
VISIÓN Y PROCESAMIENTO DE IMÁGENES PARA CONTROL DE CALIDAD

ADALBERTO GABRIEL DÍAZ

En este artículo se pretende mostrar algunas aplicaciones y técnicas de procesamiento de imágenes, para realizar actividades de control de calidad en los procesos, en los cuales, los parámetros de verificación sean caracterizados por aspectos ópticos.

1. INTRODUCCIÓN

Calidad es un tema de actualidad cuando se trata de establecer un cambio o mejoras en una determinada actividad. En los sistemas productivos su cubrimiento es global: se habla de calidad de las materias primas, calidad de los procesos, calidad de los productos, calidad administrativa, calidad humana de los trabajadores y, en general, calidad total.

Se podría deducir que, cuando en todas las unidades y dependencias de un sistema productivo se involucra el concepto de calidad, esto se refleja en la calidad de los productos finales del sistema. Ahora, nos queda definir el concepto de calidad sobre un producto, y ésto se puede resumir: "es un producto de calidad cuando es disponible y apto para el uso". Por consiguiente, desde el diseño de un producto se debe invocar una función de calidad tanto en el proceso de construcción del producto como en el producto mismo. De esta forma se llegará a obtener productos de excelente calidad, competitivos, de mayor beneficio y rentabilidad.

La calidad de un producto está determinada por una serie de características que, evaluadas, deben satisfacer su aptitud de uso. Sus niveles se deben ajustar y balancear hacia unos valores óptimos, sin sacrificar su definición de calidad con respecto a los costos que esto implica.

Un producto con calidad es un objetivo que se debe lograr en el sistema de producción; las acciones, procedimientos, estrategias y otros encaminados a este logro corresponden al control de calidad en el sistema de producción.

Para hacer control de calidad se han desarrollado técnicas, equipos de verificación y pruebas, y, a su vez, se ha desarrollado maquinaria de producción para una mejor calidad.

La instrumentación para este propósito ha exhibido una continua evolución, mediante complicados sistemas computarizados que utilizan los más modernos descubrimientos como tecnología láser, nuclear, visión, circuitos de alto nivel de integración, etc.

En este artículo se pretende mostrar las bondades de métodos ópticos y de procesamiento de imágenes, para utilizarlos como una herramienta de inspección en actividades de control de calidad.

ADALBERTO GABRIEL DÍAZ. Ingeniero Electrónico.
Profesor de la Universidad EAFIT.

2. CONTROL DE CALIDAD EN PROCESO

El control de calidad en un proceso se concentra en calificar un producto por sus cualidades y características, para permitir realimentar al sistema parámetros de ajuste, corrección y control de las variables de entrada a las máquinas y sistemas de producción. Además, se realizan acciones tales como aceptación, corrección, reciclaje, rechazo y destrucción del producto.

La posibilidad de corregir en el mismo sitio de producción y al mismo tiempo los errores del proceso de manufactura, permite la disminución de pérdidas de materiales, productos, ahorro de tiempos de producción, cumplimiento con los pedidos, además de un producto final de excelente calidad.

Un programa de calidad debe procurar detectar y prevenir rápidamente los problemas que deterioran el producto, para actuar en su corrección en el momento y con la prontitud suficiente, sin que los costos de producción se disparen; en resumen: ese programa se orienta hacia la disminución de las enormes pérdidas potenciales.

Los defectos de un producto típicamente son de dos clases: esporádicos y crónicos. Un defecto esporádico es el resultado de un repentino cambio adverso, para el cual se requiere restaurar el sistema. Una condición crónica es una situación adversa y permanente que requiere el cambio o ajuste del sistema.

En muchos sistemas de producción se tienen mecanismos de chequeo aleatorio, por medio de una muestra de la producción y con el supuesto de que, estadísticamente, el resto tiene una imagen semejante en sus aspectos de calidad. El uso de métodos manuales y tradicionales para el chequeo de la totalidad de la producción resulta lento y costoso, además de que implica alto riesgo probabilístico de un error de calidad de un producto en manos de un usuario final.

El producto final tiene una imagen o prototipo con especificaciones de características ideales que garantizan su función de calidad. La variación implica que nunca habrá dos productos exactamente idénticos. Aumentar la semejanza de un producto con su prototipo hace que los costos y tiempos de producción se aumenten, pero la disminución de costos y reducción de tiempos hacen que la calidad se disminuya; la solución es lograr

un punto de equilibrio de tal forma que las características del producto final tengan como desviación máxima una correspondiente al ajuste dentro las normas de calidad exigidas a este producto para su correcto desempeño en poder del usuario final.

Identificar un producto es medir y cuantificar sus características de definición correspondientes a sus factores de calidad. Los principios de medición son muchos y cada variable por medir tiene sus propios procedimientos, métodos y mecanismos, que se caracterizan por su eficiencia, rapidez y precisión.

La naturaleza ha previsto a los seres vivos del sentido de visión y este es el canal con mayor flujo de información al cerebro. Similarmente, un sistema de adquisición de datos semejantes a los sistemas de visión puede capturar altos volúmenes de información al computador. Pero una imagen requiere una actividad de procesamiento, equivalente a pensar, para extraer la información solicitada en un instante dado.

La posibilidad de corregir en el mismo sitio de producción y al mismo tiempo los errores del proceso de manufactura, permite la disminución de pérdidas de materiales, productos, ahorro de tiempos de producción, cumplimiento con los pedidos, además de un producto final de excelente calidad.

2.1 PLANIFICACIÓN Y ANÁLISIS DE ENSAYOS

Los ensayos son actividades que permiten medir las características de un producto. Las pruebas por realizar pueden ser de estos tipos: no destructivas, de envejecimiento o destructivas.

Un chequeo no destructivo se hace con medidores de alta impedancia, de tal forma que el producto se afecte al mínimo por la realización de esta prueba. La magnitud de la muestra depende del tiempo de observación y sus costos. En muchos casos, el costo es independiente del tamaño o valor de la muestra, lo cual posibilita un chequeo total de la producción. Ejemplo: inspección visual.

Un chequeo de envejecimiento es aquel en que la prueba deteriora el producto y está relacionado con el tiempo o magnitud de la prueba. Según el desgaste del producto, tiempo y costos, se puede determinar la magnitud de la muestra y, en algunos casos, se puede realizar en la totalidad de la producción. Ejemplo: medir el desgaste de una herramienta de corte.

Un chequeo destructivo inhabilita totalmente el uso del producto después del ensayo. Esto permite verificar sólo una pequeña muestra representativa del producto y las características de los restantes se extrapolan a los resultados de estas pruebas, lo que hace que cualquier producto este sujeto a un alto nivel probabilístico de baja calidad. Ejemplo: medir la resistencia destructiva de una probeta.

2.2 LÍMITES Y TOLERANCIAS

Fijar los límites cuantificados exigidos a las características de un producto es un determinante del nivel de calidad. Las normas de calidad permiten definir estos límites y tolerancias de tal forma que el producto resulte con un nivel de calidad aceptado por el usuario.

Las magnitudes de estos límites son el resultado de un balance óptimo entre costos de producción y su nivel de calidad, puesto que estos límites reflejan las necesidades del usuario, la compatibilidad de capacidad de materiales y los procesos de fabricación.

2.3 INSPECCIÓN

Además de mantener factores de producción en condiciones muy satisfactorias, la inspección del producto es una garantía vital y de confianza como un regulador en el proceso de fabricación.

La inspección está determinada por factores como la complejidad de la medición, complejidad del producto, tiempo requerido para la inspección por cada unidad, tipo y volumen de información por unidad requerida, procesamiento de la información para obtener los datos finales requeridos, complejidad y costo de las herramientas de medición, costo de inspección por unidad, etc.

2.4 METROLOGÍA

Los procedimientos de medición están asociados con las características de los principios

físicos que las rigen, de tal forma que su medición se puede realizar de forma directa con el valor que marca el sensor o en forma indirecta por medio de cálculos con otras variables.

Los principios físicos de medición son muchos y como ejemplo se listan los más comunes: mecánicos, térmicos, dinámicos, microondas, radio frecuencia, eléctricos, presión y vacío, aceleración, vibraciones y fuerzas, sónicos y ultrasónicos, espectrónicos, ópticos, etc.

La naturaleza ha previsto a los seres vivos del sentido de visión y este es el canal con mayor flujo de información al cerebro.

Similarmente, un sistema de adquisición de datos semejantes a los sistemas de visión puede capturar altos volúmenes de información al computador. Pero una imagen requiere una actividad de procesamiento, equivalente a pensar, para extraer la información solicitada en un instante dado.

3. ASPECTOS ÓPTICOS DE CONTROL DE CALIDAD

La frase "Una imagen vale más que mil palabras" se relaciona con el volumen de información que una imagen posee. En una sola imagen, se pueden tener resoluciones hasta de 66 millones de píxeles por imagen, los cuales individualmente tienen una información propia de brillo en valores de gris y color. Colectivamente se asocian con los vecinos para dar informaciones sobre los objetos, tales como: contornos, profundidades, medidas, texturas, clasificación de áreas específicas, etc.

Muchos aspectos en control de calidad se miden por medios visuales, generalmente con visión humana. El inspector tiene asociado, para cada parámetro por controlar, una imagen modelo o prototipo sobre el cual va a calificar esa característica, con su correspondiente tolerancia de aceptación. Algunas de estas mediciones las hace apoyados

con herramientas auxiliares o por dispositivos de medición, como reglas métricas, medidas patrón, etc.

Segmentación es el proceso destinado a separar de una imagen los objetos o partículas de interés. (Ver sección 4.2).

Un objeto o partícula óptica está definido y delimitado por una frontera, la cual resulta de un procesamiento cuidadoso; que busca puntos conectados y que representan una discontinuidad en las características del objeto que se está considerando.

Los principales aspectos medibles ópticamente para un proceso de control de calidad se clasifican en geométricos, localización, físicos, característicos, de conjunto, de fondo, de reconocimiento e identificación, de emisión y artísticos, cada uno de los cuales se detalla a continuación.

3.1 ASPECTOS GEOMÉTRICOS

La geometría de un objeto define criterios tales como: presentación, ensamble, acabados, ajustes con las demás piezas del sistema, funcionamiento y motricidad, selección y clasificación de objetos, etc.

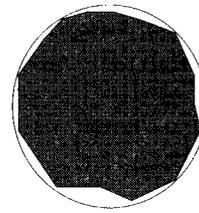
Geoméricamente, a un objeto se le asocian aspectos como su forma, área, simetría, dimensiones, tolerancias, etc.

3.1.1 Forma

Está asociada a una geometría corporal del objeto. Muchas veces la forma define su identidad y en un proceso de selección se buscan objetos con determinada forma. La imagen de un objeto (dos dimensiones), por tener cierto grado de parentesco se puede inscribir dentro de una figura geométrica: círculo, elipse, rectángulo, con lo que se puede decir que un objeto tiene forma redonda, rectangular o elíptica, aunque realmente la trayectoria de su perímetro no coincide con el de estas figuras. Cuantitativamente se pueden expresar estas características en valores correspondientes a medidas del objeto tales como:

- **Redondez:** Indica como la superficie cerrada de un objeto o partícula está encerrada en un círculo. Su valor está entre 0.0 y 1.0.

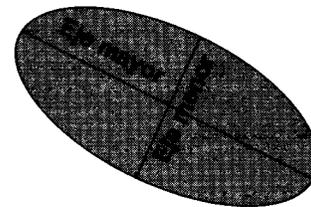
FIGURA 3.1
Redondez



Se calcula por la expresión: $4\pi \times \text{Área} / \text{Perímetro}^2$

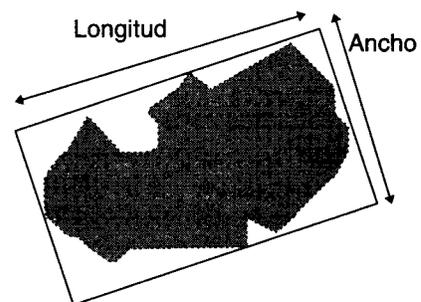
- **Mayor y menor eje:** corresponden a los ejes respectivos de una elipse que inscribe al objeto y que tiene su segundo momento de área equivalente al objeto.

FIGURA 3.2
Elipse equivalente: mayor y menor eje



- **Relación de ejes:** es la relación $\frac{\text{Eje menor}}{\text{Eje mayor}}$ de la elipse equivalente.

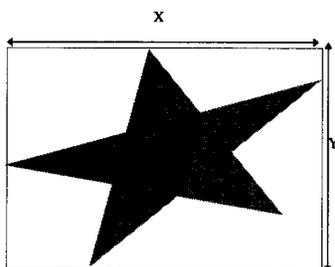
FIGURA 3.3
Longitud y ancho de un objeto



- **Longitud y ancho:** la imagen bidimensional de un objeto se puede enmarcar en una caja rectangular, con lados paralelos a los ejes mayor y menor, de los cuales se extraen la longitud y el ancho del objeto.

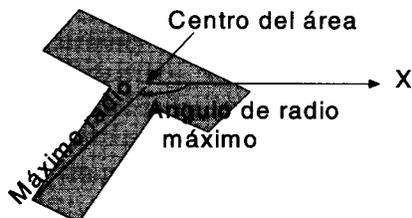
- **Caja del área:** es un rectángulo con ejes paralelos a los ejes coordenados, con el área dada por la dimensión en X y la dimensión en Y.
- **Dimensión en X, dimensión en Y:** son las dimensiones coordenadas que el objeto ocupa en los respectivos ejes.

FIGURA 3.4
Dimensiones X y Y



- **Relación rectangular:** es un valor entre 0.0 y 1.0; se evalúa con la expresión $\frac{\text{Area}}{\text{Area de la caja}}$.

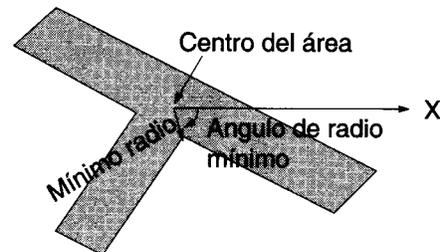
FIGURA 3.5
Máximo radio



- **Mayor radio:** es la longitud desde el centro del área hasta un punto del perímetro del objeto con

un ángulo de este radio respecto al eje X, en el sentido de las agujas del reloj. Esto permite detectar las máximas protuberancias o penínsulas del objeto.

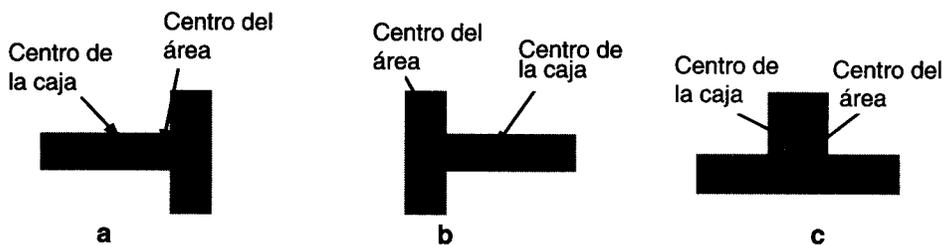
FIGURA 3.6
Mínimo radio



- **Menor radio:** es el radio desde el centro del área hasta el punto más cercano de perímetro y su ángulo respecto al eje X. Esto permite detectar las bahías más cercanas al centro del área.
- **Radio promedio:** es el valor promedio de los radios del centro del área hasta la línea perimetral del objeto.
- **Simetría:** es un aspecto de forma y puede observarse a lo largo del eje mayor o del eje menor.

La simetría a lo largo del eje mayor calcula el desplazamiento a lo largo de este eje entre el centro de la caja perimetral y el centro de área. Un valor cero indica que el objeto es simétrico a lo largo de este eje; valores diferentes con el respectivo signo indican mayor ubicación de píxeles a la izquierda o a la derecha.

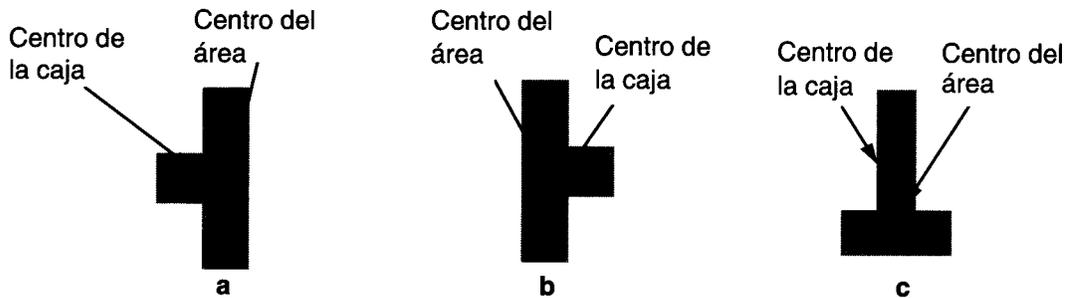
FIGURA 3.7
Simetría sobre el eje mayor



- Simetría con signo negativo: mayor distribución de partículas a la derecha.
- Simetría con signo positivo: mayor distribución de partículas a la izquierda.
- Simetría con valor cero: es simétrica en el eje mayor.

La simetría a lo largo del eje menor calcula el desplazamiento a lo largo de este eje entre el centro de la caja perimetral y el centro de área. Un valor 0 indica que el objeto es simétrico a lo largo de este eje, mientras que valores diferentes con el respectivo signo indican mayor ubicación de píxeles a la izquierda o a la derecha.

FIGURA 3.8
Simetría sobre el eje menor



- a. Simetría con signo negativo: mayor distribución de partículas a la derecha.
 b. Simetría con signo positivo: mayor distribución de partículas a la izquierda.
 c. Simetría con valor cero: es simétrica en el eje menor.

3.1.2 Área

Esta asociada con la superficie ocupada por el objeto en una imagen; esta área se puede dar en píxeles o en unidades calibradas de medidas relacionadas con las proporciones reales del objeto. Las características medibles sobre el área ópticamente son:

- Área de un objeto excluyendo huecos dentro de esta superficie, que corresponde al área neta del cuerpo.
- Área total incluyendo huecos a la superficie del objeto; está delimitada por el perímetro externo de la superficie.

3.1.3 Proporciones

Dado que los objetos muchas veces no se ajustan a figuras geométricas ideales, existen medidas que permiten cuantificar su relación con respecto a ellas.

Estos aspectos son:

- Relación del área del objeto con el espacio de la escena señalada.
- Relación del área del objeto con la caja de inscripción: es la relación entre el área (excluyendo huecos) y el área de la caja rectangular que contiene el objeto orientado en los ejes coordenados.

- Relación de ejes: entre ancho y largo del objeto.
- Relación de radios: entre radio mínimo y radio máximo.

3.2 ASPECTOS DE LOCALIZACIÓN

Es la información que permite ubicar un objeto en un espacio dado a su servicio. Su utilización es importante para aplicaciones en robótica, como toma y ensamble de piezas, alimentación de partes y herramientas en sistemas flexibles de manufactura, etc.

Los principales aspectos relacionados con la localización son:

3.2.1 Posición

Permite ubicar las coordenadas y la ubicación de un objeto en el escenario; se puede expresar como:

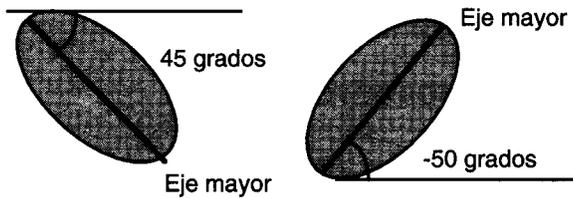
- **Centro del área del objeto:** corresponde al centro de gravedad del objeto. La coordenada X se calcula sumando todos los valores en X de todos los píxeles y se divide por el número de píxeles del objeto; análogamente, se calcula la coordenada en Y sumando todos los valores en Y de todos los píxeles y se divide por el número de píxeles del objeto. Este punto no necesariamente queda dentro del área del objeto.

- Distancia neta desde el origen del plano cartesiano al centro de gravedad.

3.2.2 Inclinación

Es la rotación que se encuentra el eje mayor del objeto con respecto al eje X. Este es un valor entre -90 y 90 grados y crece en el sentido de las agujas del reloj.

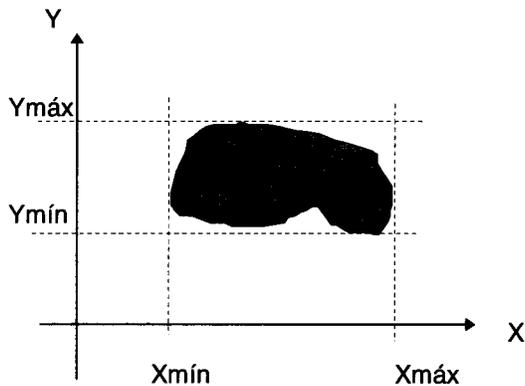
FIGURA 3.9
Inclinación de un objeto



3.2.3 Fronteras

Indican las coordenadas de las líneas tangentes paralelas a los ejes coordenados y permiten ubicar un objeto en el plano cartesiano: Máximo X, Máximo Y, Mínimo X, Mínimo Y.

FIGURA 3.10
Valores máximos de coordenadas

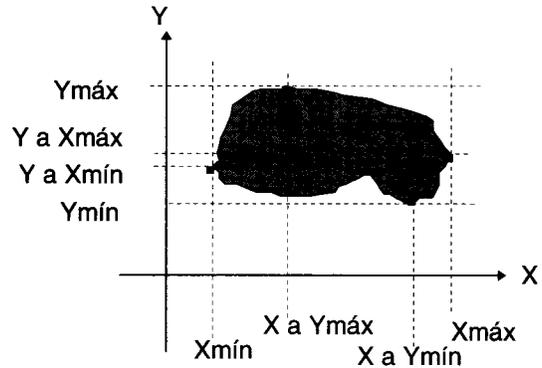


3.2.4 Puntos de Tangencia

Son las coordenadas de los puntos tangentes de un objeto a las líneas paralelas a los ejes de coordenadas máximas:

- Coordenada en X para el valor máximo de Y.
- Coordenada en Y para el máximo X.
- Coordenada en X para el valor mínimo de Y.
- Coordenada en Y para el mínimo X.

FIGURA 3.11
Puntos tangentes



3.2.5 Perímetro

Es la longitud de la línea alrededor del objeto sobre su frontera; se calcula sumando el número de píxeles que definen la frontera.

3.3 ASPECTOS FÍSICOS

En un objeto se pueden considerar relaciones entre su masa y su respectiva distribución y su forma física, para asimilarle características físicas de un cuerpo sólido. Estas son:

3.3.1 Centro de Gravedad y Momentos de Inercia

Análogamente a la distribución de la masa en un objeto físico; momento, es la relación que existe entre la distribución de píxeles en una imagen pertenecientes al objeto, con respecto al sistema de referencias coordenadas, para producir un efecto de una fuerza de rotación, y el punto en el cual la suma de los momentos es nula, corresponde al centro de gravedad.

Cuando una fuerza está distribuida sobre un área se tiene momentos donde la intensidad de la fuerza es proporcional a la distancia de la fuerza del eje del momento. La acción de una fuerza elemental en un elemento de área es proporcional al producto de la distancia por el elemento de área y el momento elemental es proporcional a la distancia al cuadrado por el diferencial de área, llamado momento de inercia.

Los momentos describen propiedades de un objeto, tales como: área, posición, orientación y otros parámetros.

Las expresiones de momentos se calculan sumando los momentos de cada pixel:

$$x_c.Area = \int x dA \quad y_c.Area = \int y dA$$

- **Primer momento de área en X:** La expresión es: $\int x dA$. Esto es la suma de las coordenadas en x de todos los pixeles del objeto.
- **Primer momento de área en Y:** La expresión es $\int y dA$. Esto es la suma de las coordenadas en y de todos los pixeles del objeto.
- **Segundo momento de área en X:** Llamado momento de inercia en X. La expresión es $\int x^2 dA$, esto es, la suma de las coordenadas al cuadrado en x de todos los pixeles.
- **Segundo momento de área en Y:** Llamado momento de inercia en Y. La expresión es $\int y^2 dA$, esto es, la suma de las coordenadas al cuadrado en y de todos los puntos.
- **Segundo momento de área en X Y:** Que es la suma del producto de las coordenadas en X y Y de todos los puntos. El momento producto es una expresión matemática de la forma $\int xy dA$; sus signos dependen de la situación del área con respecto al eje coordenado.

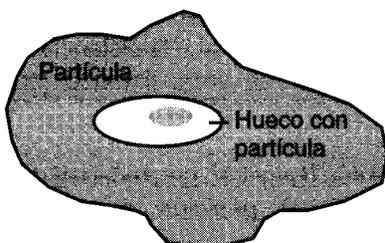
3.4 ASPECTOS CARACTERÍSTICOS

Son detalles como: relieves, elementos o huecos que se encuentran incrustados en el área de un objeto. Para imágenes 2D, solo se hará referencia detallada a los huecos.

3.4.1 Huecos

Un hueco es un objeto con un color diferente o con niveles de gris fuera del rango y los umbrales establecidos para el objeto que lo contiene.

FIGURA 3.12
Hueco en una partícula



A ellos se asocian características como:

- Cantidad de huecos.
- Área de los huecos.
- Relación entre el área del hueco y el área del objeto.

3.5 ASPECTOS DE CONJUNTO

Son características que asocian al conjunto de objetos en un escenario:

- La suma de áreas de un grupo de objetos.
- La relación del área con la del escenario.

3.6 ASPECTOS DE FONDO

La observación y análisis de una imagen en su cuerpo generan otra cantidad de información de éste.

3.6.1 Nivel de Gris

Las intensidades de cada pixel dan información dentro del perímetro del objeto: Las principales características son:

- El nivel de gris promedio, que se calcula con todos los pixeles internos del objeto.
- El gris total: es la intensidad total de la partícula y se calcula sumando las intensidades de cada pixel.

3.6.2 Color

El color o asociación de niveles de gris permite definir el objeto, o partes, elementos o regiones asociados con él.

3.6.3 Distribución de Niveles de Gris

De acuerdo con los relieves, intensidades y colores del objeto se tienen determinadas distribuciones de su intensidad:

- Estas distribuciones se pueden cuantificar con histogramas, los cuales indican la población de pixeles con ciertos niveles de gris.
- La observación de los relieves de gris se hace con herramientas que permiten hacer un corte y ver su perfil.

3.7 ASPECTOS DE RECONOCIMIENTO E IDENTIFICACIÓN

Una de las principales utilidades de la visión y el procesamiento de imágenes es lograr identificar y reconocer objetos. Las características por las cuales se pueden identificar son elementos que permiten definir un prototipo o patrón.

3.7.1 Patrón

Es un objeto, partícula o modelo de referencia con características de tamaño, forma, perfiles, niveles de gris, tolerancias, etc. y que no tiene una descripción matemática precisa. Su naturaleza es multidimensional y sus características apropiadas representan al patrón. Se expresan como vectores de n-dimensiones.

3.7.2 Textura

Es la posible distribución de objetos, asociados con patrones dentro de una imagen.

3.7.3 Caracteres

Identificación textos y códigos, tales como marcas de identificación, códigos de barras, textos, señales luminosas, etc.

3.8 ASPECTOS DE EMISIÓN

Muchos cuerpos tienen la posibilidad de emitir radiaciones en diferentes espectros: sónicas, infrarrojos, ultravioletas, etc. las cuales, con dispositivos o cámaras con cobertura en estos rangos, permiten construir imágenes y ofrecer su correspondiente información. Ejemplos:

3.8.1 Temperaturas

La radiación infrarroja emitida por un cuerpo suministra información relacionada con la temperatura de éste. Su utilidad cubre aplicaciones de difícil acceso, elevadas temperaturas, visión nocturna, elementos peligrosos y, además, se puede tener el mapa de distribución de temperaturas en todo el cuerpo.

3.8.2 Vaporizaciones y Radiaciones

Es el caso de cuerpos que pueden hacer algún tipo de emisiones y radiaciones, los cuales pueden ser partículas visibles, contaminantes, o

disolventes, y posiblemente el cuerpo se consume hasta desaparecer.

3.9 ASPECTOS ARTÍSTICOS

Se trata de aspectos difíciles de analizar por la variedad de consideraciones que se pueden tener en cuenta. Sin embargo, se pueden analizar aspectos con ciertas características geométricas y repetitivas.

4. PROCESAMIENTO DE IMÁGENES

Las características de las imágenes para aplicaciones en control de calidad descritas anteriormente se pueden evaluar utilizando algunas técnicas de procesamiento de imágenes.

Este proceso se realiza en dos pasos:

- **Preprocesamiento.** Consiste en la aplicación de algunas técnicas a una imagen original del sistema de adquisición, que permite conseguir otra imagen con algunas características realizadas, suavizadas y mejoradas para facilitar la fase de procesamiento. Posiblemente con esto se consigue una imagen más agradable al observador.
- **Procesamiento.** Consiste en la aplicación de técnicas que tienden a extraer características e informaciones importantes de una imagen, con cierto grado de complejidad.

4.1 TÉCNICAS DE PREPROCESAMIENTO

Para la mejora de una imagen se pueden utilizar técnicas como: mejora mediante transformaciones al histograma, resaltado de contornos y alisado o reducción de ruido.

Para el resaltado de contornos y alisado se dispone de dos métodos:

- Métodos frecuenciales apoyados en la transformada de Fourier de la imagen original, esto es, un cubrimiento global de la imagen.
- Métodos espaciales basado en la modificación directa de los niveles de gris y de los píxeles de la imagen.

La transformada de Fourier es una transformación matemática, que relaciona las representaciones temporales o espaciales y frecuenciales en una imagen.

Las técnicas más usadas para el preprocesamiento son:

- **Extensión de contraste y brillo.** El contraste es la distribución de la iluminación y la oscuridad en una imagen, que depende del nivel de iluminación y ajustes del sistema óptico. En la memoria esto corresponde a la distribución en todo el espectro de la banda de niveles de gris. Las imágenes de bajo contraste emplean un rango reducido de niveles de gris y el brillo corresponde a la zona donde se ubica esta banda de niveles de gris. El histograma es un excelente indicativo de la extensión de contraste y el nivel de brillo.
- **Enfoque.** El análisis de un histograma también permite detectar la calidad del sistema óptico, esto es, permite ver si una imagen está correctamente enfocada. Una imagen con un excelente enfoque tiene zonas más agudas de distribución de brillo en un mayor rango del histograma; una imagen desenfocada tiende a aglutinar los niveles de brillo en un rango relativamente pequeño.
- **Detección de Umbrales.** Umbral "threshold" es el valor adecuado de un nivel de gris, a partir del cual los píxeles se clasifican en dos zonas: los píxeles que tienen un valor de gris mayor que el umbral y los píxeles que tienen un valor de gris menor que el umbral. Dependiendo de la aplicación, este umbral tiene diferentes métodos de cálculo. En algunos casos, a partir del histograma se analiza la distribución de niveles de gris y se ubica este nivel. En imágenes donde la clasificación se hace por sombras, la determinación se complica, ya que del nivel escogido se determinan las características de la segmentación. La situación se complica más cuando en las imágenes se debe optar por el nivel de umbral como una función espacial, donde en ciertas regiones este nivel tiene un valor y en otras tiene otro valor.

En aplicaciones prácticas este nivel es objeto de calibración manual del sistema. Los ensayos se hacen de acuerdo con las características del sistema óptico y de los niveles de iluminación del escenario.

- **Binarización.** Es una operación que permite transformar una imagen en tonos de gris a una imagen en blanco y negro solamente.

$$g(x, y) = \begin{cases} \text{Negro, si } F(x, y) < T \\ \text{Blanco, si } F(x, y) \geq T \end{cases}$$

donde $g(x,y)$ es la imagen resultante, $f(x,y)$ es la imagen original y T es el umbral que permite decidir cuáles tonos de gris pasan a blanco y cuáles a negro.

- **Reducción de ruido.** Con técnicas de alisado se elimina el ruido espurio sin degradar de forma notable la información de los contornos. El procedimiento se hace con filtros de convolución (ver sección 4.3).

4.2 SEGMENTACIÓN

Es el proceso de dividir una imagen en regiones significativas u objetos de interés, por medio de un análisis espacial de la imagen, teniendo en cuenta que un píxel está relacionado con su vecino y se puede calificar como continuidad o discontinuidad, para lo cual se utilizan algoritmos tales como realce de regiones y detección de umbrales, respectivamente.

Algunas técnicas de segmentación se exponen a continuación:

4.2.1 Segmentación por detección de bordes

En una imagen los bordes de un objeto se muestran por cambios en los niveles de gris en los píxeles de un vecindario. Hay bordes que tienen una alta pendiente en los cambios de sus niveles de gris, lo cual hace más visibles esos bordes; en cambio, hay otros que son más suaves y la frontera del borde depende del umbral de decisión, lo que hace a veces necesaria una etapa de preprocesamiento para resaltar su mayor pendiente.

4.2.2 Segmentación mediante Umbrales

Se precisa la búsqueda de un valor de gris que permita una adecuada binarización de la imagen, es decir, una imagen en dos tonos de gris: oscuro y brillante, de tal forma que la pendiente en los bordes sea muy brusca. Este procedimiento requiere un adecuado sistema de iluminación de la imagen, eliminando sombras y proyectando adecuadamente las profundidades del objeto para un posible análisis tridimensional. Este método es muy ventajoso cuando la iluminación del objeto se realiza con luz láser y la sombra es información relacionada con la perspectiva de la superficie en análisis.

FIGURA 4.1
Histogramas de imágenes con contraste y brillo

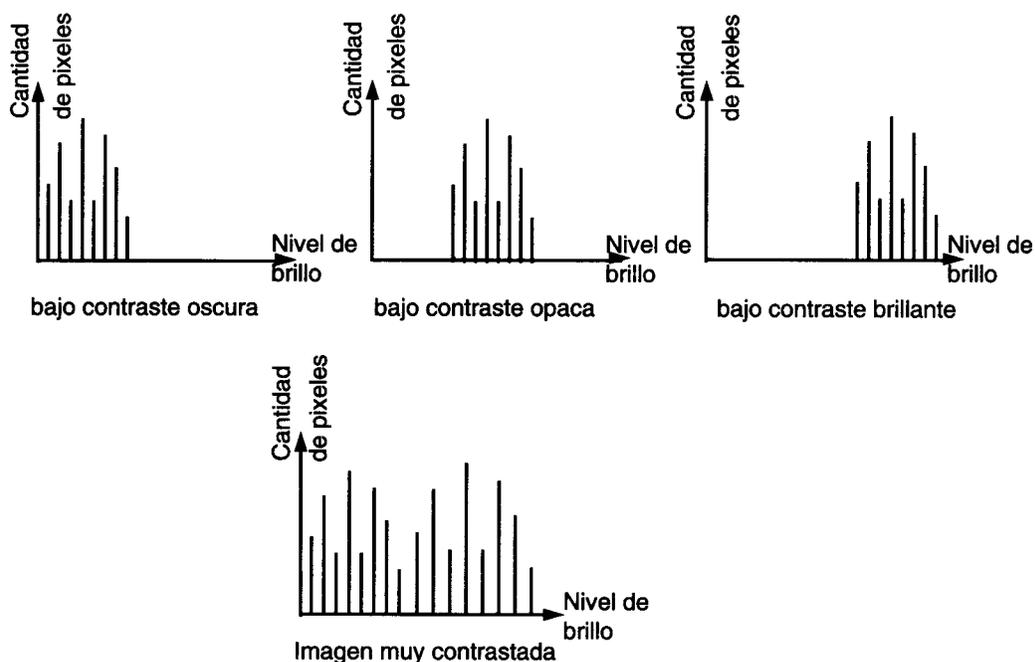
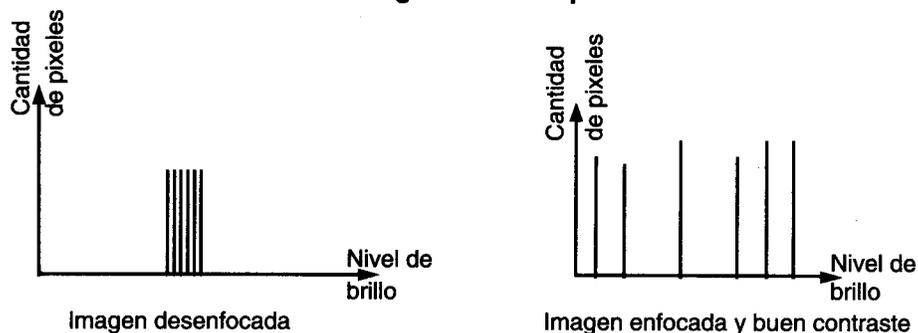


FIGURA 4.2
Histogramas- enfoque



4.2.3 Segmentación orientada a Regiones

No se tienen en cuenta los bordes, ni los cambios de tonos de gris, sino que se llega directamente a regiones de interés.

En este procedimiento se deben cumplir algunas condiciones:

- Todos y cada uno de los pixeles de una imagen deben estar en alguna de las regiones o subregiones.
- Todos los puntos de una región deben estar conectados.

- Los pixeles de una región deben cumplir alguna propiedad.
- Debe haber características que permitan separar regiones.

4.2.4 Segmentación por Crecimiento de Regiones

Es una técnica que agrupa pixeles o subregiones en regiones más grandes, utilizando métodos dilatación de bordes, adición de otras áreas, eliminación y allanado de pixeles que construyen barreras de contención, etc. Esto generalmente depende de la naturaleza del problema y es conveniente un análisis previo para cada caso.

4.2.5 Segmentación por división y fusión de regiones.

Es una técnica contraria al crecimiento de las regiones. Se trata de buscar en una región líneas que puedan fraccionar una región, según algún criterio propio de cada problema. Se hace necesario para evitar que al final de la división de regiones queden regiones adyacentes con propiedades idénticas.

4.2.6 Segmentación por Clasificación

Esta técnica consiste en utilizar medidas estadísticas para seleccionar un objeto. Posiblemente ésto se realiza después de tener una segmentación previa más general y ahora se desea una selección con características especiales que se ajusten a unos patrones fijados con desviaciones estadísticas establecidas.

4.3 FILTROS

El proceso de filtrado de una imagen se puede realizar de conformidad con dos aspectos: Realce de la imagen y su morfología.

El principio para filtrar utiliza la metodología de convolución con "kernels" definidos para efectos específicos y la posibilidad de ajuste de ganancias y valores "offset" para ajustes de niveles de gris en el rango permitido antes de registrar la imagen en memoria.

Los operadores de contornos, "kernels", llamados gradientes detectores, son unas plantillas adecuadas que usan patrones con pesos positivos y negativos, para realzar el contraste en los pixeles donde hay cambio en los niveles de brillo. Naturalmente que el nuevo valor de un pixel depende de los valores del "kernel" y los valores vecinos cubiertos por la plantilla.

Los filtros: "*sobel*", "*roberts*", "*cross*" y "*diamond*" se utilizan para detectar bordes orientados en determinadas direcciones. Los correspondientes "kernels" de convolución son:

$$Sobel = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix} \quad Roberts = \begin{bmatrix} -1 & -1 & 0 \\ 1 & 1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \end{bmatrix}$$

$$Cross = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ 0 & 0 & 0 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix} \quad Diamond = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

FIGURA 4.3
Imagen original

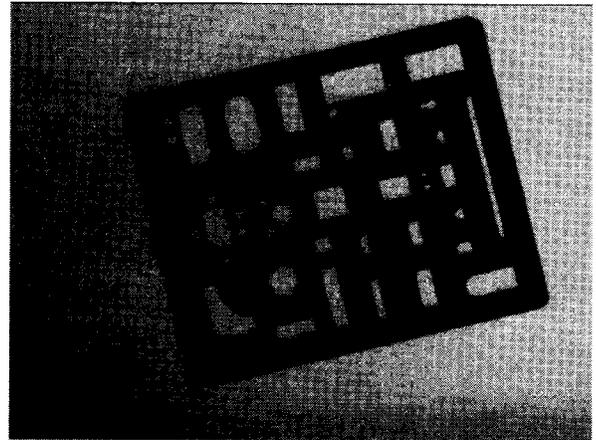
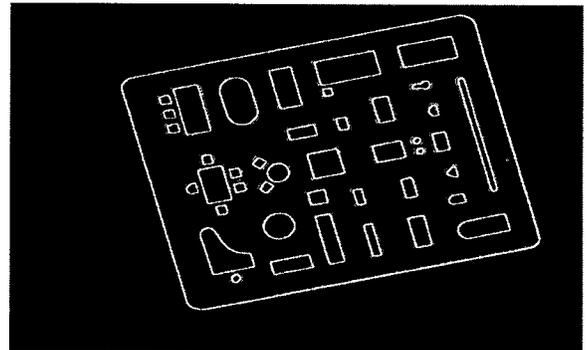


FIGURA 4.4
Imagen con filtrado Sobel



Los filtros: "*horizontal*", "*vertical*", "*left diagonal*" y "*right diagonal*" permiten detectar bordes en la dirección correspondiente a su nombre.

Los "kernels" de convolución para estos filtros son:

$$Horizontal = \begin{bmatrix} -1 & -2 & -1 \\ 0 & 0 & 0 \\ 1 & 2 & 1 \end{bmatrix}$$

$$Vertical = \begin{bmatrix} -1 & 0 & 1 \\ -2 & 0 & 2 \\ -1 & 0 & 1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Left diagonal} = \begin{bmatrix} 0 & 1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & -1 & 0 \end{bmatrix}$$

$$\text{Right diagonal} = \begin{bmatrix} 0 & -1 & 0 \\ -1 & 0 & 1 \\ 0 & 1 & 0 \end{bmatrix}$$

El filtro "**sharpen**" es un gradiente que genera imágenes con bordes más agudos. El filtro "**mean**" se emplea para pulir y suavizar una imagen; se reemplaza el pixel con la media aritmética de los pixeles vecinos. El filtro "**median**" se utiliza para remover ruido de una imagen; el pixel se reemplaza con el valor medio de los pixeles clasificados. Sus "kernels" son:

$$\text{Sharpen} = \begin{bmatrix} -1 & -1 & -1 \\ -1 & 9 & -1 \\ -1 & -1 & -1 \end{bmatrix}$$

$$\text{Mean} = \text{Median} = \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Los filtros **morfológicos** permiten alterar los contornos y límites de los objetos en imágenes binarias. Estos son filtros para:

- **Erosionar:** Se reemplaza el pixel con el menor valor (para objetos luminosos) o el mayor valor (para objetos oscuros) del vecindario. Esta operación encoge los objetos oscuros o luminosos según sea la operación.
- **Dilatar:** Se reemplaza el pixel con el mayor valor (para objetos luminosos) o el menor valor (para objetos oscuros) del vecindario. Esta operación ensancha los objetos oscuros o luminosos según sea la operación.
- **Abrir:** Primero se realiza una erosión y luego una dilatación. Estas operaciones hacen un efecto de pulir los bordes de un hueco.
- **Cerrar:** Primero se realiza una dilatación y luego una erosión. Estas operaciones hacen un efecto de llenar los pequeños huecos de un objeto.
- **Fraccionar:** Fracciona o separa y sobrepone objetos en una imagen binarizada.

- **Esqueletizar:** Se realizan operaciones similares a la erosión pero llegando mínimo a un pixel. Hay dos alternativas: "*l-skeleton*" que deja una línea de al menos un pixel en la longitud del objeto, y "*d-skeleton*" que deja un punto por cada objeto contiguo original.
- **Eliminar las concavidades de los elementos.** "*Convex*" Produce objetos de 8 lados.

4.4 OPERACIONES ARITMÉTICAS Y LÓGICAS

Estas operaciones permiten interactuar entre dos o más imágenes. Las operaciones se realizan directamente con los buffers de las imágenes correspondientes. Éstas son:

- **Transferencia:** Consiste en copiar una imagen de un buffer a otro.
- **Adición:** Permite adicionar dos imágenes pixel a pixel produciendo un efecto de doble exposición.
- **Sustracción:** Se restan dos imágenes pixel a pixel; se utiliza para remover ruidos y objetos de una imagen.
- **Multipliación:** Se multiplican dos imágenes fuentes, pixel a pixel, produciendo efectos de doble exposición con ganancias muy altas, para lo cual hay que atenuar el resultado final.
- **División:** Tiene casi el mismo efecto de la multiplicación y se utiliza para el mejoramiento de dos imágenes.
- **DIF:** Es una sustracción donde se toma el valor absoluto del resultado. Se emplea para detectar movimientos.
- **AND:** Con imágenes binarizadas se realiza operación lógica AND. Se utiliza para enmascarar porciones de una imagen con un tono oscuro.
- **OR:** Similarmente a la and, se utiliza para enmascarar porciones con un tono claro.
- **XOR:** Se usa para comparar dos imágenes similares.

4.5 OPERACIONES GEOMÉTRICAS

Son operaciones que permiten hacer alteraciones geométricas a una imagen o porción de ella. Las principales son:

- **Rotación:** Una porción de la imagen puede rotarse una determinada cantidad de grados en cualquier dirección.
- **Espejo:** Una porción de la imagen se puede girar en un eje horizontal o vertical.
- **Escalamiento:** Es un efecto "zoom", para aumentar el nivel de detalles de una porción de imagen.

-
- **Trasladar:** Los objetos se pueden mover de lugar dentro de la imagen.

4.6 ANÁLISIS FRECUENCIAL FFT

Es un algoritmo que permite transformar datos de una imagen espacial a una representación de frecuencias. Se representan como un espectro de energía, simétrica en su centro.

Se acude con frecuencia a la transformada rápida de Fourier, cuando en una imagen se tiene repetición de patrones que son representados por áreas luminosas en la pantalla y deben ser removidos para su análisis, o para hacer filtrados.

La repetición de patrones puede resultar de un ruido periódico en la señal de video y debe aislarse.

4.7 MEDICIONES

Al conocer las características de escalamiento del sistema óptico se pueden llevar las medidas a una escala real. El software posee mecanismos para calibrar las escalas al objeto real. De lo contrario, la información de medidas en las imágenes se dan en píxeles. Las mediciones se realizan generalmente en forma manual, o, cuando se pueden insertar puntos de marca de decisión, se calculan automáticamente. Las mediciones que se pueden realizar son: distancias entre dos puntos, mediciones a lo largo de un movimiento libre, medición a lo largo de un eje, medición de ángulos, etc. Posteriormente se tienen otras mediciones que se calculan automáticamente al detectar contornos de los objetos.

4.8 RECONOCIMIENTO DE PATRONES

Los patrones en imágenes son objetos que asocian una lista de características de identificación física, mas no tanto en lo referente a geometría óptica.

Ejemplo: los caracteres alfanuméricos son patrones que permiten identificar letras y números en un texto. Las características que los asocian a cada uno son su correspondiente forma. Pero, en la imagen de un texto, los correspondientes objetos asociados a estos patrones difieren en sus características ópticas físicas:

- La imagen de un patrón tiene un tamaño y el objeto real (carácter) tiene otro.
- El nivel de gris del patrón es medio pero el objeto es muy o poco contrastado.

- La posición del patrón es horizontal-vertical, mas el objeto real está en cualquier otro ángulo.
- Así sucesivamente, se pueden aumentar las diferencias y aproximaciones entre el objeto y el patrón correspondiente.

Las características típicas que definen un patrón son todos aquellos aspectos ópticos para control de calidad vistos anteriormente.

Para la clasificación, análisis y calificación de objetos de acuerdo con un patrón, el procedimiento es hacer un listado de características de este patrón con sus valores medios y luego se debe considerar la máxima desviación que esta característica puede tolerar sin que se considere fuera de su clasificación.

Algunos patrones tienen muy fácil asimilación característica, puesto que corresponden a figuras geométricas elementales, tales como círculos, rectángulos, elipses, etc. y, por consiguiente, la lista de características para identificarlos es muy corta y de fácil evaluación. Pero la situación empieza a cambiar cuando los patrones toman formas y geometrías diversas y sus características de clasificación son muchas. A veces se condicionan a otros parámetros y se llega al caso, en que ni el mismo ser humano es capaz de caracterizarlo y su clasificación sólo depende de la experiencia adquirida. Por ejemplo: leer manuscritos con tipos de letra poco legibles. Podemos tener el patrón de una botella de gaseosa limpia, en el cual hay una etiqueta comercial de su marca. La aplicación trata de comparar con este patrón otras botellas y caracterizar su limpieza. El caso se complica dado que, aunque la botella siempre viene en posición vertical, su ángulo de rotación es indefinido y el ángulo sobre el cual se observa es aleatorio y las imágenes posiblemente no van a tener nada en común que les permita considerarlas como las mismas o identificadas con un patrón. Otro aspecto es que no hay una imagen precisa que diga que todas las botellas sucias tienen tal patrón.

Los procesos computacionales para evaluar estas características se van volviendo costosos tanto en equipos, como en tiempo de cálculo. Es necesario entonces recurrir a métodos para optimización del proceso.

Se han desarrollado muchas filosofías de reconocimiento de patrones, pero las aplicaciones sólo se realizan para casos particulares y específicos.

Para la clasificación, análisis y calificación de objetos de acuerdo con un patrón, el procedimiento es hacer un listado de características de este patrón con sus valores medios y luego se debe considerar la máxima desviación que esta característica puede tolerar sin que se considere fuera de su clasificación.

Un método consiste en evaluar una cantidad de características de un objeto y luego esta lista se somete a comparación con la lista de características del patrón; al observar que están dentro de las tolerancias permitidas, se identifica el objeto con su patrón. Las partículas se seleccionan en forma general de acuerdo con un rango, entre un mínimo y un máximo nivel de gris; además, éstas se filtran por tamaño de acuerdo con el área entre área mínima y área máxima. Además, con cada partícula viene asociado un listado de características de ésta, las cuales se pueden configurar dependiendo del caso por analizar. Cada clase de partículas tiene un listado de características de las cuales se definen su valor principal, la desviación estándar y el peso. En forma automática, todas las características tienen un valor principal, desviación estándar cero y peso uno; pero, a medida que se realiza el proceso de entrenamiento para determinado grupo de partículas, estos valores se ajustan automáticamente a valores que les permiten cubrir las partículas que son seleccionadas.

El proceso de entrenamiento consiste en señalar las partículas que deben entrar a la clasificación y retirar las que han sido seleccionadas incorrectamente. El sistema va aprendiendo (ajustando características, desviación estándar, peso), hasta que una congruencia de características hace que el proceso de selección no se equivoque.

El procedimiento más moderno para el reconocimiento de patrones se efectúa por medio de evaluación de características con redes neuronales. En este caso, al sistema se le da una caracterización inicial y luego se entra a un proceso de entrenamiento del sistema, donde, por cada paso, se

estrechan más y más las características de desviación y sus pesos utilizando imágenes que manualmente ya han sido clasificadas.

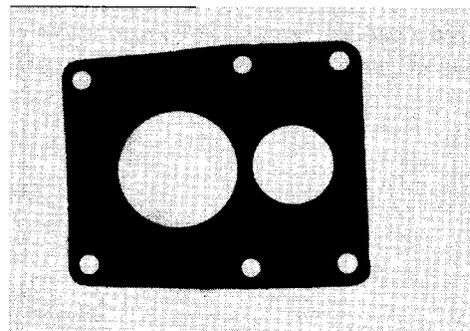
5. APLICACIÓN AL CONTROL DE CALIDAD EN LA INDUSTRIA METALMECÁNICA

En este campo el control de calidad consiste en la medición de piezas elaboradas. La realización de estas mediciones por medios ópticos y procesando imágenes se hace con mucha precisión y con relativa facilidad. A continuación se ilustra el procesamiento de la imagen de una pieza de soporte de rodamientos.

Se ha dispuesto de un laboratorio de procesamientos de imágenes con una plataforma computacional apoyada con:

- **Hardware** de adquisición y procesamiento de imágenes: DT-3851-4 de DATA TRANSLATION, cámara COHU, otros.
- **Software** de adquisición y procesamiento de imágenes: GLOBAL LAB Image de DATA TRANSLATION y GLOBAL LAB Image Development Environment de DATA TRANSLATION.

FIGURA 5.1
Imagen original



Dependiendo de la calidad de la imagen, es necesario hacer un preprocesamiento cuidadoso de ésta para que la imagen represente su mayor realidad. Naturalmente, este preprocesamiento tiene un costo en tiempo de procesado y posiblemente no se tenga precisión más exacta en su mejora. Por esto es recomendable que el sistema óptico en forma natural colabore con una excelente calidad de imágenes.

En imágenes que tienen forma tridimensional es crítica la posición de la cámara, para que los planos

de interés sean perpendiculares al eje de la cámara y así se eviten las sombras, las cuales producen perturbaciones y confusiones en la realidad de la imagen.

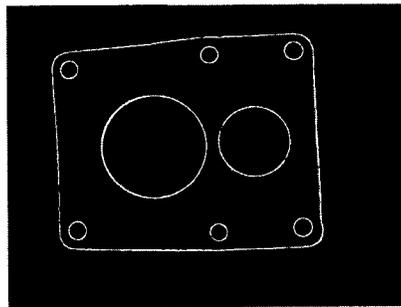
Otro aspecto crítico es la iluminación al objeto, para lo cual se debe evitar sombras y efectos de proyección; la distribución de la iluminación debe ser uniforme en todo el cuerpo.

Ahora se va a procesar esta imagen para extraer información relacionada al control de calidad con

sus perforaciones, tales como: ángulo, área, relación de ejes, coordenada X, coordenada Y, área de huecos, relación de huecos, eje mayor, eje menor, número de huecos, perímetro y redondez. Estas características son configuradas previamente a su clasificación.

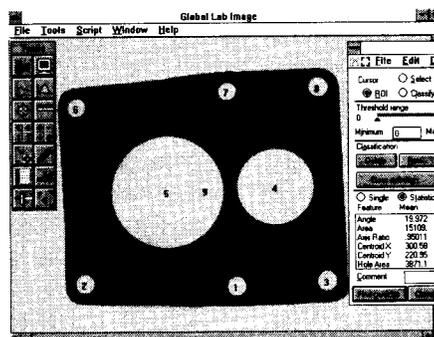
Después de un procesamiento de filtrado para depurarla y observar los perfiles de la pieza y de las perforaciones, se aplica un filtrado "sobel", con el cual se pueden ver perfectamente marcadas las líneas de frontera.

FIGURA 5.2
Filtro Sobel



Se observa que la imagen es precisa para seguirla trabajando. A la imagen original se le hace un procesamiento de detección de partículas, considerando que los bordes presentan un cambio brusco de brillante a oscuro; por eso se toma como nivel máximo de umbral un valor medio (128); además, se considera que las áreas de las partículas (huecos) están en un rango de 100 a 500000 píxeles.

FIGURA 5.3
Detección de partículas



Se puede observar que en la imagen se detectaron y clasificaron 9 partículas y cada una de ellas trae un listado de información, correspondiente a las características que han sido configuradas previamente.

Información evaluada por cada partícula "Blod" individual es:

Features	Angle	Area	Axis Ratio	Centroid X	Centroid Y	Hole Area
Blob#001	18.5534038543	574.000000000	.964790105819	334.857147216	360.606262207	.000000000000
Blob#002	58.9393539428	623.000000000	.985957920551	110.701446533	356.674163818	.000000000000
Blob#003	-19.509515762	667.000000000	.985294401645	468.631195068	353.623687744	.000000000000
Blob#004	-176.33354187	9888.000000000	.976213157176	392.419006347	217.160095214	.000000000000
Blob#005	-1.7779858112	21287.000000000	.974655807018	232.742889404	224.497680664	.000000000000
Blob#006	124.168861389	598.000000000	.944798290729	99.0484924316	101.446487426	.000000000000
Blob#007	-12.428429603	552.000000000	.936433374881	321.653991699	78.9800720214	.000000000000
Blob#008	10.0306444168	651.000000000	.949722886085	455.751159667	73.1274948120	.000000000000
Blob#009	178.110610961	101144.000000000	.833147704601	289.442169189	222.523422241	34840.000000000

	Hole Ratio	Major axis	Minor axis	No. of holes	Perimeter	Roundness
Blob#001	.000000000000	27.5302486419	26.5609111785	.000000000000	84.0642318725	1.000000000000
Blob#002	.000000000000	28.3695220947	27.9711551666	.000000000000	87.7062835693	1.000000000000
Blob#003	.000000000000	29.3664245605	28.9345741271	.000000000000	91.8589401245	.993328332901
Blob#004	.000000000000	113.564834594	110.863487243	.000000000000	352.696105957	.998888373374
Blob#005	.000000000000	166.759185791	162.532806396	.000000000000	518.468261718	.995130300521
Blob#006	.000000000000	28.3944721221	26.8270492553	.000000000000	86.3276596069	1.000000000000
Blob#007	.000000000000	27.4052448272	25.6631851196	.000000000000	84.4932937622	.971637845039
Blob#008	.000000000000	29.5502395629	28.0645389556	.000000000000	90.4720687866	.999451696872
Blob#009	.256206601858	445.408508300	371.091064453	8.00000000000	1443.07543945	.820577442646

Información estadística de estas características.

Features	Angle	Area	Axis Ratio	Centroid X	Centroid Y	Hole Area
Mean	19.9726001686	15109.3333333	.950112627612	300.583055284	220.959929572	3871.11111111
Min	-176.33354187	552.000000000	.833147704601	99.0484924316	73.1274948120	.000000000000
Max	178.110610961	101144.000000000	.985957920551	468.631195068	360.606262207	34840.000000000
Std Dev	93.7500278004	31142.3945914	.044619359476	126.388936912	111.477299548	10949.1556695

	Hole Ratio	Major axis	Minor axis	No. of holes	Perimeter	Roundness
Mean	28467400206	99.5942978329	89.8343079884	.888888888888	315.462476094	.975445999039
Min	.000000000000	27.4052448272	25.6631851196	.000000000000	84.0642318725	.820577442646
Max	.256206601858	445.408508300	371.091064453	8.00000000000	1443.07543945	1.000000000000
Std Dev	.080517966914	131.097402693	109.684073159	2.51415744421	425.048424689	.055418144559

Esta información puede ser suficiente para calificar las características de calidad requeridas para la pieza en mención y definir su aceptación o rechazo de acuerdo con las exigencias del usuario.

6. CONCLUSIONES

El tema de procesamiento de imágenes tiene una excelente aplicación en el espacio del control de calidad. Aquí se ha presentado como una herramienta de uso general, para una infinidad de aplicaciones en los procesos de inspección y medición.

Las aplicaciones de esta tecnología son innumerables; sólo basta tener la necesidad y un poco de imaginación y se pueden configurar muchas soluciones.

Algunas ideas y sugerencias para su aplicación, son:

6.1 INDUSTRIA TEXTIL

En la industria textil se tienen muchos aspectos donde se puede aplicar las técnicas de procesamiento de imágenes para hacer control de calidad. Ejemplo inspección hilos y tejidos, inspección de estampados, texturas y otros.

6.2 INDUSTRIA DE LAS CONFECCIONES TEXTILES

La confección industrial de prendas textiles se hace de acuerdo con patrones de partes que corresponde a tallas específicas. Con procesamiento de imágenes es posible inspeccionar las

formas y perímetros de cada una de las partes de una prenda y observar que sus características estén dentro de los rangos y tolerancias establecidas.

6.3 INDUSTRIA SIDERÚRGICA

En la industria siderúrgica se consideran muchas aplicaciones de procesamiento de imágenes. Ejemplos: Inspección de moldes y piezas fundidas, para garantizar que medidas están dentro de rangos permitidos. Análisis de los compuestos de la fundición por medio de análisis metalográficos con ayuda de microscopio y cámara de visión.

6.4 INDUSTRIA AGRÍCOLA

Con imágenes más irregulares, se pueden hacer aplicaciones de procesamiento, tales como la inspección de productos; por ejemplo: frutales, los cuales deben cumplir características de tamaño, uniformidad, colorido, detección de imperfectos, etc.

6.5 INDUSTRIA DEL CUERO

Las pieles de animales se caracterizan por su forma muy irregular en tamaño, forma, perforaciones, etc. Una excelente aplicación de estas herramientas es la configuración de un sistema que permita medir las áreas útiles de las pieles y calificar posiblemente su costo; además, se puede hacer control de calidad en cada una de las piezas en la industria de confecciones con cuero.

7. BIBLIOGRAFÍA

- Anderson, James and Rosenfed Edward. Neuro-computing. London: The MIT Press, 1988. 729 p.
- Chellappa, Rama, and Alexander A. Sawchuk. Digital Image Processing and Analysis. New York: IEEE Computer Society Press, 1985. 2 V.
- Dalsa Inc. CCD Image Sensors and Cameras. Canadá. 1993. 402 p.
- Data Translation. Fidelity 200 Series Software V03.01. Marlboro, 1993. 500 p.
- Data Translation. Global Lab Image, User Manual, SP0550. Marlboro, 1993.
- Data Translation, Global Lab Image Development Environment (GLIDE). Marlboro, 1993.
- González, R.C. Robótica: Control, Detección, Visión e Inteligencia. México: McGraw-Hill, 1989. 599 p.
- González, R.C, Digital Image Processing. Reading: Addison-Wesley, 1977.
- Grosky, Willian. A pyramid-based approach to Segmentation applied to region matching. IEEE transactions on Patern analysis and machine intelligence. vol8. No 5. p. 639-649.
- Juran, J.M., Planificación y análisis de la calidad. Barcelona: Reverte, 1977.
- Lindley, Craig A. Practical Image Processing, John Wiley and Sons, 1991. 554 p.
- Nozal, Luis. Arquitectura para procesamiento de imágenes: criterios estructurales de diseño. En: Mundo Electrónico. No 236. Marzo, 1993. p.42-48.
- Rodríguez, José. Técnicas de identificación de forma para un sistema de visión de un manipulador robótico. En: Taller Andino de Sistemas Expertos y Robótica. Universidad Eafit, Medellín, 1989. p. 1-15.
- Vicens, M.J, Albert . V., Arnau. V., Cerverón y G. Fabregat. Tratamiento digital de imágenes. En: Rev: Mundo Electrónico. No. 208. 1990. p. 67-76.