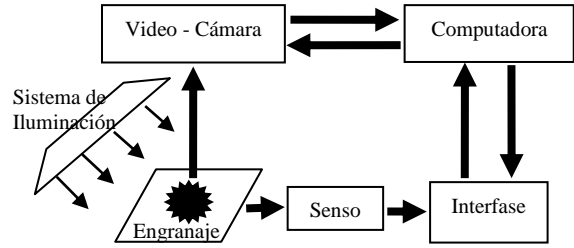


Figura11: Diagrama de bloques del sistema.

La figura 11 muestra los elementos del sistema, donde cada uno de ellos realiza funciones específicas dentro del sistema.

**Video-cámara.-** Es el elemento encargado del sensado ó captura de la imagen que posteriormente será procesada. La calidad de la cámara será determinante para la obtención de los resultados finales.

**Sistema de iluminación.-** Encargado de proporcionar la cantidad y calidad de luz adecuada para obtener una imagen de calidad.

**Computadora (Hardware).-** Es el cerebro del procesado y será el elemento determinante en lo que respecta al tiempo de respuesta del sistema, junto con la calidad de los algoritmos y técnicas de procesamiento utilizadas.

**Programas (Software).-** Son el alma del sistema. Es la parte lógica, la cual definirá la forma ó estrategia de proceso de la imagen.

**Sensor.-** Es el encargado de detectar la presencia del engranaje para comunicar a la computadora, vía interfase su presencia y esta a su vez enviar la orden de captura de imagen.

**Interfase.-** Es el circuito electrónico encargado de procesar la señal detectada por el sensor y comunicarse con la computadora. Este circuito se muestra en la figura 12.

**Engranaje.-** Es el objeto de estudio ó análisis dentro del sistema.

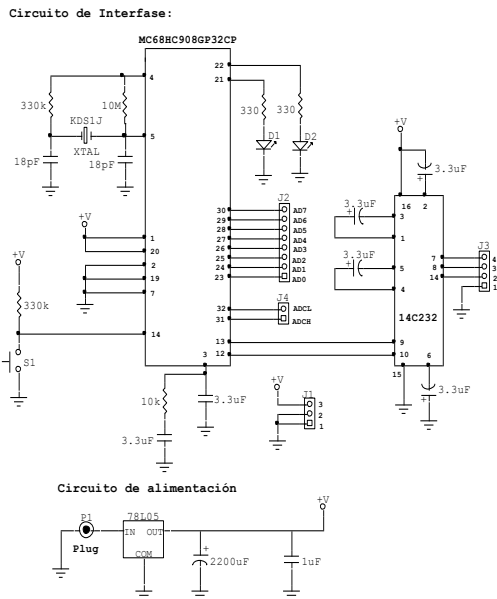


Figura 12: Circuito de interfase entre cámara de adquisición y la computadora.



Figura 14: fotografías del sistema y sus componentes.

El circuito de interfase detecta la presencia del engranaje. El microcontrolador MC68HC908GP32CP está en comunicación permanente con la computadora y en el instante en que se detecta el engranaje, envía un pulso para que el programa ordene capturar imagen.

La figura 13 muestra algunas imágenes obtenidas por diferentes cámaras.

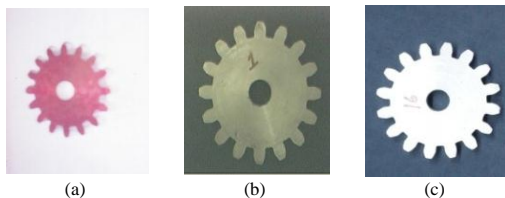
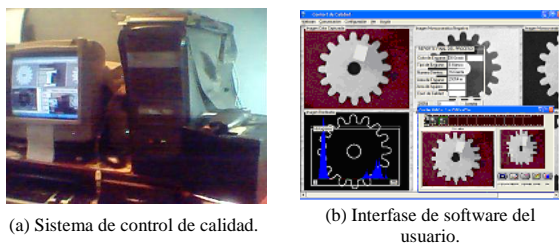


Figura 13: Imágenes obtenidas bajo diferentes condiciones.  
 (a) Con cámara Kodak F350.  
 (b) Con webcam Creative video Blaster Plus.  
 (c) Con cámara digital Creative PC CAM 900.

En la figura 14 se muestran las fotografías de los componentes del sistema de control de calidad, así como de cada uno de los elementos que la conforman.

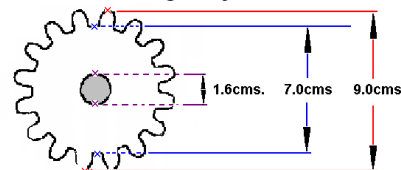


(a) Sistema de control de calidad.

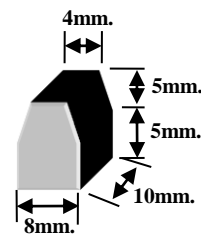
(b) Interfase de software del usuario.

#### 4.2 PARÁMETROS DEL ENGRANAJE PATRÓN

En la figura 15 se muestran los diámetros del engranaje patrón, los mismos que serán utilizados para calcular las áreas del engranaje.



(a) diámetros del engranaje patrón.



(b) Dimensiones de diente.

Figura 15: Dimensiones del engranaje patrón.

Hallando el área del engranaje patrón a partir de sus dimensiones:

$$Ad = Base \times h - 2 \times A\Delta = 0.8 \times 1 - 2 \left( \frac{0.5 \times 0.2}{2} \right) = 0.7 \text{cms.}^2$$

$$Ac = \pi(Rm - Rc)^2 = \pi(3.5 - 0.8)^2 = 22.90 \text{cms.}^2$$

$$Aa = \pi \times Rc^2 = 3.14159 \times 0.8^2 = 2.01 \text{cms.}^2$$

$$Ae = Ac + (Nd \times Ad) = 22.09 + 16 \times 0.7 = 33.29 \text{cms.}^2$$

Donde: Ae = área del engranaje patrón

$A_a$  = área del agujero  
 $A_d$  = área de cada diente  
 $A_c$  = área del cuerpo  
 $N_d$  = Numero de dientes del engranaje

$$k_p = \frac{33.29 \text{ cms.}^2}{30000 \text{ pixeles}} = 1.109666 \times 10^{-3} \left[ \frac{\text{cms.}^2}{\text{pixeles}} \right]$$

para calcular el área en cms.<sup>2</sup> a partir de pixeles:

$$A_{ec} = k_p \times A_{ep} \quad [\text{cms.}^2]$$

donde:  $A_{ec}$  = área de engranaje en cms.<sup>2</sup>  
 $A_{ep}$  = área de engranaje en píxeles

La figura 17.a muestra la referencia de coordenadas en memoria para la imagen capturada.

### 4.3 COORDENADAS REFERENCIALES DEL ENGRANAJE

En la figura 16 se muestran las coordenadas relativas a puntos singulares del engranaje patrón. Dichas coordenadas permiten determinar la relación entre píxeles y unidades de longitud y área.

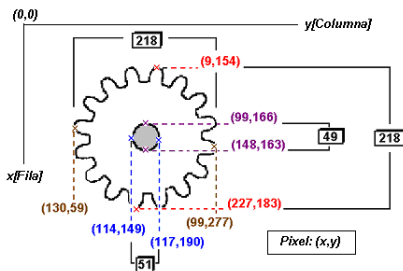


Figura 16: Coordenadas referenciales relativas de puntos singulares.

A partir de las dimensiones del engranaje patrón y el cálculo de áreas podemos resumir los siguientes parámetros para el engranaje patrón:

Diámetro Mayor	=	9 cms.
Diámetro Menor	=	7 cms.
Diámetro de agujero	=	1.6 cms.
Area del engranaje	=	33.29 cms. <sup>2</sup>
Area del agujero	=	2.01 cms. <sup>2</sup>
Número de dientes	=	16

Relacionando los parámetros medidos y los obtenidos del sistema, podemos determinar los parámetros característicos del engranaje patrón, como se muestra en la tabla 1.

Tabla 1: Dimensiones del engranaje patrón en cms. y píxeles.

Parámetro	Por medición	Del sistema
Diámetro mayor	9 cms.	218 pixeles
Diámetro menor	7 cms.	180 pixeles
Diámetro de	1.6 cms.	50 pixeles
área engranaje	33.29 cms. <sup>2</sup>	30000 pixeles
área agujero	2.01 cms. <sup>2</sup>	1380 pixeles
Centro de masa		(120,170)*

(\*) El centro de masa varía de acuerdo a la ubicación de la pieza en la cámara de V.A.

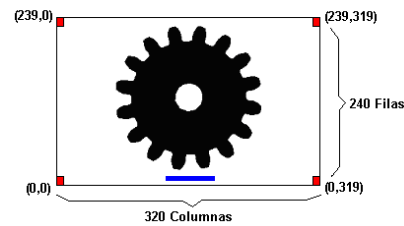
Para obtener el diámetro menor en píxeles se realizó un barrido de puntos para  $\alpha = [0^\circ - 20^\circ]$  usando la variable  $r$ , para detectar el cambio de gris y detectando el borde del engranaje. Se obtuvieron los siguientes resultados:

Tabla 2: Datos obtenidos de bordes exteriores del engranaje.

A	0	5	10	15	20
R	218	180	178	180	218
Condición	borde	borde	borde	borde	borde

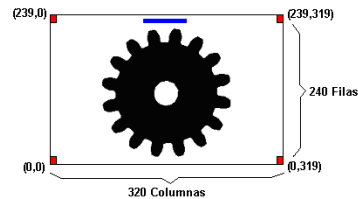
A partir de las medidas del engranaje patrón podemos llegar a la relación:

Referencia de coordenadas para imagen en resolución 240x320:



(a) Referencia de coordenadas de imagen.

Referencia de coordenadas en matriz de analisis:



(b) Referencia de coordenadas de matriz.

Figura 17: Cambio de referencia de coordenadas para el sistema.

Para determinar el número de dientes del engranaje, se realiza un barrido de 360 grados, con una variación de ángulo de 5°, manteniendo el valor de  $r$  fijo:

La verificación se realizó solo en el primer cuadrante, debido a la simetría del engranaje patrón.

## 4.4 DESARROLLO DEL SOFTWARE EJECUTABLE

### 4.4.1 DIAGRAMA DE FLUJO DEL SISTEMA

En la figura 18 se muestra el diagrama de flujo del sistema.

El inicio del proceso es cuando la cámara de visión artificial está iluminada y se ha ejecutado el programa de control de calidad.

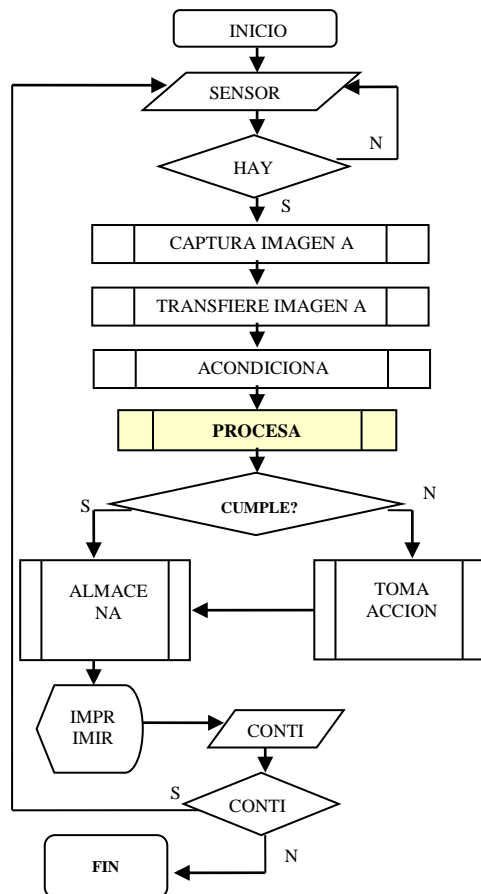


Figura 18: Diagrama de flujo del sistema.

#### 4.4.2 PRESENTACIÓN DE IMÁGENES EN EL SISTEMA

Al ejecutar la aplicación se generan las imágenes que aparecen en la figura 19.

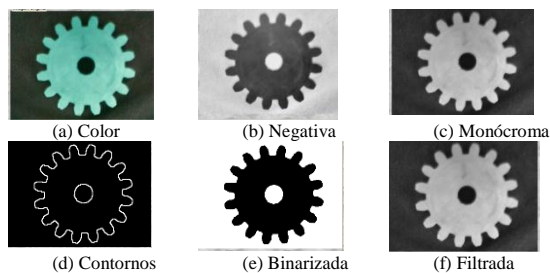


Figura 19: Gráficas mostradas por el sistema.

#### 4.4.3 AREAS DE REFERENCIA EN EL SISTEMA

Se puede manipular el umbral junto con el contraste ó dando valores apropiados a la interfase de configuración de la cámara.

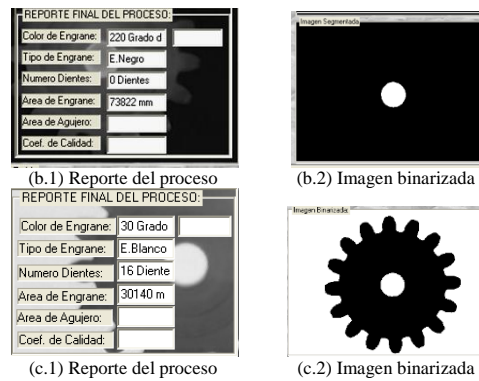
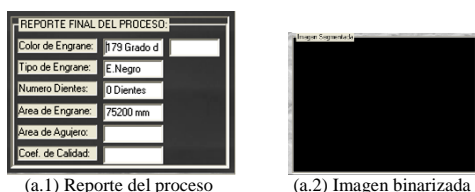


Figura 20: Determinando parámetros de áreas. (a) área total de la imagen. (b) área del agujero. (c) área del engranaje.

De la figura 20 podemos concluir:

Área total de la imagen	≈ 75200 píxeles
Área del agujero	≈ 75200-73820 ≈ 1380 píx
Área del engranaje	≈ 30000 píxeles

#### 4.4.4 ANÁLISIS DE COLOR EN EL SISTEMA

Una vez obtenida la imagen monócroma a partir de la de color, tanto el fondo como el engranaje adquirirán para el sistema niveles de gris entre [0 - 255]. Debido a la relación de áreas entre el fondo y el engranaje, se tendrá un histograma como se muestra en la figura 21.

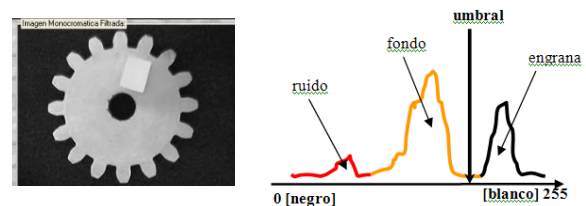


Figura 21: Imagen capturada y su histograma respectivo.

En la figura 21.b, el segundo mayor área del histograma corresponde al engranaje, el cual también ocupa el segundo área dentro de la imagen. La mayor área del histograma corresponde a la mayor área dentro de la imagen, es decir; el fondo. El área menor del histograma corresponde a puntos no deseados que aparecen sobre el fondo de la imagen. La correspondencia entre área del histograma y área de la imagen se puede ver en las imágenes (a) y (b) de la figura 21.

También se puede observar que hay un buen contraste entre engranaje y fondo, lo cual implica que se puede realizar un análisis sobre el objeto de interés.

El contraste entre el engranaje y fondo dependerá de:

- Colores de ambos elementos.
- Pureza del color sobre el objeto.
- Sistema de iluminación.
- Calidad del dispositivo de adquisición.
- Configuración del dispositivo de adquisición.



Además de la calidad de la imagen obtenida por el sistema, el algoritmo también será determinante en la precisión de los resultados.

En los histogramas de la figura 22 se puede observar que para los engranajes color plata, azul y amarillo se distingue claramente el contraste.

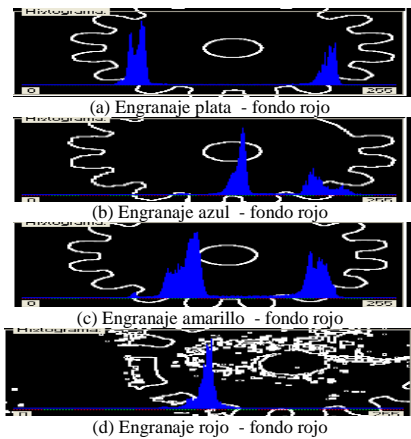


Figura 22: Histograma de los diferentes engranajes.

Bajo condiciones apropiadas de adquisición, el contraste entre el engranaje y fondo es notorio, por lo tanto se puede realizar un buen trabajo de análisis.

Para poder distinguir el objeto de análisis dentro de la imagen, se debe buscar un máximo, es decir que el color del engranaje y de fondo traten de ser negativos entre sí. En la figura 23 se muestran algunos colores y sus respectivos negativos.

## 5. RESULTADOS

### 5.1 CONFIGURACIÓN DEL MONITOR

Al ejecutar el programa, el tamaño de la ventana principal y del número de imágenes que pueda mostrar depende de la configuración del monitor.

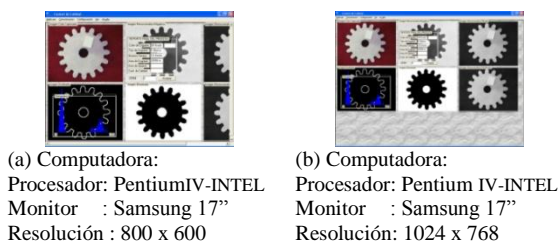


Figura 23: Presentación del sistema para diferentes configuraciones.

### 5.2 INTERFASES DE CAPTURA DE IMÁGENES

De acuerdo a la cámara, la interfase de adquisición y su configuración, varía la calidad de la imagen.



Figura 24: Tres tipos de cámaras con sus respectivas interfaces de configuración. (a) Creative WebCAM Plus. (b) Creative WebCAM II. (c) Genius VideoCAM Express V2

El tipo de drivers y software de control definen la interfase y la forma de adquisición de la imagen. Durante el desarrollo del sistema se hicieron pruebas sobre el soporte de software y hardware.

Tabla 3: Respuesta de las diferentes interfaces en diferentes PC's.

Computadora	Interfase 1	Interfase 2	Interfase 3
Pentium IV	Funciona	No funciona	No la reconoce clase CTwain
Pentium III	Funciona	Funciona	No la reconoce clase CTwain
Pentium I	No funciona	Funciona	No la reconoce clase CTwain

### 5.3 EFECTO DEL VALOR DEL UMBRAL

El valor del umbral es determinante en la respuesta del sistema.

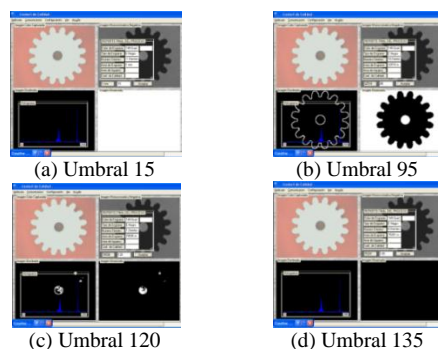


Figura 25: Efecto de valor de umbral en la binarización de la imagen.

#### 5.4 EFECTO DE MOVIMIENTO DEL ENGRANAJE

Otro parámetro importante es el efecto de movimiento de la imagen que se desea capturar. Mientras más rápido se mueva la imagen, mayor será la distorsión. Para ilustrar dicho efecto en la figura 26 se toma fotos a una mano en diferentes condiciones.

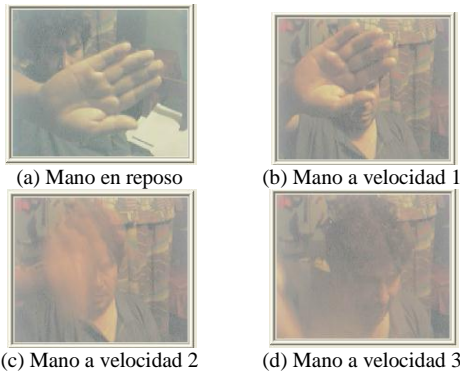


Figura 26: Efecto del movimiento en la captura de la imagen.

En la figura 26.d se puede apreciar que **la mano prácticamente no aparece en la fotografía.**

#### 5.5 EFECTO DE ILUMINACIÓN

Otro parámetro a considerar es la iluminación sobre el objeto de interés. En la figura 27 se puede apreciar dicho efecto en el resultado del proceso.

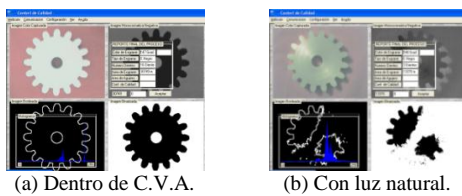


Figura 27: Efecto de iluminación.

#### 5.6 CAMBIO DE UBICACIÓN DE PIEZA DENTRO DE LA CÁMARA DE VISIÓN ARTIFICIAL (CVA)

Se debe tener en cuenta que la ubicación de la pieza dentro de la C.V.A. modificara los parámetros de la imagen.

Este efecto se ilustra en la figura 28 donde los vértices de los 'cuadrados' que contienen al engranaje central (rojo), no coinciden en dimensión con los vértices de los 'cuadrados' azules (arriba y a la derecha) y los vértices de los 'cuadrados' verdes (abajo y a la izquierda), esto demuestra que el engranaje se ha distorsionado en la imagen.

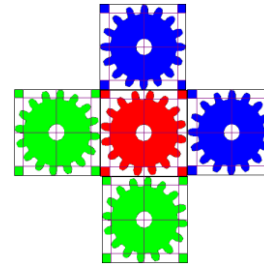


Figura 28: Efecto de la ubicación del engranaje dentro de la cámara de visión.

## 6. CONCLUSIONES

- Cualquier imagen tal como: foto, video, rayos-x, satélite, tomografía, mamografía, etc.; puede ser sometido al análisis por medio del Procesamiento Digital de Imágenes.
- La calidad de la imagen adquirida dependerá directamente de:
  - La iluminación del sistema, y
  - Las características de la cámara de video o fotográfica
- Y la eficiencia del sistema de:
  - El hardware del sistema
  - Las técnicas de procesamiento utilizadas
  - Los algoritmos respectivos
  - Los drivers y el programa monitor utilizado
- Un sistema comercial de control de botellas procesa aproximadamente 72000 botellas/hr., es decir; 20 imágenes/seg. Para implementar un sistema así se debe elegir adecuadamente:
  - El dispositivo de adquisición de imágenes.
  - Los algoritmos.
  - El hardware de soporte.
- En el caso del análisis de engranajes, se busca que la intensidad de luz sea homogénea en la superficie (iluminación difusa), y no se produzca sombra.

## 7. REFERENCIAS

- [01] Gonzalo Pajares; Jesús M. de la Cruz. "Visión por Computador. Imágenes Digitales y Aplicaciones", Ra-Ma, 2001.
- [02] Arturo de la Escalera. "Visión por Computador. Fundamentos y Métodos", Prentice-Hall, 2001.
- [03] Javier González Jiménez. "Visión por Computador", Paraninfo, 2000.
- [04] Francisco Jav. Ceballos. "Microsoft Visual C++. Aplicaciones para Win32. 2ª Ed.", Ra-Ma, 1999.
- [05] Rafael C. González; Richard E. Woods. "Tratamiento Digital de Imágenes", Addison-Wesley / Díaz de Santos, 1996.