

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA



“Determinación de la Calidad de Granos de Arroz Pulido
Utilizando Algoritmos de Procesamiento Digital de Imágenes”

TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:

Bach. De La Cruz Morales, Yvan Guillermo
Bach. Tinoco Yamunaqué, Julio

ASESOR:

Ing. Martín Augusto Nombera Lossio

LAMBAYEQUE - PERÚ

2019

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

"DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE GRANOS DE ARROZ
PULIDO UTILIZANDO ALGORITMOS DE PROCESAMIENTO
DIGITAL DE IMÁGENES"

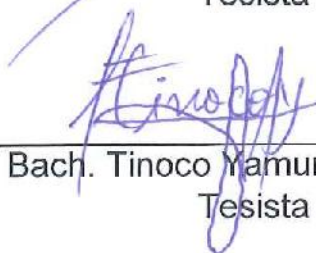
TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

PRESENTADO POR:



Bach. De La Cruz Morales, Yvan Guillermo
Tesisista



Bach. Tinoco Yamunaqué, Julio
Tesisista

ASESORADO POR:



Ing. Martin Augusto Nombera Lossio
Asesor

UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FÍSICAS Y MATEMÁTICAS
ESCUELA PROFESIONAL DE INGENIERÍA ELECTRÓNICA

"DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE GRANOS DE ARROZ
PULIDO UTILIZANDO ALGORITMOS DE PROCESAMIENTO
DIGITAL DE IMÁGENES"

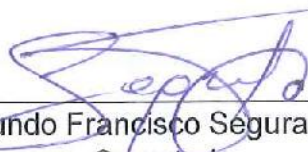
TESIS

PARA OPTAR EL TÍTULO PROFESIONAL DE
INGENIERO ELECTRÓNICO

APROBADO POR EL SIGUIENTE JURADO:



Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla
Presidente



Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano
Secretario



Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez
Vocal



UNIVERSIDAD NACIONAL PEDRO RUIZ GALLO
FACULTAD DE CIENCIAS FISICAS Y MATEMATICAS
DECANATO
Ciudad Universitaria - Lambayeque



ACTA DE SUSTENTACIÓN N° 069-2019-D/FACFyM

(Sustentación Autorizada por Resolución N° 1437-2019-D/FACFyM)

En la ciudad de Lambayeque, siendo las 11:30 AM del día 28 de Noviembre del 2019 se reunieron en Sala de Sustentaciones del Laboratorio de Ing. Electrónica los miembros del Jurado designados mediante Resolución N° 634-2018-D/FACFyM, los docentes:

Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla Presidente

Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano Secretario

Mg. Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez Vocal

Para recibir la tesis titulada:

Determinación de la Calidad de Granos de Amos Polido
utilizando Algoritmos de Procesamiento Digital de
Imágenes

desarrollada por los Bachilleres en Ingeniería Electrónica, **De La Cruz Morales Yvan Guillermo y Tinoco Yamunaque Julio.**


Después de escuchar la exposición y las respuestas a las preguntas formuladas por los miembros del Jurado, se acordó APROBAR el trabajo por UNANIMIDAD con el calificativo de REGULAR.

En consecuencia, los Bachilleres en referencia quedan aptos para recibir el Título Profesional de **Ingeniero Electrónico**, de acuerdo a la Ley Universitaria, el Estatuto y Reglamento de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo de Lambayeque.

Observaciones:

.....

Para constancia del hecho firman.


Ing. Hugo Javier Chiclayo Padilla
Presidente


Ing. Segundo Francisco Segura Altamirano
Secretario


Mg. Ing. Oscar Uchelly Romero Cortez
Vocal

DECLARACIÓN JURADA DE ORIGINALIDAD

Yo, Yvan Guillermo De La Cruz Morales, Julio Tinoco Yamunaqué investigadores y el Ing. Martín Augusto Nombera Lossio, Asesor del trabajo de investigación “Determinación de la Calidad de Granos de Arroz Pulido Utilizando Algoritmo de Procesamiento Digital de Imágenes” declaramos bajo juramento que este trabajo no ha sido plagiado, ni contiene datos falsos. En caso se demostrara lo contrario, asumo responsablemente la anulación de este informe y por ende el proceso administrativo a que hubiera lugar. Que puede conducir a la anulación del título o grado emitido como consecuencia de este informe.

Lambayeque, 9 de Setiembre del 2019

Investigadores: Yvan Guillermo De La Cruz Morales
Julio Tinoco Yamunaqué

Asesor: Ing. Martin Augusto Nombera Lossio

Dedicatoria

A DIOS

Por haberme permitido llegar hasta este punto y haberme dado salud, para lograr mis objetivos, además de su infinita bondad y amor.

A mi Padre Héctor De La Cruz Valeriano

Que desde el cielo guía mi camino aunque nos faltaron muchas cosas por vivir juntos, sé que estás conmigo siempre y además este momento es tan especial para tí como para mí.

A mi Madre Patrocinia Morales Juárez

Por apoyarme en todo momento, por sus consejos, sus valores, por la motivación y disciplina constante que me ha permitido ser una persona de bien, pero más que nada, por su infinito amor.

A mi Pueblo Batan Grande

Por ser la razón de mi superación para contribuir en su desarrollo sin perder la esencia el cual es un ideal por el que espero vivir.

Yvan Guillermo De La Cruz Morales.

A Jehová

Por ser mi padre celestial, el que me acompaña en todo momento, el que siempre me levanta de mis tropiezos ayudándome a aprender de mis experiencias y por ser el guía de mi vida.

A mis Padres

Por haberme forjado como una persona de bien, muchos de mis logros se los debo a ellos, incluyendo esté, agradecerles por sus consejos, enseñanzas y valores que me inculcaron, para siempre alcanzar mis objetivos. Por el infinito amor, que siento por ustedes, muchas gracias, Julio y Elena.

A mi Esposa e Hijas

Jenny, tú ayuda ha sido sumamente importante, has estado conmigo en los momentos más difíciles, motivándome día a día, para cumplir nuestros sueños. Te agradezco muchísimo amor.

A mis Hijas, que llenan de felicidad y orgullo por enseñarme a vivir dulcemente esta etapa de padre en sus alegrías y travesuras, por ser mi gran motivación para salir adelante y forjarles un mejor futuro. Las amo Jennifer, Mia y Jimena Juliette.

Julio Tinoco Yamunaqué.

Agradecimientos

Agradecemos de manera general a todos los ingenieros docentes de la Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica por su constante orientación, motivación y apoyo recibido y a todas las personas, amigos y familiares que de una u otra forma estuvieron dándonos los ánimos de poder sacar adelante este trabajo de investigación.

A todos y cada uno de ellos, muchas gracias.

Yvan Guillermo De La Cruz Morales.

Julio Tinoco Yamunaqué

Presentación

Señores Miembros del Jurado:

De conformidad a lo estipulado por el reglamento de Grados y Títulos de la Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo, Facultad de Ciencias Físicas y Matemáticas, Escuela Profesional de Ingeniería Electrónica, presentamos a vuestra consideración nuestra tesis titulada:

"DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE GRANOS DE ARROZ PULIDO UTILIZANDO ALGORITMOS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE IMÁGENES"

Con la finalidad de obtener el Título Profesional de Ingeniero Electrónico y esperando constituya una herramienta útil de consulta para quienes se interesen en este tipo de estudio.

Nuestra tesis se ha desarrollado de acuerdo al diagnóstico de las necesidades para el desarrollo de las competencias aplicadas al procesamiento digital de imágenes, aplicando los conocimientos adquiridos durante la carrera universitaria.

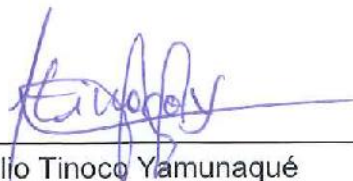
Esperamos haber cumplido y satisfecho las expectativas y que esta tesis sirva de referencia para el desarrollo de futuras investigaciones.

Lambayeque, 9 de Setiembre del 2019



Yvan Guillermo De La Cruz Morales

Bach. Ingeniería Electrónica



Julio Tinoco Yamunaqué

Bach. Ingeniería Electrónica

Contenido

DEDICATORIA	V
AGRADECIMIENTO	VI
PRESENTACION	VII
CONTENIDO	VIII
INDICE DE FIGURAS	XI
INDICE DE TABLAS	XIII
RESUMEN	XIV
ABSTRACT	XV
1. INTRODUCCIÓN	1
1.1. Aspecto Informativo	1
1.1.1. Título	1
1.1.2. Personal Investigador	1
1.1.3. Área de investigación	1
1.1.4. Lugar de ejecución	1
1.1.5. Duración	1
1.2. Aspecto de la investigación	2
1.2.1. Visión Artificial	2
1.2.2. Aplicaciones de la Visión Artificial	3
1.2.3. Descripción de la realidad	4
1.2.4. Antecedentes de la investigación	5
1.2.5. Formulación del problema científico	7
1.3. Objetivos	7
1.3.1. Objetivo general	7
1.3.2. Objetivos específicos	7
1.4. Hipótesis	7
1.5. Diseño y contrastación de la hipótesis	8
1.6. Justificación e importancia	8
1.7. Variables	9
1.7.1. Identificación de variables	9
1.8. Operacionalización de variables	10
2. MARCO TEÓRICO	11
2.1. Sistema de Visión Artificial	11
2.1.1. Adquisición de la Imagen	11
2.1.2. Digitalizador	13
	VIII

2.1.3. Sistema de Iluminación	14
2.1.4. Fuentes de Iluminación	28
2.2. Preprocesamiento de la Imagen	29
2.2.1. Conversión a escala de grises	29
2.2.2. Filtrado Espacial	30
2.2.3. Filtro Pasa Bajo	30
2.2.4. Filtro de Mediana	31
2.3. Segmentación de la Imagen.	32
2.3.1. Segmentación Basada en Píxeles	32
2.3.2. Operaciones Morfológicas	34
2.3.3. Etiquetado	37
2.3.4. Filtro de Tamaño	39
2.4. Descripción	40
2.5. Reconocimiento	40
3. DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA	41
3.1. Descripción del Sistema	41
3.1.1. Adquisición de la imagen	41
3.1.2. Pre-procesado de la imagen	43
3.1.3. Segmentación de la imagen	47
3.1.4. Extracción de características	47
3.1.5. Discriminación de objetos	49
3.1.6. Implementación de la interfaz gráfica de usuario	51
4. RESULTADOS	52
4.1. Prueba de tiempos	52
4.2. Prueba de porcentaje de error	52
5. CONCLUSIONES Y RECOMENDACIONES	54
5.1. Conclusiones	54
5.2. Recomendaciones	55

BIBLIOGRAFÍA	58
ANEXOS	58
A. NTP 205.011 (Cereales y Menestras)	58
B. Códigos en MATLAB	66

Índice de figuras

2.1. CCD tipo IT	12
2.2. CCD tipo ITF	13
2.3. Espectro Electromagnético	15
2.4. División del rayo de luz	16
2.5. Sensibilidad espectral de un sensor CCD típico	21
2.6. Distribución espectral de varias fuente de luz	21
2.7. Patrón Anular de una inspección de válvulas para farmacia	22
2.8. Patrón de luz hemisférico	23
2.9. Retroiluminación Difusa	25
2.10. Iluminación Frontal	26
2.11. Iluminación Direccional	27
2.12. Iluminación Estructurada	28
2.13. Componentes RGB de una Imagen	29
2.14. Entorno 3x3	31
2.15. Histograma de la Imagen de una botella	33
2.16. Segmentación de la Imagen de una botella	34
2.17. Ejemplos de dilatación	36
2.18. Ejemplos de erosión	37
2.19. Etiquetado	38
2.20. Etiquetado erróneamente	39
2.21. Filtrado de Área T=6	40
3.1. Diagrama de bloques de la solución planteada	41
3.2. Imagen de granos de arroz pulido con fondo blanco	42
3.3 Imagen de granos de arroz pulido con fondo negro	43
3.4 Imagen binarizada con umbral obtenido con el método Otsu	44

3.5. Imagen binarizada en donde se eliminó el ruido por completo	45
3.6. Imagen RGB en donde se eliminó el ruido en el fondo negro	46
3.7. Imagen RGB en donde se eliminó el ruido en el fondo blanco	46
3.8. Granos de arroz segmentados y etiquetados	47
3.9. Granos de arroz con su distancia máxima trazada	48
3.10 Granos de arroz con área defectuosa	49
3.11. Granos de arroz discriminados según su clase	50
3.12. Granos de arroz discriminados según su tu tipo de defecto	50
3.13. Interfaz gráfica de usuario del software	51

Índice de tablas

1.1. Cuadro de operacionalización de variables	10
1.2. Variable independiente	10
1.3. Variable dependiente	10
3.1. Clase de granos de arroz pilado	49
4.1 Resultados de la prueba de tiempos	52
4.2. Resultados del porcentaje de error su clase	52
4.3. Resultados del porcentaje de error su tipo de defecto	53

Resumen

El presente trabajo tiene como objetivo principal determinar la calidad de granos de arroz pulido a través de un algoritmo que detectó los granos de arroz en una imagen digital, donde se clasificó según su clase como tamaño pequeño, mediano y largo, así como el tipo de defecto del grano de arroz como normal, tizoso parcial o tizoso total; para ello se utilizaron técnicas de procesamiento digital de imágenes tales como filtros suavizantes, binarización, segmentación, etiquetado y el uso de operadores morfológicos, cambios a otros espacios de color entre otras. El estudio de la investigación se basó en un programa realizado con MATLAB que permitió comprobar la eficiencia de los algoritmos realizados para la verificación en la reducción de tiempo de contabilización de granos de arroz y el proceso de discriminación según su clase y tipo de defecto. Los resultados que se obtuvieron luego del experimento mostraron una reducción significativa del tiempo y del margen de error en el conteo de granos de arroz así como en la discriminación, en función a su clase y tipo de defecto; todo esto gracias a las características morfológicas de los granos de arroz. Finalmente se concluye que a través de los algoritmos de procesamiento digital de imágenes permitió reducir el ruido de las imágenes, además resaltó las características morfológicas de los granos facilitando la obtención de información para su interpretación, además permitió reducir el tiempo y el margen de error frente a los métodos tradicionales empleados en la selección de granos de arroz.

Palabras Clave: MATLAB, procesamiento digital de imágenes, calidad.

Abstract

The present work has as main objective to determine the quality of polished rice grains through an algorithm that detected the rice grains in a digital image, where it was classified according to its class as small, medium and long size, as well as the type of defect of the rice grain as normal, partial tizoso or total tizoso; for this, digital image processing techniques such as softening filters, binarization, segmentation, labeling and the use of morphological operators, changes to other color spaces, among others, will be used. The study of the investigation was based on a program carried out with MATLAB that allowed to verify the efficiency of the algorithms carried out for the verification in the reduction of time of counting of rice grains and the process of discrimination according to their class and type of defect. The results obtained after the experiment showed a significant reduction in time and margin of error in the rice grain count as well as in discrimination, depending on its class and type of defect; All this thanks to the morphological characteristics of rice grains. Finally, it is concluded that through the digital image processing algorithms, it allowed to reduce the noise of the images, also highlighted the morphological characteristics of the grains, facilitating the obtaining of information for its interpretation, also allowed to reduce the time and the margin of error against to the traditional methods used in the selection of rice grains.

.
.

Keywords: MATLAB, digital image processing, quality.

Capítulo 1

INTRODUCCIÓN

1.1. Aspecto Informativo

1.1.1. Título

DETERMINACIÓN DE LA CALIDAD DE GRANOS DE ARROZ PULIDO
UTILIZANDO ALGORITMOS DE PROCESAMIENTO DIGITAL DE
IMÁGENES.

1.1.2. Personal Investigador

Yvan Guillermo De La Cruz Morales.
Julio Tinoco Yamunaqué.

1.1.3. Área de investigación

Ingeniería Electrónica – Procesamiento Digital de Señales

1.1.4. Lugar de ejecución

Universidad Nacional Pedro Ruiz Gallo

1.1.5. Duración

4 meses.

1.2. Aspecto de la investigación

1.2.1. Visión Artificial

Conocida como "Visión por Computadora", es un campo de la "Inteligencia Artificial", conjunto de todas aquellas técnicas y modelos que nos permiten la adquisición, procesamiento, análisis y explicación de cualquier tipo de información espacial del mundo real obtenida a través de imágenes digitales. El propósito de la visión artificial es programar un computador que "entienda" una escena o características de una imagen. (Copeland, 1996)

Las estructuras y propiedades del mundo tridimensional que queremos deducir en visión artificial incluyen no sólo sus propiedades geométricas, sino también sus propiedades materiales. Ejemplos de propiedades geométricas son la forma, tamaño y localización de los objetos. Ejemplos de propiedades de los materiales son su color, iluminación, textura y composición. Si el mundo se modifica en el proceso de formación de la imagen, necesitaremos inferir también la naturaleza del cambio, e incluso predecir el futuro. (S.A.B.I.A, 2010)

La entrada a un sistema de visión artificial es una imagen obtenida por un elemento de adquisición, mientras que su salida es una descripción de la escena, la cual ha sido obtenida a partir de la imagen. Por un lado, esta descripción debe estar relacionada de algún modo con aquella realidad que produce la imagen y, por el otro, debe contener toda la información requerida para la tarea de interacción con el medio ambiente que se desea llevar a cabo, por ejemplo mediante un robot. (Malpartida, 2003)

Con la visión artificial se puede realizar:

- Automatizar tareas repetitivas de inspección realizadas por operadores.
- Realizar controles de calidad de productos que no era posible verificar por métodos tradicionales.
- Realizar inspecciones de objetos sin contacto físico.
- Reducir el tiempo de ciclo en procesos automatizados.
- Realizar inspecciones en procesos donde existe diversidad de piezas con cambios frecuentes de producción.

1.2.2. Aplicaciones de la Visión Artificial

El amplio espectro de aplicaciones cubierto por la visión artificial, se debe a que permite extraer y analizar información espectral, espacial y temporal de los distintos objetos.

La información espectral incluye frecuencia (color) e intensidad (tonos de gris). La información espacial se refiere a aspectos como forma y posición (una, dos y tres dimensiones). La información temporal comprende aspectos estacionarios (presencia y/o ausencia) y dependientes del tiempo (eventos, movimientos, procesos). (Aguinaga Barragán, 2007)

La mayoría de las aplicaciones de la visión artificial podemos clasificarlas por el tipo de tarea, entre las que mencionaremos a continuación:

- La medición o calibración; se refiere a la correlación cuantitativa con los datos del diseño, asegurando que las mediciones cumplan con las especificaciones del diseño. Por ejemplo, el comprobar que un cable tenga el espesor recomendado.
- La detección de fallas; es un análisis cualitativo que involucra la detección de defectos o artefactos no deseados, con forma desconocida en una posición desconocida. Por ejemplo, encontrar defectos en la pintura de un auto nuevo, o agujeros en hojas de papel.
- La verificación; es el chequeo cualitativo de que una operación de ensamblaje ha sido llevada a cabo correctamente. Por ejemplo, que no falte ninguna tecla en un teclado, o que no falten componentes en un circuito impreso.
- El reconocimiento; involucra la identificación de un objeto con base en descriptores asociados con el objeto. Por ejemplo, la clasificación de cítricos (limones, naranjas, mandarinas, etc.) por color y tamaño.
- La identificación; es el proceso de identificar un objeto por el uso de símbolos en el mismo. Por ejemplo, el código de barras, o códigos de perforaciones empleados para distinguir hule de espuma de asientos automotrices.
- El análisis de localización; es la evaluación de la posición de un objeto. Por ejemplo, determinar la posición donde debe insertarse un circuito integrado.

1.2.3. Descripción de la realidad

A través de los años, la producción nacional muestra un crecimiento favorable y muestra una evolución positiva a lo largo de los últimos 62 meses en casi todos los sectores, parte de este crecimiento se encuentra en el sector agropecuario. La producción de arroz es una de las actividades más importantes dentro de este sector y es el producto que más aporta al PBI Agropecuario y Agrícola. Se encuentra entre los principales cultivos del Perú, con una superficie total sembrada de 387,677 hectáreas (campaña agrícola 2011-2012) y genera 162,300 empleos anuales permanentes, la mayor cantidad en este sector. (INEI, 2014)

El arroz es el segundo cereal más producido en el mundo. Este se produce con muchos otros propósitos distintos al del consumo humano como la producción de bebidas y el consumo animal. La producción mundial va en aumento y a través de los últimos años se puede observar un crecimiento continuo. El continente con mayor producción de granos de arroz es el Asiático con un poco más del 90 % de la producción mundial. Se considera un alimento básico en la cocina oriental. (FAO, 2019)

1.2.4. Antecedentes de la investigación

1.2.4.1. Antecedente Nacional

Título: **Sistema Automático de Diagnóstico de Parásitos Intestinales a través de Imágenes Digitales**

Autores: César Armando Beltrán Castañón

Lugar: LIMA – PERÚ

Resumen:

En esta investigación se desarrolló un modelo computacional que permite de forma automática la detección, caracterización y diagnóstico de la especie de huevos de parásito que se encuentra en una muestra fecal, a través del reconocimiento de formas a partir de imágenes digitales.

Para la detección de los huevos de helmintos, aplicó la técnica de regiones salientes con el fin de permitir la segmentación de imágenes; utilizó, además, la técnica multithresholding-kmeans para la diferenciación entre los huevos y las impurezas de las muestras.

El reconocimiento de patrones se basó en características geométricas, morfológicas y de textura, habiendo conseguido un vector que contiene solo 8 características.

La caracterización de los objetos de interés comprende la extracción de características geométricas, morfológicas y de textura, habiendo conseguido conformar un vector que contiene solo 8 características que lograban describir correctamente a los 8 distintos tipos de huevos de Helmintos.

En el proceso de clasificación, se aplicó técnicas de aprendizaje supervisado, habiendo experimentado con clasificadores bayesianos (obteniendo un 93 % de acierto) y con Support Vector Machine (94 % de acierto). El software fue implementado en una plataforma web que permite realizar diagnósticos en tiempo real y obteniendo el resultado de manera automática.

Los resultados obtenidos llegaron a un 92 % de asertividad, una tasa muy alta. En cambio el promedio de asertividad de un experto humano es del 70%. Los equipos y dispositivos empleados fueron: una computadora, un microscopio y la creación de una interfaz que permitiera la comunicación entre ambos.

1.2.4.2. Antecedente Internacional

Título: **Desarrollo de un Sistema de Visión Artificial para el Control de Calidad del Mango de Azúcar de Exportación”**

Autores: Pedro Sandino Atencio Ortiz

Lugar: Colombia

Resumen:

En esta investigación, se propone un método para la estimación de la cantidad de área dañada en la cascara del mango Manila, utilizando operadores morfológicos sobre las imágenes del mismo. Este daño se cuantifica y se usa para determinar a qué clase corresponde el mango analizado.

Se desarrolló un sistema de visión por computadora que aplica la metodología propuesta de manera automática y que con las adecuaciones necesarias puede ser útil en el proceso de control de calidad de este fruto en la industria.

Título: Sistema de visión artificial para el control de calidad en piezas cromadas

Autores: Víctor Vargas Baeza

Lugar: Distrito Federal - MEXICO

Resumen:

Este trabajo plantea el desarrollo de un sistema en tiempo real, para la inspección visual automática de piezas con recubrimiento de cromo. El cual permite una inspección al 100% de las piezas de manera confiable, acelerando el tiempo empleado en la verificación visual de los defectos; disminuyendo la posibilidad de errores humanos y los costos que conllevan una entrega de producto en malas condiciones.

La integración del sistema se encuentra basada en el uso del software LabVIEW, el cual mediante una tarjeta de adquisición de datos, realiza la comunicación entre las etapas de percepción y actuación del sistema.

La etapa de percepción, está constituida por una cámara CCD marca DVT de barrido progresivo y la etapa de actuación, se realiza utilizando un robot manipulador de 6 grados de libertad marca ABB.

La adquisición y procesamiento digital de imágenes se desarrolla con el módulo vision assistant de National Instruments.

La adquisición de la imagen, se desarrolla mediante la ejecución de un evento definido por el usuario, el cual ayuda a optimizar recursos de la estación de trabajo (PC).

El procesamiento de imágenes hace uso de una imagen en escala de grises, para aumentar la velocidad en el procesamiento, en tanto que el reconocimiento de patrones se realiza utilizando plantillas de patrón geométrico. Adicionalmente, el sistema es capaz de generar un reporte de las piezas encontradas con defectos, en MS-Excel.

1.2.5. Formulación del problema científico

¿Es posible determinar la calidad de granos de arroz pulido utilizando algoritmos de procesamiento digital de imágenes?

1.3. Objetivos

1.3.1. Objetivo general

Determinar la calidad de los granos de arroz pulido utilizando procesamiento digital de imágenes.

1.3.2. Objetivos específicos

- Estudiar los conceptos teóricos implicados en el procesamiento de imagen así como su correcta implementación a nivel computacional.
- Implementar un algoritmo que permita reducir el ruido en las imágenes digitales y resaltar las características de los granos de arroz pulido para una mejor interpretación de datos.
- Implementar un algoritmo que permita determinar el número total de granos utilizando procesamiento digital de imágenes.
- Implementar un algoritmo que pueda discriminar los granos arroz pulido en función a su tamaño y a su tipo de defecto utilizando procesamiento digital de imágenes.

1.4. Hipótesis

Si se implementa algoritmos de procesamiento digital de imágenes para la captura, procesamiento y análisis de los granos de arroz pulido, entonces se logrará determinar la calidad del producto.

1.5. Diseño y contrastación de la hipótesis

Para lograr los objetivos de la investigación se realizarán las siguientes actividades:

- Realizar un algoritmo basado en procesamiento digital de imágenes que permita reducir el tiempo en el conteo de los granos de arroz pulido.
- Realizar un algoritmo basado en procesamiento digital de imágenes que permita reducir el tiempo en la discriminación de los granos de arroz pulido según su clase.
- Realizar un algoritmo basado en procesamiento digital de imágenes que permita reducir el tiempo en la discriminación de los granos de arroz pulido según su tipo de defecto.
- Realizar un algoritmo basado en procesamiento digital de imágenes que permita reducir el margen de error en la medición de longitud de los granos de arroz pulido.
- Realizar un algoritmo que sea capaz de no limitarse a la variedad de arroz, por el contrario puede describir muchas características.
- Realizar una observación con el método manual y luego otra observación con el estímulo para comparar el tiempo de conteo y discriminación de los granos de arroz por clase y por el tipo de defecto.
- Determinar su margen de error en la medición según el método utilizando algoritmo de procesamiento digital de imágenes y el método convencional de medición.

1.6. Justificación e importancia

Actualmente para determinar la calidad de granos de arroz pulido, su distribución porcentual en función a su clase y tipo de defecto en una muestra, se usa un método manual que consiste en un proceso repetitivo y tedioso para el personal, ya que se mide con un vernier el tamaño de todos los granos para determinar su tamaño y su posterior clasificación, del mismo modo a través de un método simple de separación determinar si los granos tienen algún defecto.

Este proceso como toda actividad humana está expuesta a cometer errores, a esto se le suma el cansancio visual provocado por la cantidad de granos que debe medir incrementando aún más la probabilidad de cometer errores en este proceso.

Estas razones son las que motivan diseñar e implementar un algoritmo con una aplicación concreta que determina la calidad de granos de arroz pulido en una imagen digital, los discrimina en función a su clase (grano largo, mediano o corto) y tipo de defecto (grano normal, tizoso total o tizoso parcial). El mismo que no dependerá de la experiencia ni de la capacitación de algún personal. Por su facilidad de uso y amigable diseño.

Se reducirá el tiempo y el margen de error en las mediciones en comparación con el método convencional que por ser un método manual demanda demasiado tiempo y como toda actividad humana está sujeto a una probabilidad de error.

A través del procesamiento digital de imágenes se reducirá el ruido en las mismas, resaltar características relevantes, realizar conteos, determinar características morfológicas y facilitar la interpretación de los datos.

El algoritmo desarrollado ofrecerá apoyo a todas las personas que les resulta importante tener conocimiento sobre las características morfológicas de los granos de arroz pulido, como productores nacionales que no cuentan con avanzada tecnología e institutos de investigación que realizan esta caracterización morfológica de manera manual.

1.7. Variables

1.7.1. Identificación de variables

Variable 1: Algoritmos de procesamiento digital de imágenes.

Variable 2: Determinación de la calidad de arroz pulido.

Tabla 1.1: Cuadro de operacionalización de variables

Variables	Dimensiones	Indicadores	Instrumento
X: Algoritmos de procesamiento digital de imágenes	<p>Algoritmo para resaltar las características relevantes.</p> <p>Algoritmo para discriminar los granos de arroz pulido según su clase.</p> <p>Algoritmo para discriminar los granos de arroz pulido según su tipo de defecto.</p>	El tiempo de procesamiento de los algoritmos.	Software de Simulación.
Y: Determinación de la calidad de arroz pulido	Mostrar la clase y el tipo de defecto en los granos de arroz pulido.	Muestra áreas, tamaño y color defectuosas de los granos de arroz pulido	Software de Simulación.

1.8. Operacionalización de variables

Tabla 1.2: Variable independiente

Variable independiente	Conceptualización	Dimensión	Indicadores	Sub indicadores	Técnicas e Instrumentos
Algoritmos de procesamiento digital de imágenes	Técnicas de programación computacional utilizando procesamiento digital de imágenes	Software	Algoritmos de programación	Captura de imágenes, procesa y salidas de los resultados	MATLAB

Tabla 1.3: Variable dependiente

Variable dependiente	Conceptualización	Dimensión	Indicadores	Técnicas e Instrumentos
Determinación de la calidad de arroz pulido	Control de calidad de productos que cumplen los estándares del comercio.	Contribución en la experimentación	Diagnóstico de las necesidades	Evaluación
			Validación de la solución	Informe

Capítulo 2

MARCO TEÓRICO

2.1. Sistema de Visión Artificial

En un sistema de visión artificial se incluyen diversas técnicas, tales como el procesamiento de imágenes (captura, transformación, codificación de imágenes) o como el reconocimiento de formas (teoría estadística de decisiones, enfoques sintácticos y neuronales aplicados a la clasificación de patrones). En este tipo de sistemas, además se incluyen técnicas de modelado geométrico y procesos de conocimiento. En vista a. esto, en este capítulo se trata de describir las etapas a considerar en el sistema de visión a implementar. (Malpartida, 2003)

2.1.1 Adquisición de la Imagen

El sistema permite la captura y/o adquisición de la imagen está formada por los siguientes elementos:

2.1.1.1 Cámara

Es el dispositivo encargado de transformar las señales luminosas que aparecen en la escena, en señales analógicas capaces de ser transmitidas por un cable coaxial. Se divide en dos partes, el sensor, que captura las propiedades del objeto en forma de señales luminosas y lo transforma en señales analógicas, y la óptica que se encarga de proyectar los elementos adecuados de la escena ajustando una distancia focal adecuada.

Los sensores de visión usados más recientemente son los basados en matrices de dispositivos acoplados por carga CCD; estos transductores proporcionan una señal con amplitud proporcional a la luminosidad de la escena y realizan una digitalización espacial completa en dos dimensiones (líneas y columnas), pues descomponen la imagen en una matriz de puntos. (Navarrete, 2014)

La codificación de la brillantez de cada elemento de imagen o pixel, obtenido de la digitalización espacial, se hace generalmente en 8 bits, mientras que la resolución de la discretización espacial de una imagen puede ser por ejemplo de 320x240 pixeles.

La tecnología CCD interline transfer (IT) y frame interline transfer (FIT) identifica el tipo de CCD, cada uno de ellos tiene aspectos positivos y negativos. En la práctica el fabricante tiene optimizado el diseño y el tipo de CCD usado raramente determina el funcionamiento completo de la cámara. (CEDE, 2001)

- **CCD tipo IT:**

La tecnología IT (interline transfer) tiene registros separados, protegidos de la luz con una máscara de aluminio opaco ópticamente, como se observa en la figura 2.1. Las cargas proporcionales al contenido de la escena se acumulan en cada elemento del arreglo del sensor. Durante el intervalo vertical, los paquetes de carga son desplazados al arreglo de almacenamiento adyacente. Luego, los elementos del sensor ahora vacíos, capturan el próximo campo mientras la información del arreglo de almacenamiento se transmite fuera para formar la señal de video de salida. (Malpartida, 2003)

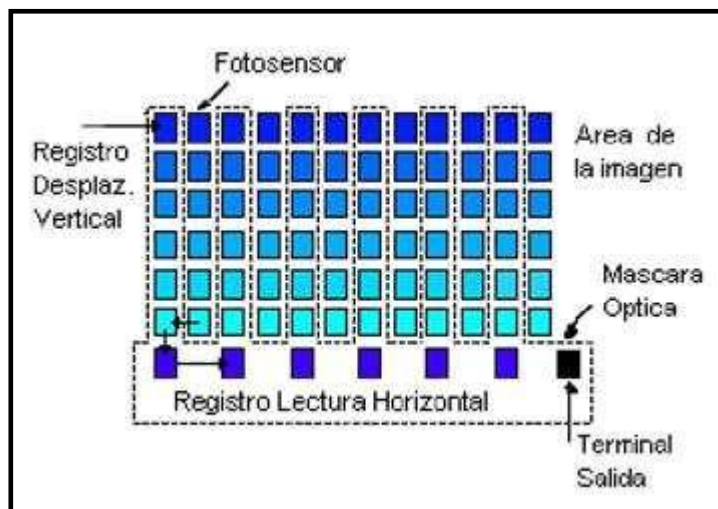


Figura 2.1 CCD tipo IT.

- **CCD tipo FIT:**

La parte superior de este dispositivo opera como un CCD IT. Sin embargo las cargas son rápidamente desplazadas desde el registro de almacenamiento interline al registro de almacenamiento protegido totalmente. Los paquetes de carga son mantenidos en el registro interline solo por un corto tiempo. (Madrid, 2019)

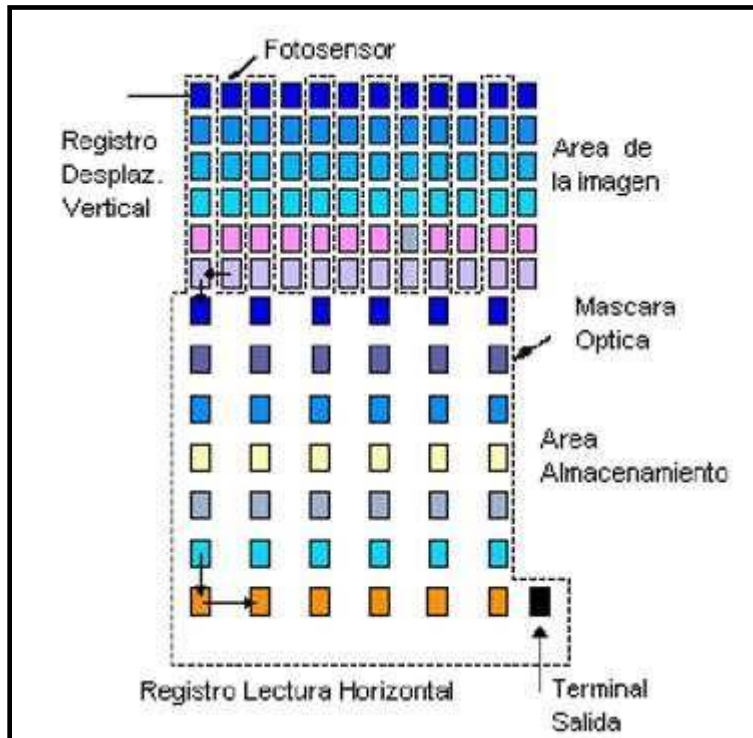


Figura 2.2 CCD tipo ITF.

2.1.2 Digitalizador

El digitalizador (frame grabber), es el encargado de transformar la señal de vídeo, cualquiera que sea el formato utilizado (NTSC, PAL), en una señal digital capaz de ser capturada, almacenada en memoria y procesada por una computadora. Las principales características de las tarjetas digitalizadoras son precio, controlabilidad, resolución, velocidad y almacenaje, en el sentido de si los algoritmos de visión pueden tener acceso rápido y fácilmente a los datos.

Existen tarjetas que proporcionan sus propios buffers de memoria y otras que utilizan la memoria del ordenador (vía DMA). Muchas de ellas permiten un preprocesamiento previo de las imágenes, donde el número de tareas implementadas en hardware es muy variable.

La resolución de las tarjetas digitalizadoras y la de las cámaras (sensor) no tiene por qué coincidir. Por lo tanto, es importante (sobre todo cuando se emplean técnicas de medición) saber que ocurre con los puntos que faltan o sobran.

2.1.3 Sistema de Iluminación

La iluminación juega un papel vital dentro de cualquier sistema de visión artificial ya que proporciona las condiciones ópticas bajo las cuales se lleva a cabo la adquisición de la imagen. No obstante, a pesar de su enorme trascendencia, la selección de un buen medio de iluminación suele ser una de las áreas más frecuentemente descuidadas. (Fuente, 2017)

La aplicación de una iluminación adecuada a la naturaleza del objeto a inspeccionar y a sus condiciones ambientales, será determinante en el éxito de una aplicación de inspección automática. Un enfoque para un sistema de inspección que no preste suficiente atención a la iluminación supondrá una mayor complicación en el análisis e interpretación de la imagen captada. La iluminación es, por tanto, un factor que afecta radicalmente a la complejidad de los algoritmos de visión y a la fiabilidad del sistema. Es indiscutible que el éxito de una aplicación industrial depende tanto del diseño de la iluminación como del procesamiento de imagen. (Fuente, 2017)

2.1.3.1 La luz

El comprender el comportamiento físico de la luz es importante ya que los datos de una imagen en sí no son más que la distribución espacial de la luz de una escena. El principio de cómo la información se transfiere de un objeto a un sensor se basa en cómo interactúan los fotones con el material del objeto observado. Si el objeto modifica la luz entrante de manera que los rayos salientes sean diferentes de los rayos incidentes, entonces se dice que el objeto origina contraste. Éste es el principio básico de todos los sistemas de visión ya sean biológicos o artificiales. Si el objeto no modifica el rayo de luz incidente de una manera apreciable, entonces dicho objeto no es visible. (Fuente, 2017)

La luz es la radiación electromagnética que estimula nuestra respuesta visual. Se expresa como una distribución de energía espectral, donde es la longitud de onda perteneciente al espectro electromagnético visible (de 380 nm a 770 nm). La luz que se recibe desde un objeto opaco puede ser escrita como:

$I(\lambda) = R(\lambda) * L(\lambda)$	Ecuación 2.1
--	--------------

Dónde:

- $R(\lambda)$: Factor de reflexión del objeto
- $L(\lambda)$: Distribución de energía incidente

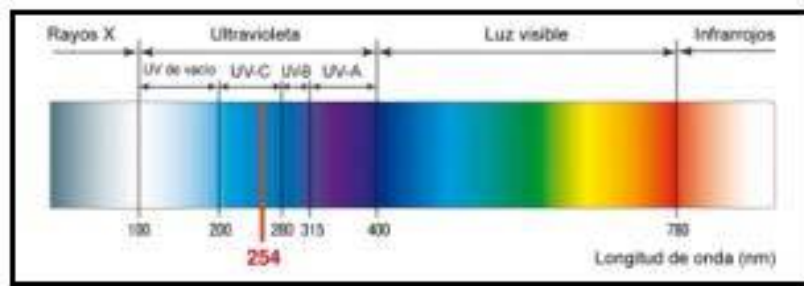


Figura 2.3 Espectro electromagnético

El diseñador de un sistema de visión dispone de gran cantidad de tecnologías en cuanto a fuentes de iluminación que puede emplear bajo distintas configuraciones. El objetivo va a ser siempre optar por aquella solución que aumente al máximo el contraste en la imagen obtenida, de forma que las características del objeto a inspeccionar sean más fácilmente identificables. Este contraste se detecta al ser reflejada la luz desde la superficie de los objetos y por tanto, a la hora de elegir de un sistema de iluminación, es fundamental saber que al iluminar hay una parte de la luz que es absorbida y otra parte que es reflejada o transmitida y esta la que constituye la entrada al sistema de visión. (Fuente, 2017)

Cuando la luz encuentra un obstáculo en su camino choca contra la superficie de este y una parte es reflejada. Si el cuerpo es opaco el resto de la luz será absorbida. Si es transparente una parte será absorbida como en el caso anterior y el resto atravesará el cuerpo transmitiéndose. Así, podemos considerar tres fenómenos:

- Reflexión
- Absorción
- Transmisión



Figura 2.4 División del rayo de luz

- **Reflexión:**

La reflexión de la luz se produce cuando esta choca contra la superficie de separación de dos medios diferentes ya sean gases, líquidos o sólidos y está regida por la ley de la reflexión. La dirección en que sale reflejada la luz viene determinada por el tipo de superficie. Si es una superficie brillante o pulida se produce la reflexión regular en que toda la luz se refleja en una única dirección. Si la superficie es mate la luz se dispersa en todas direcciones y se conoce como reflexión difusa como ocurre por ejemplo en una hoja de papel no satinado. Y, por último, está el caso intermedio, la reflexión mixta, en que predomina una dirección sobre las demás. Este tipo de reflexión aparece en superficies metálicas sin pulir, barnices, papel satinado, etc. (García, 2016)

El factor de reflexión de una superficie se da como el cociente de la Luz reflejada entre la radiación del incidente:

$\text{Factor de Reflexión} = \frac{\text{Luz Reflejada}}{\text{Luz Incidente}}$	Ecuación 2.2
--	--------------

El factor de reflexión es un número entre cero y uno, aunque se presenta a veces como un porcentaje.

- **Absorción:**

Cuando la luz choca con un objeto opaco, una parte de la luz que incide es absorbida por la superficie y otra reflejada. Las longitudes de onda que son reflejadas son las que determinan el color que percibimos. La absorción del material se expresa como el cociente de la luz absorbida con la radiación del incidente:

<i>Factor de Absorción:</i> $\frac{\text{Luz Absorbida}}{\text{Luz Incidente}}$	Ecuación 2.3
---	--------------

El factor de absorción es también un número entre cero y uno, y se da a veces como porcentaje. Un material con alta absorción, tal como un pedazo de filtro negro tendrá valores próximos a uno. (García, 2016)

La absorción es un proceso muy ligado al color. Las longitudes de onda que son reflejadas son las que determinan el color que percibimos. En los extremos, si el cuerpo la refleja toda aparece como blanco y si las absorbe todas como negro. Un objeto es rojo porque refleja longitudes de onda en torno al rojo y absorbe todas las demás. Si se ilumina el mismo objeto con luz azul lo veremos negro porque el cuerpo absorbe esta componente y no refleja ninguna. (ECURED, 2016)

COLOR	LONGITUDES DE ONDA (nm)
Violeta	380 – 435
Azul	435 – 495
Verde	495 – 565
Amarillo	565 – 590
Naranja	590 – 625
Rojo	625 – 780

Tabla 2.1 Longitud de onda reflejada del color

- Transmisión:

La transmisión se puede considerar una doble refracción. Si pensamos en un cristal; la luz sufre una primera refracción al pasar del aire al vidrio, sigue su camino y vuelve a refractarse al pasar de nuevo al aire. Si después de este proceso el rayo de luz no es desviado de su trayectoria se dice que la transmisión es regular como pasa en los vidrios transparentes. Si se difunde en todas direcciones tenemos la transmisión difusa que es lo que pasa en los vidrios translúcidos.

Este fenómeno se presenta en materiales que son transparentes, translúcidos, u opacos con los agujeros físicos. En estos tipos de materiales, una cierta cantidad de radiación del incidente (I) que llega a una superficie será transmitida a través del material. El factor de transmisión del material se representa como el cociente de la luz transmitida con la radiación del incidente. (García, 2016)

$\text{Factor de Transmisión} = \frac{\text{Luz Transmitida}}{\text{Luz Incidente}}$	Ecuación 2.4
--	--------------

El factor de transmisión es un número entre cero y uno, y se da a veces como porcentaje. Un material con buena transmisión, tal como un pedazo de cristal óptico de calidad, puede alcanzar valores próximos a la unidad.

- Relación entre la reflexión, la absorción y la transmisión:

Sobre un objeto real la luz interaccionará combinando los distintos mecanismos dependiendo del factor de reflexión, absorción, y transmisión que presente el objeto. De cualquier forma y en todo caso, hay una relación que va a cumplirse siempre: la conservación de energía. La suma de todas las formas de radiación saliente debe ser igual a la cantidad de radiación entrante que afecta al Material bajo inspección. (Físicanet, 2000)

$\text{Luz Incidente} = \text{Luz Reflejada} + \text{Luz Absorbida} + \text{Luz Transmitida}$	Ecuación 2.5
---	--------------

Como normalmente se iluminan objetos opacos se tendrá la siguiente relación:

<i>Luz Incidente : Luz Reflejada + Luz Absorbida</i>	Ecuación 2.6
--	--------------

Cada material tiene un cierto factor característico de reflexividad, de absorción, y de transmisión que permite que se modifique la luz incidente y que pase la información a un detector. La diferencia en alguno de estos parámetros entre dos materiales va a posibilitar discriminarlos como distintos. Por el contrario, si los dos materiales presentan índices muy similares en los tres índices será imposible diferenciarlos visualmente.

La interacción de la luz con la materia que se ha expuesto, aunque ilustra el comportamiento básico de la luz y es suficiente para el diseño de sistemas de iluminación, se ha realizado de manera muy simplista. Hay factores que no se han considerado que hacen que los mecanismos de interacción de la luz sean más complicados: los parámetros de la reflexión, absorción, y transmisión varían en función de la longitud de onda de la luz incidente, y en función del ángulo de incidencia de la luz. (Fuente, 2017)

2.1.3.2 Características de las Fuentes de Iluminación

En las aplicaciones de visión artificial, la selección de una fuente de iluminación depende de numerosos factores: geometría y características superficiales del objeto a inspeccionar, velocidad de la aplicación, hostilidad del entorno, que hacen que tengamos que optar por sistemas de iluminación con unas características determinadas de distribución espectral, de patrón de radiación (puntual, lineal o hemisférico) y de distribución de la luz (focalizada, difusa o colimada) además de considerar otros factores como robustez, estabilidad y coste. A continuación veremos a qué se refieren estas características para poder establecer el perfil del sistema más idóneo entre la multitud de fuentes y dispositivos de iluminación. (Etitudela, 2015)

- Nivel de Luz:

En principio todo sistema de visión artificial industrial debe estar apantallado bajo un carenado que evite en lo posible cualquier entrada de luz ambiente. La luz ambiente de las plantas industriales es muy variable y va a suponer una perturbación que con toda seguridad hará fracasar al sistema.

No obstante, algunas veces hay problemas para apantallar completamente la aplicación. En estos casos será especialmente importante disponer de una fuente de luz con buena intensidad para que las variaciones ambientales queden enmascaradas por la mayor potencia de la iluminación y no tengan efecto sobre la imagen.

Otra situación donde también es preciso tener muy en cuenta el nivel de luz es cuando se trabaja en líneas donde los productos se desplazan a alta Velocidad.

En estas aplicaciones es necesario emplear velocidades de obturación elevadas en la cámara para no obtener imágenes movidas. Cuando se emplean velocidades altas de obturación se requiere luz más intensa pues la escena observada es expuesta al sensor durante un periodo de tiempo más corto. En aplicaciones de alta velocidad hay que tener muy en cuenta este parámetro a la hora de seleccionar la fuente de iluminación y optar por aquella que proporcione una luz suficientemente potente como son los flashes. (Fuente, 2017)

- Distribución Espectral:

La distribución espectral hace referencia al conjunto de longitudes de onda que emite la fuente de luz. Un cambio en la distribución espectral de la fuente de iluminación origina cambios sustanciales en la imagen capturada por la cámara. Si se trata de una aplicación en color la luz debe ser blanca, no puede ser monocromática pues distorsionaría los colores de la escena. Ya hemos visto que el color percibido por un captador depende de la frecuencia de la luz con que iluminamos.

La distribución de la fuente de luz debe estar contenida dentro de la respuesta espectral de la cámara porque de otra forma la luz proyectada no excitaría el sensor de imagen. En el mercado existen fluorescentes, lámparas halógenas, láseres, LEDs o fibra óptica (utilizando filtros de color) con distintas respuestas espectrales. (CITCEA, 2016)

Por otra parte, aunque la mayor parte de las aplicaciones de visión artificial utilizan el intervalo del espectro visible, hay otras zonas del espectro no visibles al ojo humano, como el infrarrojo al que sí son sensibles las cámaras, que están siendo utilizados en nuevos campos de aplicación. Por ejemplo, la utilización de LEDs NIR (infrarrojo cercano) y filtros que bloqueen la radiación visible en la óptica de la cámara proporciona muy buenos resultados en aplicaciones monocromáticas donde sea difícil de aislar completamente al sistema de la luz ambiente. De esta forma las variaciones en lumínicas del entorno no van a afectar tanto a la aplicación, ya que la luz presente en las plantas industriales no contiene una componente infrarroja significativa. (Vite, 2014)

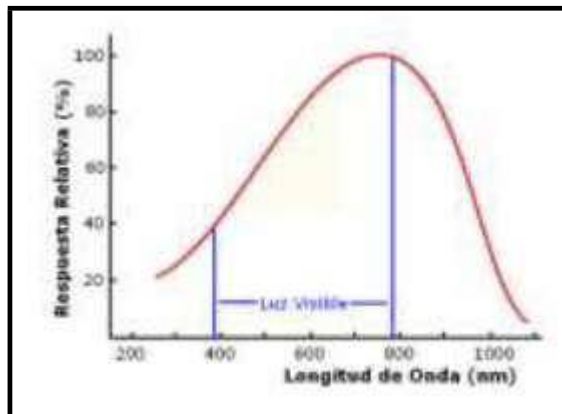


Figura 2.5 Sensibilidad espectral de un sensor CCD típico

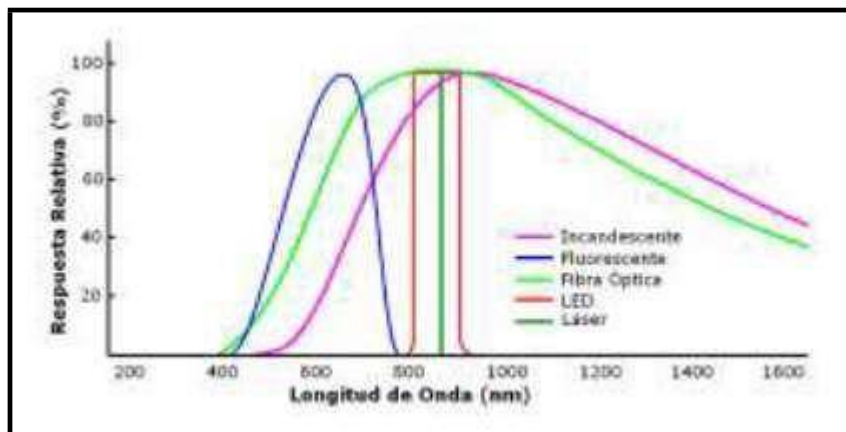


Figura 2.6 Distribución espectral de varias fuentes de luz

- Patrón de Radiación:

Las fuentes de luz pueden también clasificarse de acuerdo con su patrón de radiación que puede ser puntual, lineal, anular, superficie o hemisférico. Los patrones rectilíneos son especialmente utilizados en inspección de productos continuos como chapa en trenes de laminación, rollos de papel y de tela, etc. Ya que las elevadas velocidades de producción de estos productos requieren el empleo de cámaras lineales. (Fuente, 2017)

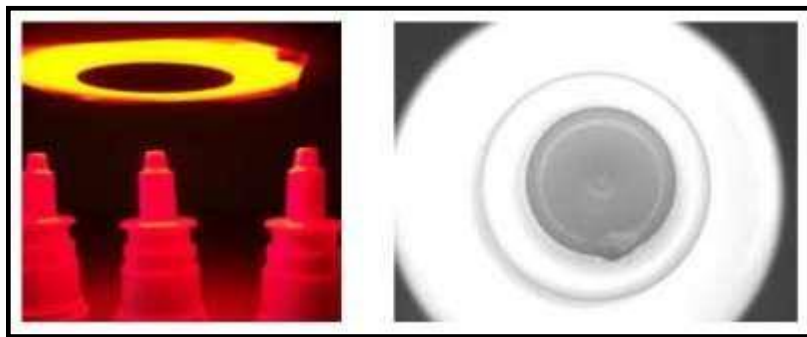


Figura 2.7 Patrón anular en una inspección de válvulas para farmacia

Los patrones anulares y hemisféricos son muy útiles cuando se trabaja con superficies brillantes. Los anulares permiten proyectar sobre superficies planas una luz intensa y homogénea si se observa desde el eje del anillo. Si se trata de una superficie brillante que no es plana o de superficies muy reflexivas para obtener una imagen sin sombras es preciso recurrir a un patrón hemisférico. El resultado es similar a si el objeto fuera observado bajo un cielo completamente cubierto en el que la posición del sol es imposible de adivinar. Con este tipo de iluminación la luz llega desde todas las direcciones reduciendo al mínimo la aparición de sombras y brillos sobre los objetos. (Fuente, 2017)

- Estabilidad:

El primer aspecto que hay que considerar en lo que respecta a la estabilidad en la iluminación es que la escena no se debe ver afectada por variaciones de la luz ambiente. Siempre se debe apantallar el entorno en el que se va a trabajar el sistema de visión, instalando un carenado que evite las perturbaciones de la luz exterior.

Existen aplicaciones de guiado de robots con visión, donde a veces es difícil aislar totalmente al sistema de la iluminación ambiente. En estos casos habrá que emplear una fuente de luz potente con objeto de que las perturbaciones procedentes de las variaciones ambientales queden enmascaradas o bien iluminar fuera del espectro visible por ejemplo en el infrarrojo cercano. (Juarez, 2017)

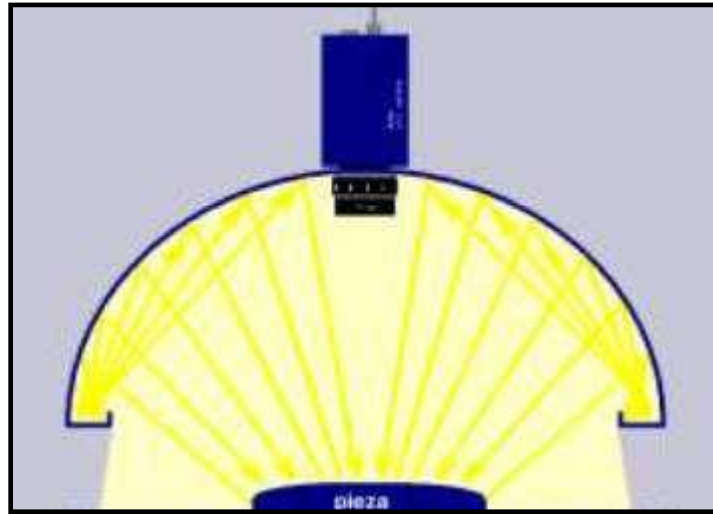


Figura 2.8 Patrón de luz hemisférico

Hay que tener especial cuidado cuando se emplean velocidades de obturación en las cámaras por debajo de los 20 milisegundos pues aparece una fluctuación en la intensidad de la imagen si la fuente de luz es alimentada directamente con la intensidad de la red eléctrica. Tal es el caso de las lámparas incandescentes de tungsteno tradicionales y el fluorescente estándar. Esto origina que la intensidad media de la imagen fluctúe, haciendo prácticamente imposible un procesamiento fiable de la imagen. En estos casos es preciso alimentar las lámparas incandescentes con corriente continua y si se utilizan fluorescentes incorporar un balasto de alta frecuencia. (Fuente, 2017)

Por otro lado hay que considerar que las fuentes de iluminación se van degradando con el tiempo disminuyendo su eficiencia lumínica.

Esta pérdida de luz alcanza el 30% en fuentes incandescentes tras unos pocos miles de horas de funcionamiento. Incluso los LED que es la fuente con menor degradación en el tiempo, pueden fluctuar en su intensidad de luz debido a las variaciones en voltaje, corriente y temperatura. Por tanto, es fundamental al desarrollar los algoritmos de tratamiento de imagen no hacer nunca la suposición de que la luz va a ser perfectamente constante. En caso de que se requiriera una iluminación especialmente estable existen sistemas que implantan una realimentación de la luz proporcionada para mantener la intensidad lumínica de salida inamovible. (Fuente, 2017)

- **Robustez:**

Un sistema de iluminación tiene que tener una esperanza de vida aceptable en un entorno industrial. Debe ser capaz de resistir las vibraciones y golpes siempre presentes en estos entornos. Por ejemplo las tradicionales lámparas incandescentes se muestran como la opción menos robusta por su corta esperanza de vida así como por su fragilidad de los filamentos ante vibraciones o choque. Por este motivo las lámparas incandescentes han sido desplazadas por otras fuentes de luz mucho más robustas y en la actualidad sólo son utilizadas donde se requiere una gran potencia lumínica sobre grandes áreas.

En esta línea es una buena práctica en aquellos sistemas que empleen fuentes con una esperanza de vida más corta y que se degradan con el tiempo, como las lámparas incandescentes y los fluorescentes, implantar un programa de sustitución regular y seguir la política, dado que su coste no es excesivo, de reemplazarlas cuando se encuentran a media vida. (Gil, 2018)

2.1.3.3 Configuración para la Iluminación

Se ha indicado que cuando se desea captar con una cámara un objeto o una determinada característica, la luz proporcionada por la fuente de iluminación y que es reflejada por el objeto debe entrar por el objetivo de la cámara. Por tanto, la apariencia del objeto en la imagen no dependerá sólo de la fuente de luz empleada sino también va a depender radicalmente de la posición de la fuente con respecto al objeto y a la cámara. (Fuente, 2017)

Existe un conjunto de técnicas de iluminación basadas en la utilización de distintas configuraciones geométricas de la fuente de luz con respecto al objeto y a la cámara que son empleadas frecuentemente en los sistemas de visión artificial.

- **Retroiluminación Difusa:**

Si para el reconocimiento o medida de un producto sólo se precisa su silueta, se puede obtener de forma muy sencilla y estable muy buenas imágenes iluminando con una fuente difusa a contraluz. Esta configuración, conocida como retroiluminación difusa produce imágenes de gran contraste entre el objeto y el fondo que son fácilmente procesables. Esta iluminación también resulta muy adecuada cuando se pretende medir el grado de porosidad de ciertas sustancias, como tejidos, láminas de corcho, o también cuando se desea determinar el nivel de líquido o presencia de algún componente interno en envases transparentes. (Juarez, 2017)

Debe tenerse cuidado, especialmente en las aplicaciones de metrología de no sobresaturar el sensor de la cámara con la fuente de iluminación pues en este caso el objeto parecerá más pequeño de lo que realmente es. Habrá que reducir la apertura o la velocidad del obturador hasta que desaparezca la sobresaturación. Si se trata de una aplicación de metrología fina para la retroiluminación será preciso recurrir a una fuente de iluminación colimada que garantice la emisión de rayos de luz paralelos al eje óptico y que por tanto no va a falsear el perfil de la pieza observada. (Gil, 2018)

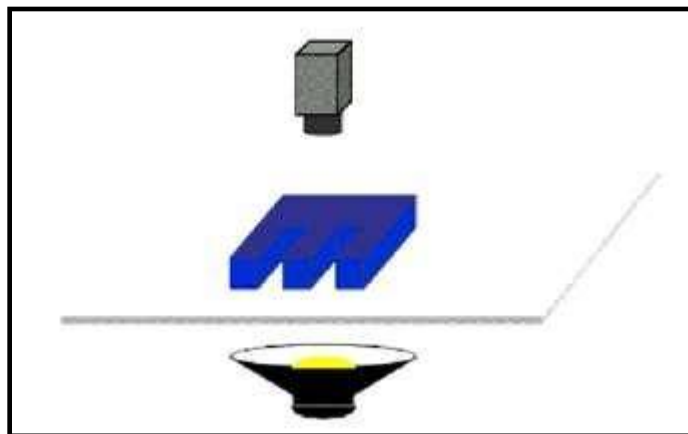


Figura 2.9 Retroiluminación difusa

- Iluminación Frontal:

Cuando se requieren más detalles del producto que la simple silueta lo más sencillo es proyectar una o más luces sobre el objeto desde el mismo lado que la cámara. Esta técnica se conoce como iluminación frontal y en su configuración más típica las luces forman 45 grados con el eje óptico de la cámara que se encuentra sobre el objeto.

Si las superficies son brillantes esta configuración no es la más conveniente pues hace aparecer brillos y zonas oscuras que dificultan el procesamiento de imagen.

En este caso para la iluminación frontal es preciso emplear fuentes de iluminación difusa con patrones anulares o hemisféricos para que los haces luminosos incidan sobre el objeto desde todas las direcciones. Los anillos son a menudo la mejor opción cuando se trabaja con objetos circulares aunque también resultan muy útiles para observar objetos pequeños o pequeñas áreas de grandes objetos. (Madrid, 2019)

Cuando se opta por la iluminación frontal es conveniente experimentar con el número de lámparas, su distancia al objeto y el ángulo respecto a la cámara.

Muchas veces también resulta útil comparar la iluminación directa con la difusa quitando los difusores y viendo el efecto en la imagen en vivo.

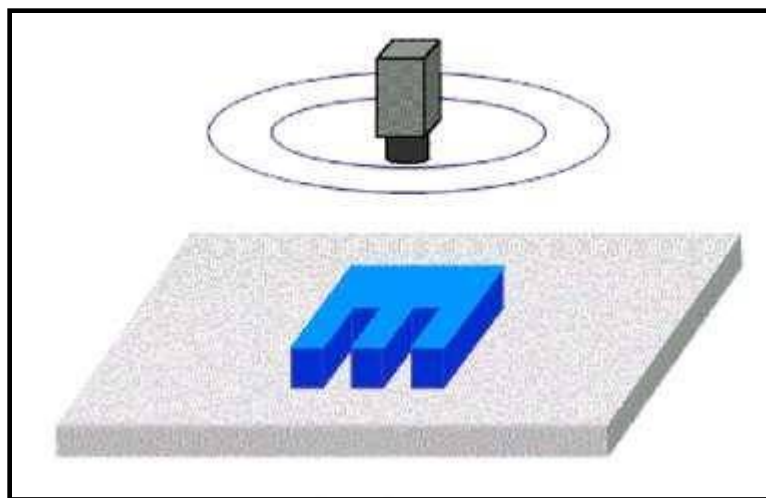


Figura 2.10 Iluminación Frontal

- **Iluminación Direccional:**

Consiste en una iluminación direccionada en algún sentido en el espacio para destacar una característica concreta del objeto. La principal virtud es la creación de sombras sobre el objeto, lo que puede ayudar a aumentar el contraste de partes tridimensionales y obtener la consiguiente información 3D. (Viera, 2017)

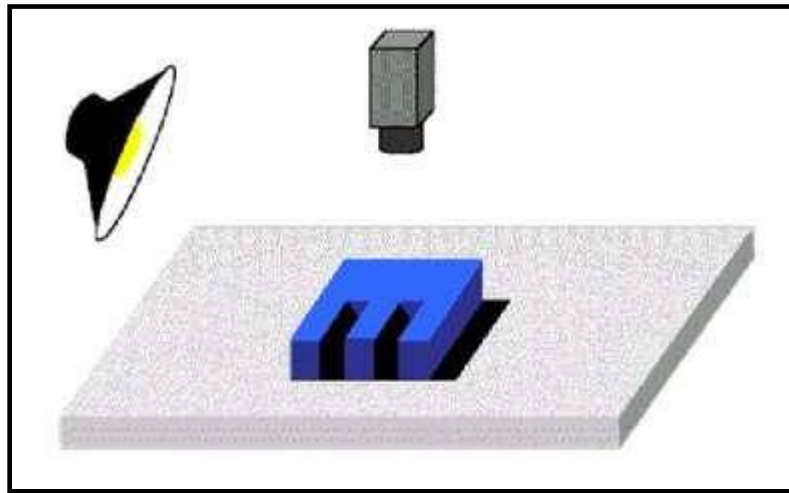


Figura 2.11 Iluminación Direccional

- **Iluminación Estructurada:**

Consiste en proyectar sobre la pieza unos patrones de luz conocidos modulados (proyección de puntos, franjas o rejillas sobre la superficie de trabajo) y observando la luz reflejada, que también viene modulada, obtener información sobre la estructura de la superficie del objeto, la cual puede ser reconstruida mediante triangulación. Las fuentes de luz empleadas deben de ser especiales pues deben ser capaces de emitir luz estructurada y suelen ser láseres. Se usa para reconstrucciones 3D de objetos y para conocer su forma. (Canchola, 2012)

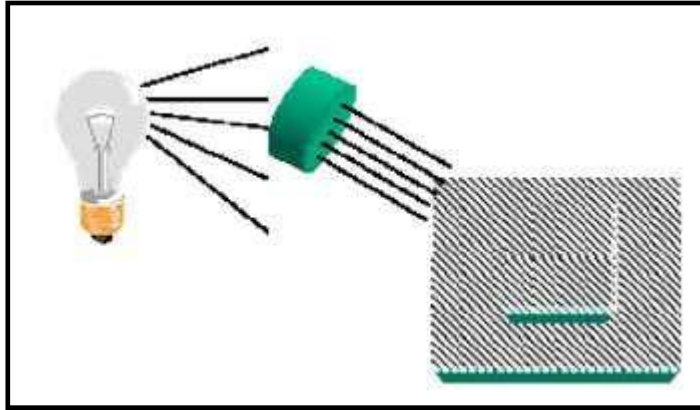


Figura 2.12 Iluminación Estructurada

2.1.4 Fuentes de Iluminación

Por otro lado debemos prestar atención también a las diferentes fuentes de iluminación.

- **Lámparas incandescentes:**

Es la fuente de iluminación más común y consiste en un filamento de tungsteno o halógeno-tungsteno. Como ventaja tiene que existe gran variedad de potencias y como desventaja, que reduce su luminosidad con el tiempo, lo que puede provocar problemas en algunos sistemas de visión. (López, 2016)

- **Tubos fluorescentes:**

Más eficaces que las lámparas y suministran una luz más difusa, que es bueno para piezas muy reflectoras. Existe una gran variedad, tanto en forma (circulares, lineales), como en tamaño con lo que son ampliamente utilizados.

- **Fibra óptica:**

Para iluminar zonas de difícil acceso o extremadamente pequeñas. Proporciona iluminación constante.

- **Láser:**

Empleados para una iluminación con luz estructurada, ya que el láser es capaz de emitir luz estructurada con un control adecuado. Tiene el inconveniente de presentar un mal comportamiento frente a superficies que absorben luz.

2.2 Preprocesamiento de la Imagen

Una etapa importante de la visión artificial es el preprocesamiento de imágenes, es decir, la transformación de la imagen original en otra imagen en la cual hayan sido eliminados los problemas de ruido granular de cuantización o de iluminación espacialmente variable. La utilización de estas técnicas permite el mejoramiento de las imágenes digitales adquiridas de acuerdo a los objetivos planteados en el sistema de visión artificial. (Malpartida, 2003)

A continuación sólo se mencionara las técnicas de preprocesamiento empleado en el presente trabajo.

2.2.1 Conversión a Escala de Grises

En esta parte se trata la conversión de una imagen en color a escala de grises, el equivalente a la luminancia de la imagen. Como sabemos el ojo percibe distintas intensidades de luz en función del color que se observe, esto es debido a la respuesta del ojo al espectro visible la cual se puede observar en la figura 2.13, por esa razón el cálculo de la escala de grises o luminancia de la imagen debe realizarse como una media ponderada de las distintas componentes de color de cada pixel. (Aguirre, 2014)

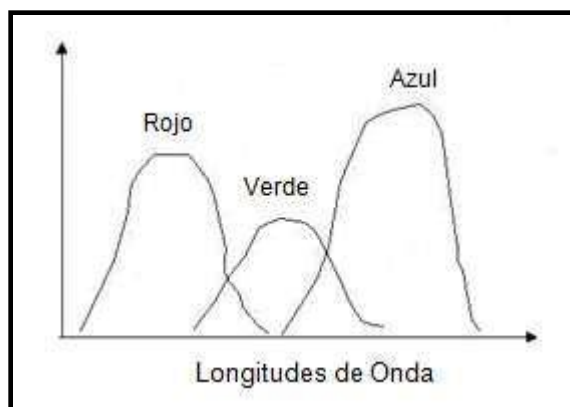


Figura 2.13 Componentes RGB de una imagen

La ecuación de la luminancia es la expresión matemática de ese fenómeno, y los factores de ponderación de cada componente de color nos indican la sensibilidad del ojo humano a las frecuencias del espectro cercanas al rojo, verde y azul.

$$Y = 0.3 * R + 0.5 * G + 0.11 * B$$

Ecuación 2.7

Por tanto, para realizar esta conversión basta con aplicar la ecuación 2.7 a cada pixel de la imagen de color, entonces resultará una nueva matriz de un byte por pixel que daría la información de luminancia.

2.2.2 Filtrado Espacial

El empleo de máscaras espaciales para el procesamiento de las imágenes, se denomina frecuentemente filtrado espacial, y las propias máscaras se denominan filtros espaciales. Dentro del filtrado espacial, existen los filtros suavizantes, que se emplean para hacer que la imagen aparezca algo borrosa y también para reducir el ruido. (Albornoz, 2010)

2.2.3 Filtro Pasa Bajo:

Para un filtro espacial de 3x3 (grado 3), la construcción más simple consiste en una máscara en la que todos los coeficientes sean iguales a 1. Sin embargo, la respuesta, en este caso es, la suma de los niveles de gris de los nueve pixeles, lo que hace que el resultado quede fuera del rango válido de gris [0,255]. La solución consiste en cambiar la escala de la suma, dividiéndola por el grado de la máscara al cuadrado, en este caso por 9. La figura 2.14 muestra la máscara resultante. (Albornoz, 2010)

$$\frac{1}{9} * \begin{bmatrix} 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \\ 1 & 1 & 1 \end{bmatrix}$$

Figura 2.13 Componentes RGB de una imagen

2.2.4 Filtro de Mediana

Una de las principales dificultades del método de suavizamiento, es que afecta los bordes y otros detalles de realce. Cuando el objetivo es reducir el ruido, el empleo de los filtros de mediana representa una posibilidad alternativa. En este caso, el nivel de gris de cada pixel se reemplaza por la mediana de los niveles de gris en un entorno de este pixel, en lugar del promedio, como lo hace el filtro pasa bajo.

Este método es particularmente efectivo cuando el patrón de ruido consiste en componentes fuertes y de forma puntiaguda, y la característica que se desea preservar es la agudeza de los bordes.

La mediana m de un conjunto de valores es tal que la mitad de los valores del conjunto quedan por debajo de m y la otra mitad por encima. Con el fin de realizar el filtro de mediana, en el entorno de un pixel, primero se deben extraer los valores del pixel y de su entorno, determinar la mediana y asignar este valor al pixel. Por ejemplo, para un entorno de 3×3 , con los valores que se observan en la figura 2.14, se realizan los siguientes pasos: (Gonzales, 1996)

Pixel Procesado

1	2	3
3	2	4
5	3	5

Figura 2.14 Entorno 3×3

Se almacenan los valores en un vector:

$X[1] = 1, X[2] = 2, X[3] = 3, X[4] = 3, X[5] = 2, X[6] = 4, X[7] = 5, X[8] = 3, X[9] = 5$

Se hace un ordenamiento en el vector, por valor de nivel de gris:

$X[1] = 1, X[2] = 2, X[5] = 2, X[3] = 3, X[4] = 3, X[8] = 3, X[6] = 4, X[7] = 5, X[9] = 5$

Entonces, el valor de la mediana corresponde a la posición 4, con el valor 3. Suponiendo que una imagen está afectada por un cierto error por pixel (debido a ruido en la cámara, ruido shot, etc.), se puede aplicar un operador de proximidad por media de 5x5 para conseguir una mejora notable de la imagen de entrada. A diferencia de un operador de aproximación normal, el filtro de media no causa aplanamiento en los bordes, sino que se limita a eliminar píxeles únicos aleatorios. (Gil, 2018)

2.3 Segmentación de la Imagen

La segmentación es el proceso mediante el cual una imagen se descompone en regiones o elementos que pueden corresponder a objetos o parte de objetos. El proceso de segmentación se encarga de evaluar si cada pixel de la imagen pertenece o no al objeto de interés. Esta técnica de procesamiento de imágenes idealmente genera una imagen binaria, donde los píxeles que pertenecen al objeto se representan con un 1, mientras que los que no pertenecen al mismo se representan con un 0. Este tipo de particionamiento está basado en el análisis de alguna característica de la imagen, tal como los niveles de gris o la textura. A continuación describiremos el método de segmentación basado en la umbralización. (Malpartida, 2003)

2.3.1 Segmentación Basado en Píxeles:

Este método de segmentación toma en cuenta sólo el valor de gris de un pixel, para decidir si el mismo pertenece o no al objeto de interés. Para ello, se debe encontrar el rango de valores de gris que caracterizan dicho objeto, lo que requiere entonces la búsqueda y el análisis del histograma de la imagen.

El objetivo de este método, es el de encontrar de una manera óptima los valores característicos de la imagen que establecen la separación del objeto de interés, con respecto a las regiones que no pertenecen al mismo; debido a esta característica y si los valores de gris del objeto y del resto de la imagen difieren claramente, entonces el histograma mostrará una distribución bimodal, con dos máximos distintos, lo que debiera generar, la existencia de una zona del histograma ubicada entre los dos máximos, que no presenten los valores característicos, y que idealmente fuera igual a cero, con lo cual se logrará una separación perfecta entre el objeto y la región de la imagen que lo circunda. (Aguirre, 2014)

Al establecer un valor umbral ubicado en esta región del histograma. Por lo tanto cada pixel de la imagen, es asignado a una de dos categorías, dependiendo si el valor umbral es excedido o no.

Si el valor del histograma ubicado entre los dos máximos, es distinto de cero, las funciones de probabilidad de los valores de gris del objeto y de la región restante, se solaparán, de tal manera que algunos pixeles del objeto deberán ser tomados como pertenecientes a la región circundante y viceversa. Conocida la distribución de la función de probabilidad de los pixeles del objeto y de la región circundante, es posible aplicar análisis estadístico en el proceso de buscar un umbral óptimo, con el número mínimo de correspondencias erróneas. Estas distribuciones pueden ser estimadas por histogramas locales, los cuales solamente incluyen las regiones correspondientes de la imagen. (Gil, 2018)

En imágenes industriales tenemos generalmente un alto contraste lo cual permite aplicar segmentaciones muy simples como el mencionado, para distinguir dos clases de regiones en la imagen: región objeto y región fondo.

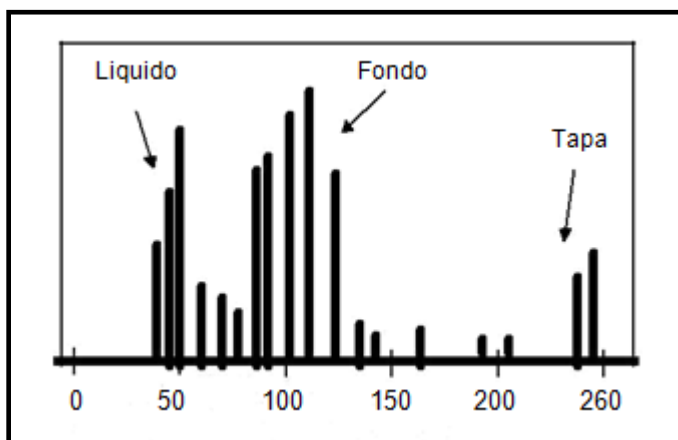


Figura 2.15 Histograma de la imagen de una botella

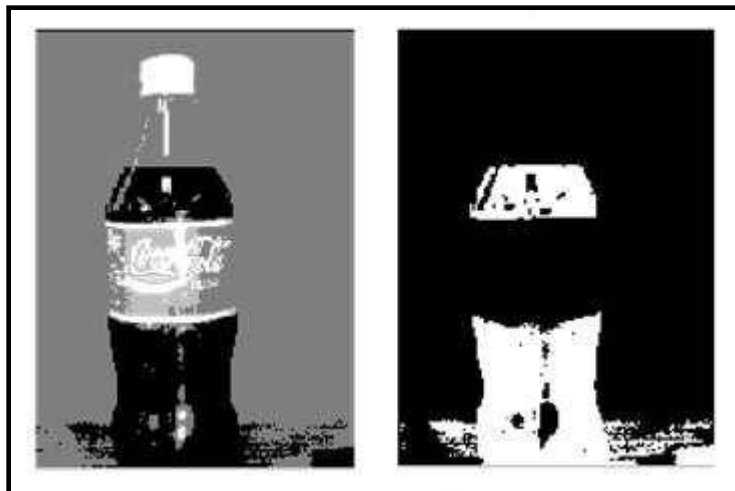


Figura 2.16 Segmentación de la imagen de una botella

En la imagen de la figura 2.15, el histograma nos indica que el fondo (gris claro) es lo que ocupa más espacio en la imagen, porque es el que contiene mayor número de píxeles en la escala de grises 125 (aproximadamente). Luego tenemos el líquido (refresco, color negro) y la tapa y partes de la etiqueta (color blanco). Si aplicamos un umbral a esta imagen, a partir del límite que establece el líquido (aproximadamente nivel 50 de la escala de grises), todo lo demás se convierte en color negro (0), y el líquido se convierte en color blanco (1). De esta forma, la imagen pasa a ser binaria, y el líquido queda claramente separado de todo lo demás que aparece en la imagen. (Navarrete, 2014)

2.3.2 Operaciones Morfológicas:

Las operaciones morfológicas son métodos para procesar imágenes binarias basadas sobre formas. Estas operaciones toman una imagen binaria como entrada y dan como resultado una imagen binaria como salida. El valor de cada píxel en la imagen de salida está basado sobre el correspondiente píxel de entrada y sus vecinos. Dentro de las operaciones morfológicas tenemos la dilatación y erosión, las cuales serán tratadas a continuación.

La dilatación adiciona píxeles a los límites del objeto (es decir los cambia de off a on), y la erosión remueve píxeles sobre los límites del objeto (los cambia de on a off). (Aguilar, 1995)

- **Dilatación:**

Sea A y B conjuntos de Z^2 y \emptyset representando al conjunto vacío, la dilatación de A por B , se representa $A \oplus B$, en la ecuación (2.8)

$$A \oplus B = \{x / (B)_x \cap A \neq \emptyset\}$$

Ecuación 2.8

Por tanto, el proceso de dilatación consiste en obtener la reflexión de B sobre su origen, después, cambiar esta reflexión por x . La dilatación de A por B es entonces, el conjunto de todos los desplazamientos x , tales que B y A se solapen en al menos un elemento distinto de cero. Basándose en esta interpretación, la ecuación (2.8) se puede volver a representar mediante la ecuación (2.9): (Juarez, 2017)

$$A \oplus B = \{x / [(B)_x \cap A] \subseteq A\}$$

Ecuación 2.9

Al conjunto B , se le conoce normalmente como el elemento de estructura de la dilatación. Como vemos, se toma el elemento de estructura B como una máscara de convolución. Aunque la dilatación se basa en operaciones de conjunto, mientras que la convolución se basa en operaciones aritméticas, el proceso básico de mover a B respecto a su origen, y desplazarlo después sucesivamente de tal forma que se deslice sobre el conjunto (imagen) A , es análogo al proceso de convolución expuesto anteriormente.

Los componentes del conjunto B (elemento estructurador), pueden ser ceros o unos. La cantidad de ceros y/o unos determina, en conjunto con el tamaño del elemento estructurador, el efecto que produce su utilización en las operaciones morfológicas. (Garcia A. ,2007)

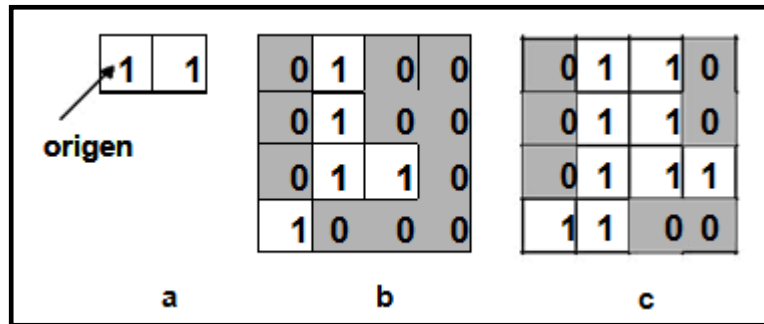


Figura 2.17 Ejemplo de dilatación. (a) Elemento estructural. (b) imagen original. (c) Resultado de la dilatación.

Al usar el elemento estructurador que se muestra en la figura 2.17a, y si se tiene como imagen de entrada la figura 2.17b y después de aplicar el proceso de dilatación, se obtiene la imagen de salida ilustrada en la figura 2.17c.

El estado de cualquier pixel dado en la imagen de salida es determinado aplicando una regla a los vecinos del correspondiente pixel en la imagen de entrada. La siguiente regla define la operación para la dilatación:

Para dilatación, si cualquier pixel en los vecinos del pixel de entrada es ON, el pixel de salida es ON. De otra manera el pixel de salida es OFF. (Gil, 2018)

- Erosión:

Para los conjuntos A y B de Z^2 , la erosión de A por B representada por $A \ominus B$, se define como la ecuación (2.9).

$A \ominus B = \{x / (B)_x \subseteq A\}$	Ecuación 2.10
---	---------------

Donde se dice, que la erosión de A por B es el conjunto de todos los puntos x tal que B, trasladado por x, está contenido en A. Como en el caso de la dilatación, la ecuación (2.10) no es la única definición de la erosión.

Sin embargo, esta ecuación, normalmente, es más adecuada en implementaciones prácticas de la morfología.

Si se toma como ejemplo el elemento estructurador que se muestra en la figura 2.18a, y la imagen de entrada de la figura 2.18b, se obtiene la imagen de salida que se muestra en la figura 2.18c, en la cual el proceso de erosión ha sido aplicado.

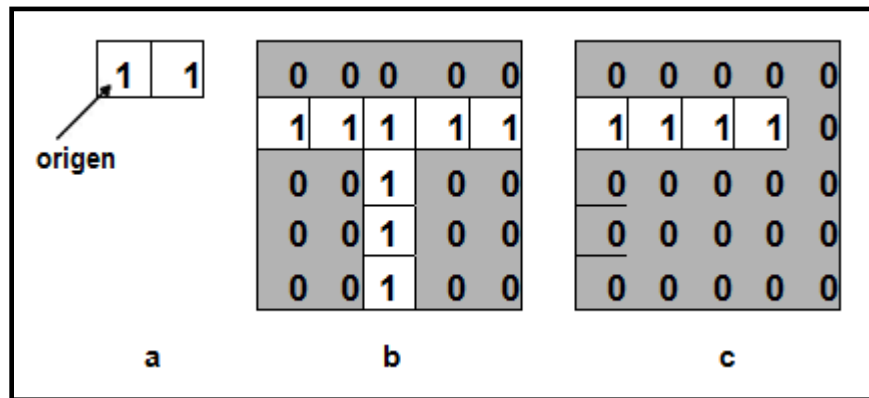


Figura 2.18 Ejemplo de erosión. (a) Elemento estructural. (b) Imagen original. (c) Imagen erosionada.

El estado de cualquier pixel dado en la imagen de salida es determinado aplicando una regla a los vecinos del correspondiente pixel en la imagen de entrada. La siguiente regla define la operación para la erosión:

Para erosión, si cada pixel en el vecino del pixel de entrada esta ON, el pixel de salida estará ON. De otra manera el pixel de salida está OFF. (Malpartida, 2003)

2.3.3 Etiquetado:

En la práctica llegar a la imagen binaria no suele ser suficiente para realizar una descripción adecuada, por lo que el proceso de segmentación se prolonga aplicando diversas técnicas sobre este tipo de imágenes.

Existe una gran cantidad de técnicas de análisis para imágenes binarias, con propósitos tan variados, entre estas técnicas está el contar, etiquetar objetos y filtrado de objetos según su tamaño.

Una de las operaciones más comunes en visión es encontrar las componentes conectadas dentro de una imagen. En la figura 2.19 vemos un ejemplo de una imagen y su imagen de componentes conectadas, en donde se ha etiquetado con un número a las componentes conectadas. (Sanchez, 2014)

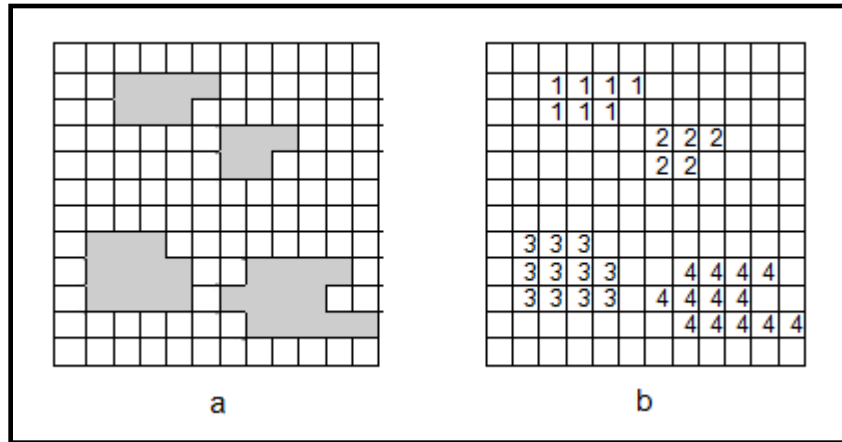


Figura 2.19 (a) Imagen original. (b) Etiquetado.

Se ha de disponer de una definición consistente de conectividad para demarcar todos los objetos en imágenes binarias y ser capaces de idear algoritmos para etiquetarlos y contarlos.

El etiquetado es una técnica que, partiendo de una imagen binaria, nos permite etiquetar cada uno de los objetos conectados presentes en la imagen. Esto va a posibilitar:

- Distinguir los objetos respecto del fondo (propiedad intrínseca de la imagen binaria).
- Distinguir un objeto respecto de los demás objetos.
- Conocer el número de objetos en la imagen.

En general, los algoritmos para etiquetar dan buenos resultados con objetos convexos, pero presentan problemas cuando aparecen objetos que tienen concavidades (formas en U), como se observa en la figura 2.20 donde diferentes partes de un mismo objeto pueden acabar con etiquetas distintas, incluso pueden aparecer colisiones de etiquetas.

En este sentido el peor caso que puede plantearse es un objeto con forma de espiral. (Malpartida, 2003)

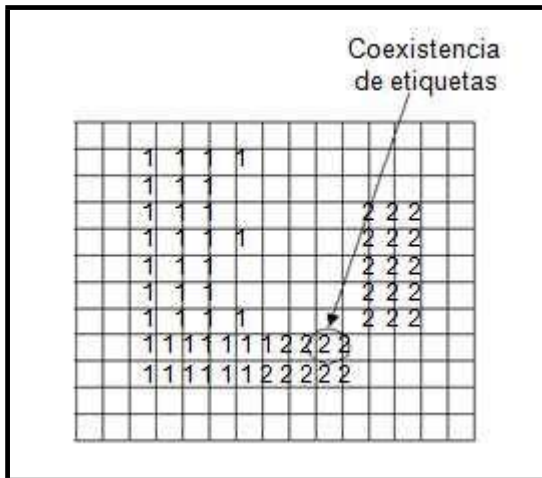


Figura 2.20 Imagen en forma de U, etiquetada erróneamente.

2.3.4 Filtro de Tamaño:

El filtrado de tamaño en imágenes binarias está orientado, principalmente con dos objetivos:

- Eliminación de ruido: debido al proceso de umbralización pueden aparecer regiones en la imagen binaria que son consecuencia del ruido. Tales regiones son normalmente pequeñas.
- Reducir el número de objetos de la imagen (hay objetos de un determinado tamaño que no interesan para la aplicación): En algunas ocasiones resulta interesante eliminar de una imagen binaria aquellos objetos que no superen un tamaño determinado, o por el contrario, eliminar los objetos que si superen este tamaño.

Los objetos son filtrados teniendo en cuenta su tamaño o área o utilizando las operaciones de erosión y dilatación como se analizó anteriormente.

Sin embargo, en muchas aplicaciones es conocido que los objetos de interés son de un tamaño mayor que T píxeles (área). Todas las componentes de la imagen que tienen un tamaño igual o menor que T píxeles se eliminan; para ello se cambian los correspondientes píxeles al valor del fondo (0). (Ortuno, 2016)

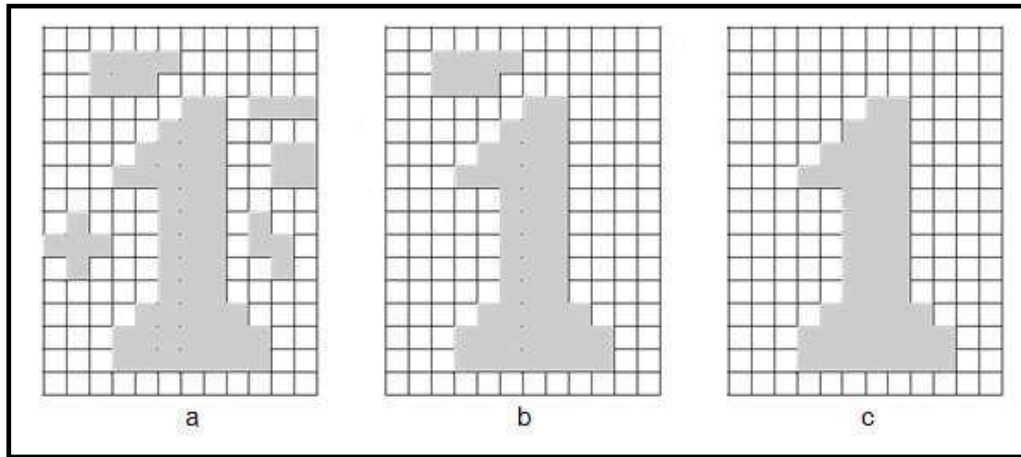


Figura 2.21 (a) Imagen original. (b) Filtrado de área $T=6$, (c) Filtrado de área $T=10$

2.4 Descripción

Con el objeto de poder analizar una imagen será necesario tener una descripción en la memoria de la computadora. Esta descripción no es otra cosa que un modelo que representa las características de la imagen de relevancia para los fines del sistema de visión artificial específicos. Los modelos que describen una imagen pueden ser estadísticas, estructurales, etc. pero todos ellos se obtienen a partir de imágenes previamente segmentadas y analizadas.

En el tipo de imágenes utilizados en robótica, la información relativa se encuentra en el contorno, entonces los modelos utilizados para describir este tipo de imágenes representaran tan solo contornos presentes en la imagen, y entre los más usuales tenemos a las cadenas de códigos. (Tafur, 2016)

2.5 Reconocimiento

Finalmente, una vez que se han realizado las etapas de preprocesamiento, segmentación y extracción de características, se procede a realizar el reconocimiento.

La fase de reconocimiento consistirá en la clasificación de los objetos de interés, presentes en la imagen de acuerdo a sus modelos respectivos. Este punto se tratará más detalladamente en los siguientes capítulos, debido a su importancia en el desarrollo en este trabajo de investigación. (Malpartida, 2003)

Capítulo 3

DESCRIPCIÓN DEL SISTEMA

3.1. Descripción del Sistema

El algoritmo para la determinación y reconocimiento de patrones para la discriminación de granos de arroz pulido basado en procesamiento digital de imágenes fue desarrollado bajo la metodología de desarrollo de software OpenUp, y haciendo uso del programa MatLab R2013 con el Toolbox Image Processing.

Para el desarrollo del algoritmo de procesamiento digital de imágenes se planteó el siguiente esquema, tal como se muestra en la siguiente figura:

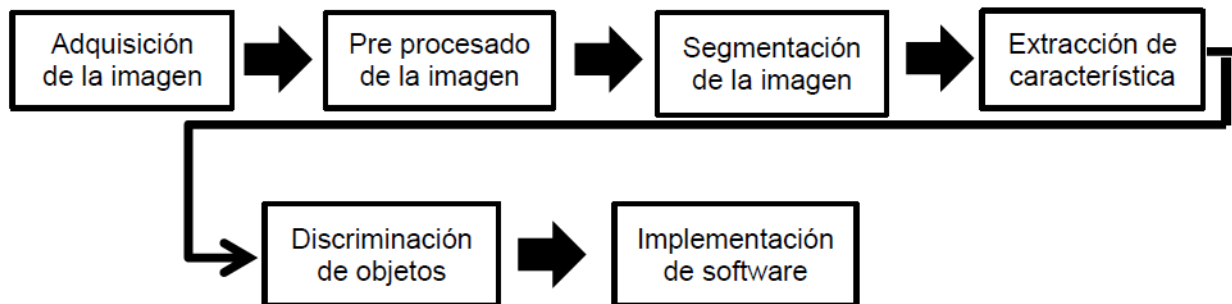


Figura 3.1. Diagrama de bloques de la solución planteada.

A continuación se detallan cada uno de estos pasos:

3.1.1 Adquisición de la imagen

Es esta primera etapa se coloca los granos de arroz pulido en el escáner para obtener una imagen digital en un formato “*.jpg” con una composición de colores RGB a 300ppp (ver figura 3.2). En la imagen escaneada se observa los siguientes problemas:

- Los granos al encontrarse en un fondo de color blanco dificultan la determinación de sus características por tener un color semejante y requieren un mayor tratamiento digital, esto se refleja en un mayor coste computacional.
- El escáner ilumina el objetivo a través del cristal, y como todo objeto genera una sombra en el fondo, se muestra en la figura 16, después del procesamiento digital la sombra aparenta ser parte física del grano, por la variación de color (de la Sombra y el fondo), esto causa una distorsión en el resultado.

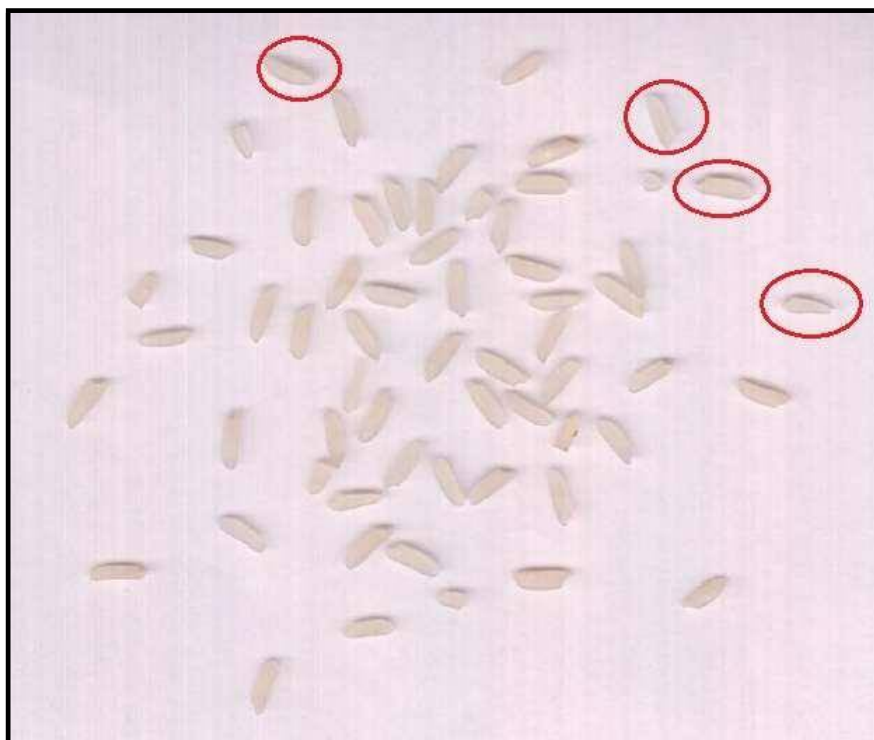


Figura 3.2. Imagen de granos de arroz pulido con fondo blanco.

Nuestro conocimiento empírico sugiere que de ser posible es mejor tener un mayor contraste entre el fondo y los objetos de estudio como se puede apreciar en la Figura 3.3.

Es por ese motivo que se adecuó una hoja de color negro en el fondo del escáner. Para eliminar la sombra del grano e incrementar el contraste. Así se reduce significativamente el coste computacional.

Se requiere una imagen digital por cada una de las muestras para su posterior procesamiento digital y discriminación

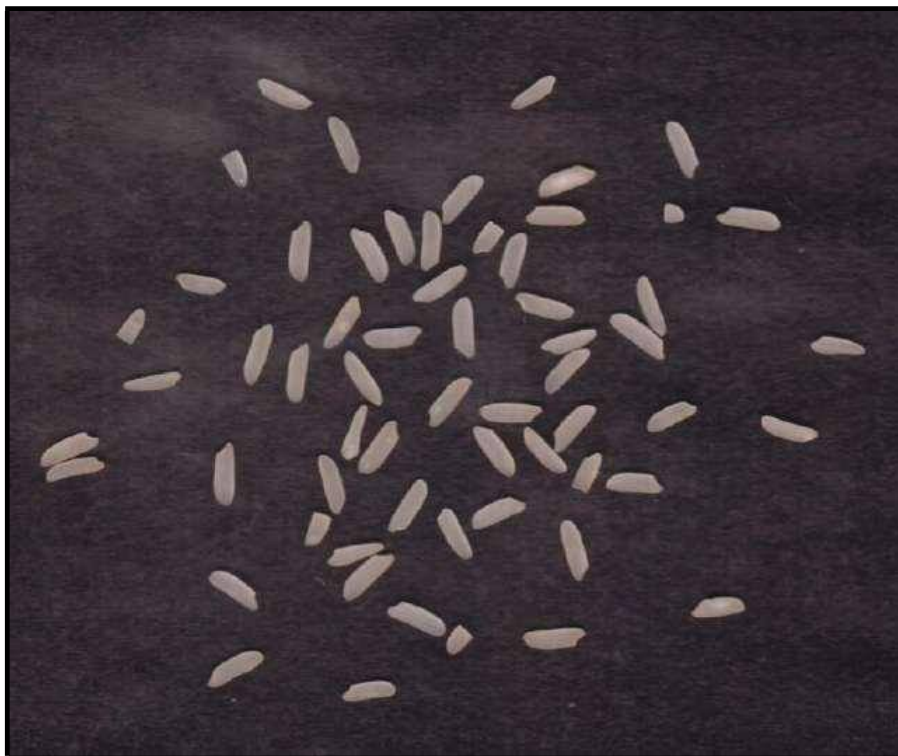


Figura 3.3. Imagen de granos de arroz pulido con fondo negro.

3.1.2 Pre procesado de la imagen

Una vez obtenida la imagen digital se procede a realizar un pre procesamiento para eliminar el ruido y ciertas partes de la imagen que son irrelevantes como el fondo de la imagen, para ello se hará uso del software Matlab R2013, debido a que dicho software cuenta con una alta prestación para el tratamiento de señales e imágenes digitales, además se sabe que es un programa de cálculo numérico orientado a matrices, y como se vio anteriormente, las imágenes digitales son un arreglo de matrices.

En este proceso se lleva la imagen digital con tonalidad RGB a una imagen binarizada compuesta por 0s y 1s (negro y blanco respectivamente), para determinar el valor umbral se utiliza el método de Otsu que elige el umbral.

De acuerdo a la siguiente función:

$$g(x, y) = \begin{cases} 1, & f(x, y) > T \\ 0, & f(x, y) \leq T \end{cases}$$

Ecuación 3.1

El umbral elegido debe ser tal que en la porción de la imagen que ha de ser analizada no se pierda muchos datos después de la umbralización; es decir, se debe mantener la mayor parte de los datos (área del grano) de dicha porción de la imagen; sin embargo, esto ocasionará que la imagen umbralizada obtenga porciones de ruido, los cuales luego deben ser eliminados, tal como se puede apreciar en la figura 3.4.

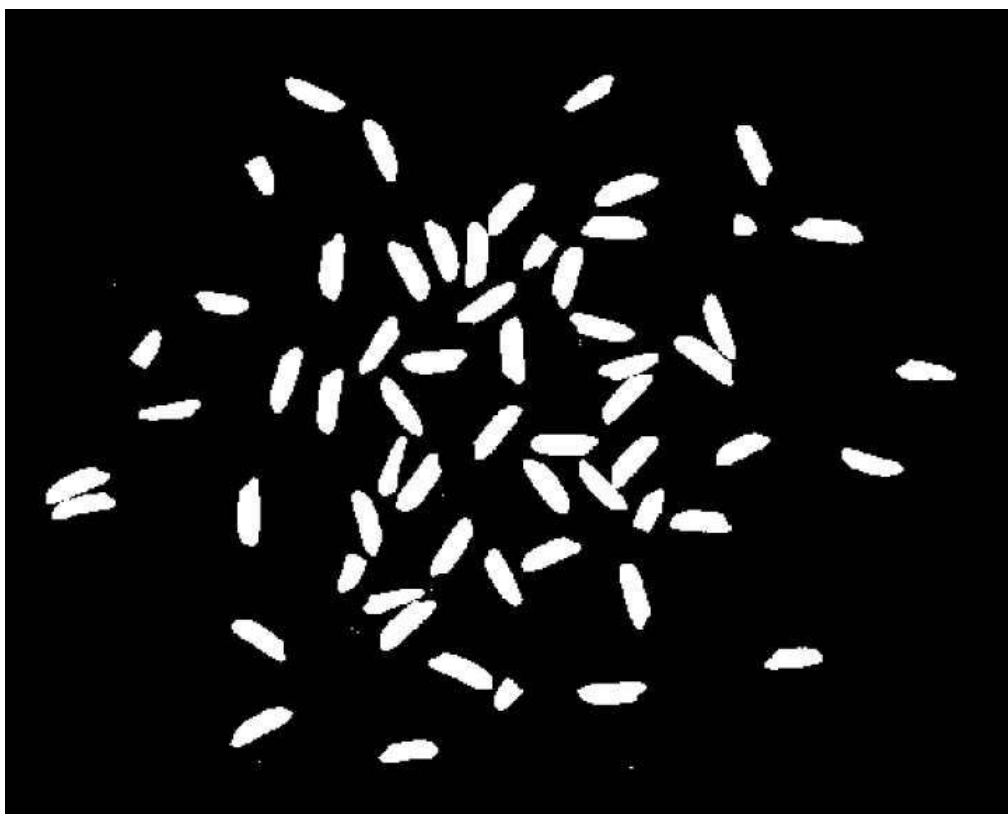


Figura 3.4. Imagen binarizada con umbral obtenido con el método Otsu.

Como ya se mencionó, se observa ruido en el fondo de la imagen (ver figura 18), áreas que no son granos; sin embargo, pintan como ellos. El algoritmo procede a eliminar las áreas pequeñas como se muestra en la figura 3.5.

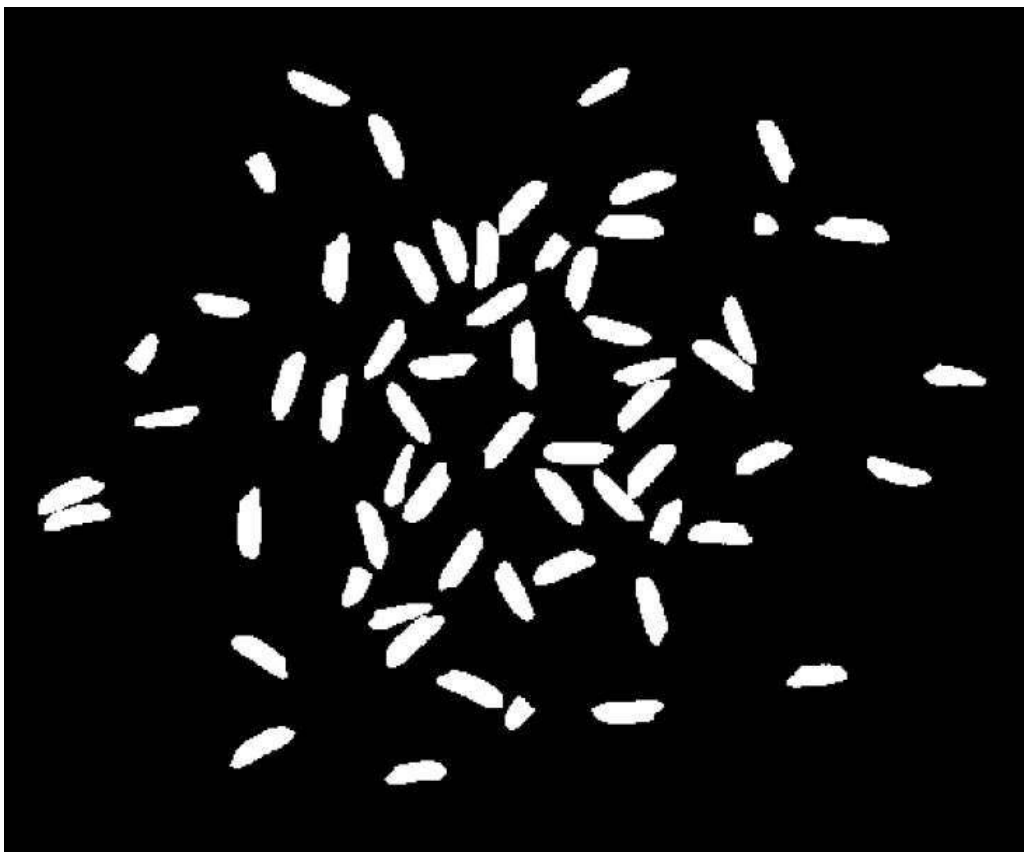


Figura 3.5. Imagen binarizada en donde se eliminó el ruido por completo.

La imagen está constituida por una matriz con 0s y 1s como elementos, a través de multiplicaciones matemáticas se filtra la imagen original y se muestra sin el ruido del fondo en las figuras 3.6 y 3.7 en una tonalidad RGB.



Figura 3.6. Imagen RGB en donde se eliminó el ruido en el fondo negro por completo.

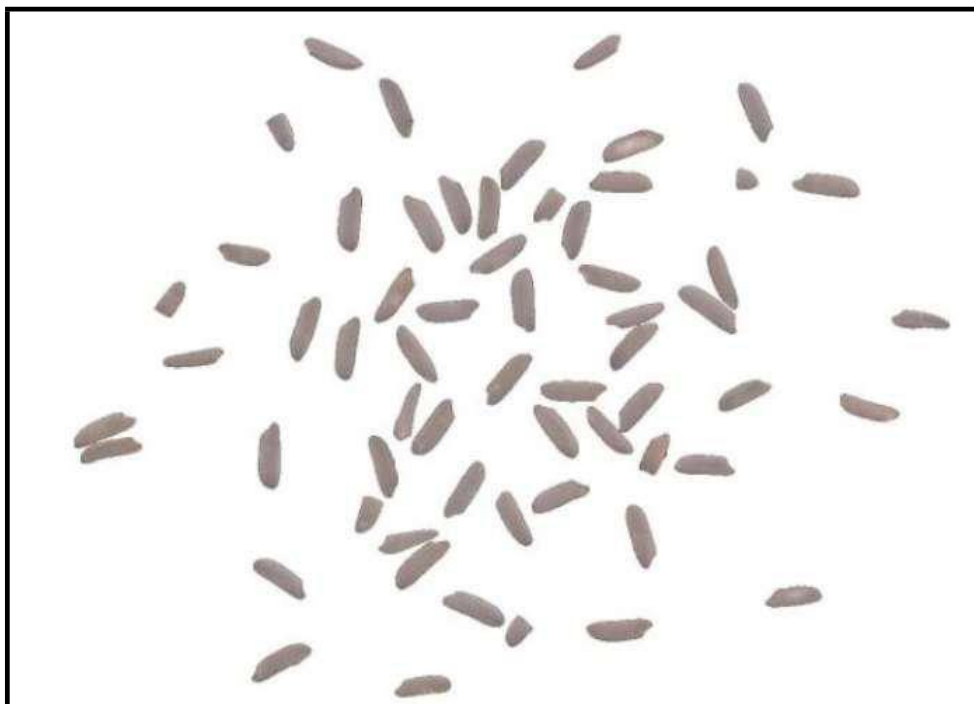


Figura 3.7. Imagen RGB en donde se eliminó el ruido en el fondo blanco por completo.

3.1.3 Segmentación de la imagen

Una vez obtenida una imagen filtrada adecuadamente procedemos a etiquetar los elementos que se encuentran y segmentar cada uno de estos, para obtener solo la parte de dicha imagen que es necesaria para el análisis. Algunos de los granos segmentados se observan en la siguiente figura 3.8.

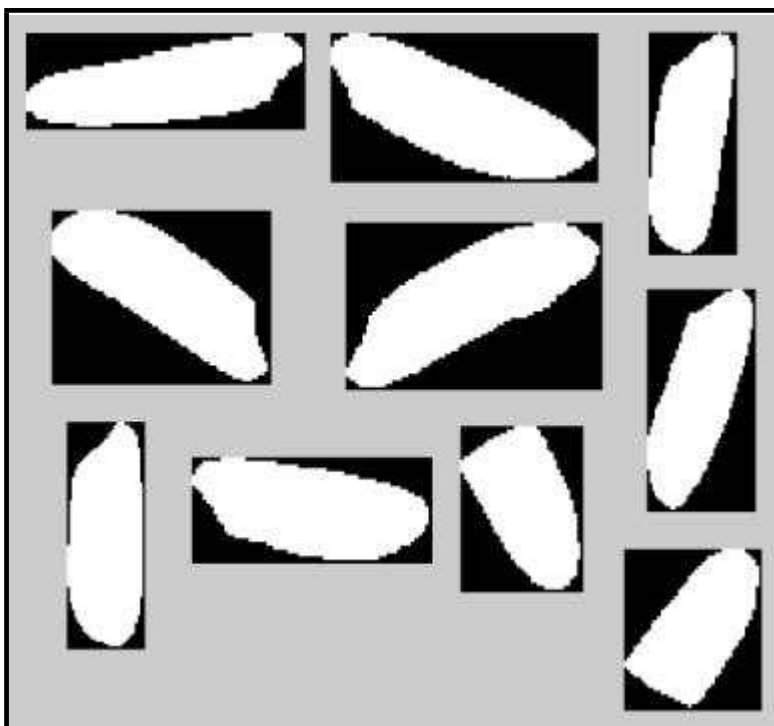


Figura 3.8. Granos de arroz segmentados y etiquetados.

3.1.4 Extracción de Características

Los descriptores geométricos son una herramienta ampliamente utilizada en la etapa de extracción de características. Estos permiten obtener una representación numérica o matemática de las características de los objetos presentes en una imagen Digital.

Los atributos geométricos son descriptores de forma comúnmente usados, a pesar de que son más simples y de que algunos de estos no son invariantes a escala, traslación y orientación. En ciertas aplicaciones han demostrado brindar características suficientes para describir objetos y diferenciarlos correctamente a un costo computacional menor que utilizando los descriptores mencionados anteriormente.

Algunos de los atributos geométricos más utilizados en el procesamiento de imágenes digitales son el perímetro, longitud, área, centroide, compacidad, excentricidad. Entre estos atributos los que se usaron fueron la longitud máxima y el área.

En la siguiente figura 3.9 se muestra la longitud máxima de los granos representados por una línea de color azul.

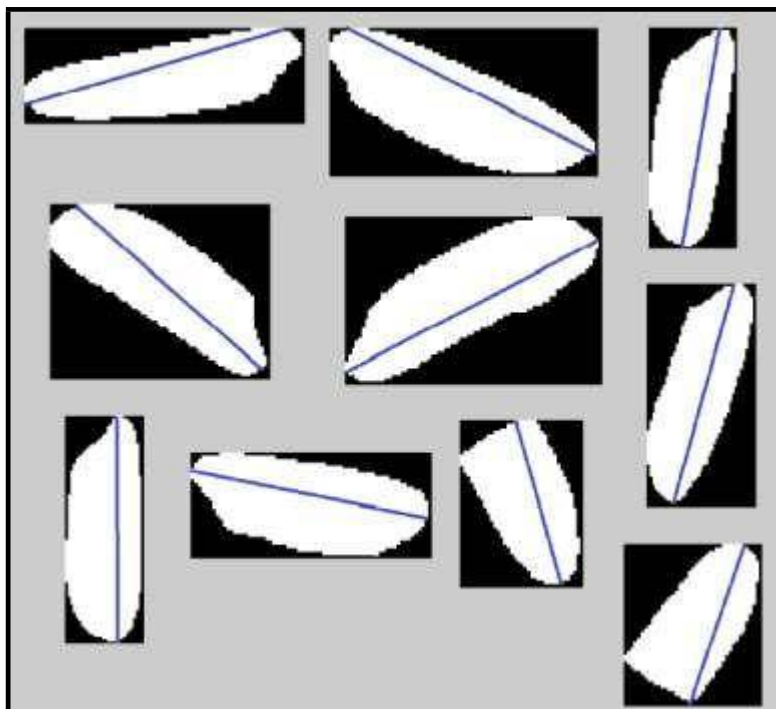


Figura 3.9. Granos de arroz con su distancia máxima trazados con línea azul.

Además en la siguiente figura 3.10 se muestra el área defectuosa del grano de arroz ubicado en la zona ventral representado por un área de color blanca.

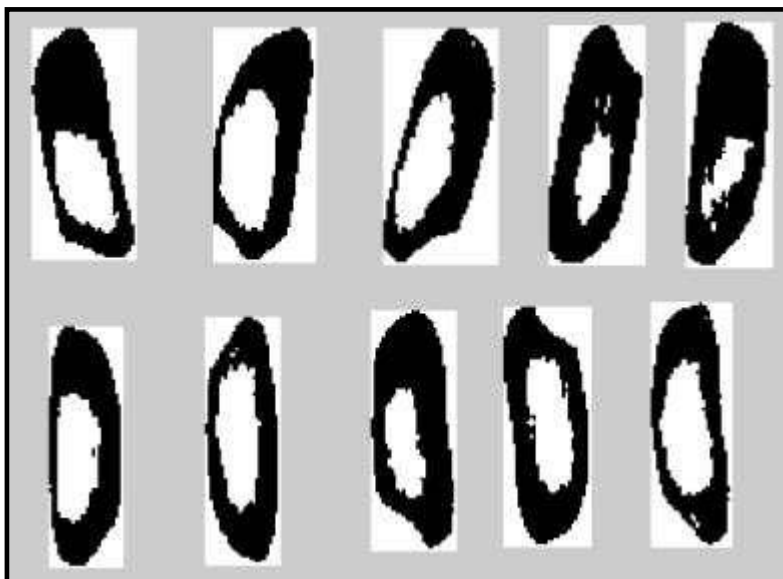


Figura 3.10. Granos de arroz con área defectuosa.

3.1.5 Discriminación de Objetos

La discriminación de los granos se hizo con indicadores de la Norma Técnica Peruana NTP 205.011 (Cereales y Menestras). Arroz pilado, en donde indica claramente la clase del grano está determinada por el tamaño de los mismos como muestra la tabla siguiente (INDECOPI, 2012):

Tabla 3.1. Clase de granos de arroz pilado (INDECOPI, 2012)

CLASE	LONGITUD DEL GRANO DE ARROZ PILADO ENTERO
Largo	Más de 7mm
Mediano	De 6mm a 7mm
Corto	Menos de 6mm

En la siguiente figura 3.11, se muestran los granos discriminados en función a su clase: largo, mediano o corto con el perímetro marcado de color verde, amarillo o rojo, respectivamente.

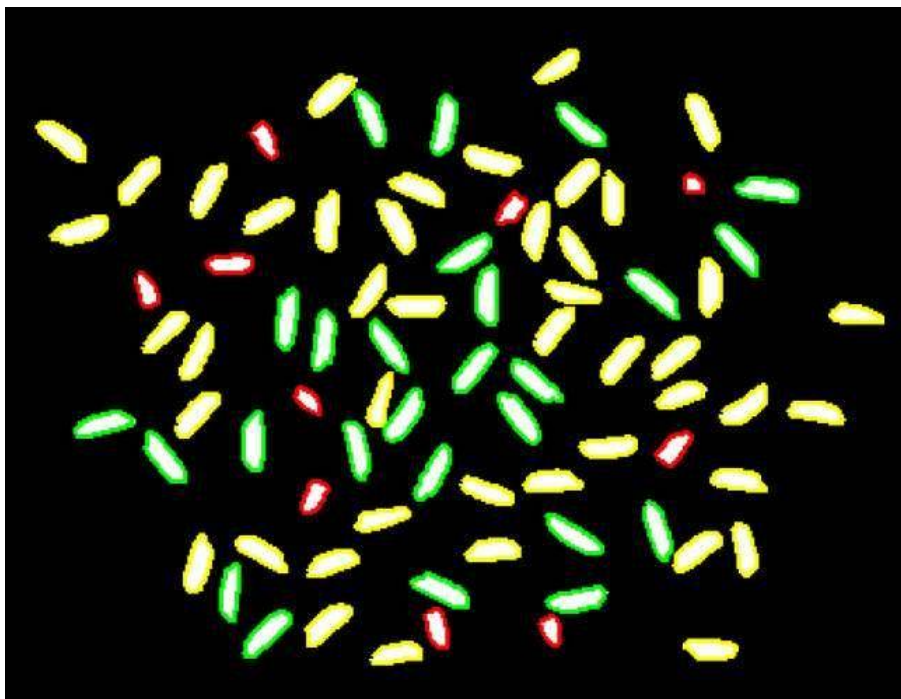


Figura 3.11. Granos de arroz discriminados según su clase.

En la siguiente figura 3.12 se muestran los granos discriminados en función a su tipo de defecto: tizoso total, tizoso parcial o normal con el perímetro marcado de color rojo, amarillo o verde respectivamente.

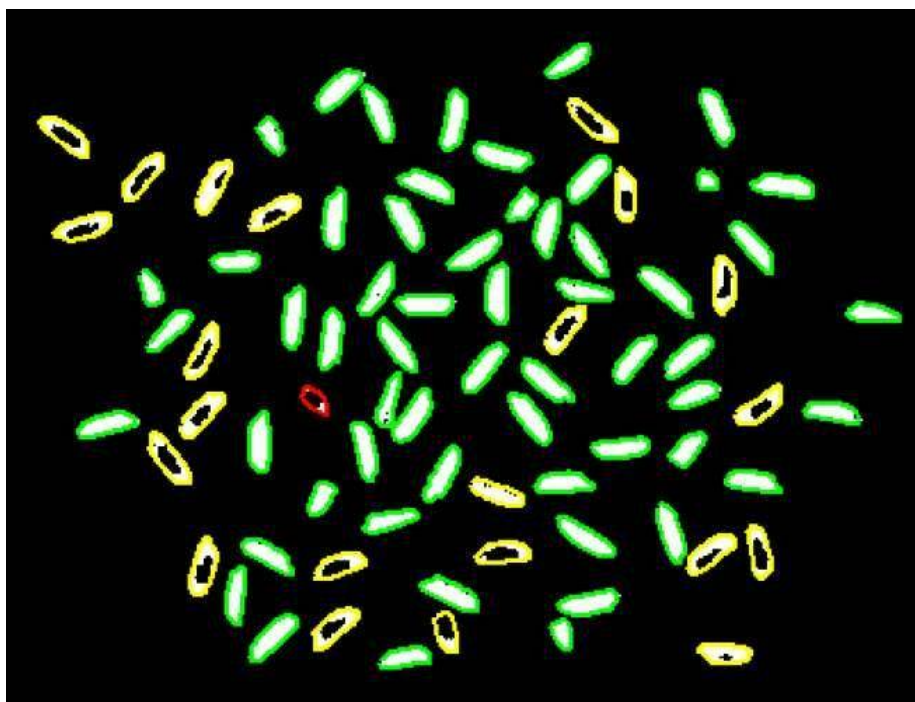


Figura 3.12. Granos de arroz discriminados según su tipo de defecto.

3.1.6 Implementación de la Interfaz Gráfica de Usuario

La implementación del software, que comprende desde el procesamiento digital de imagen hasta la discriminación de los granos de arroz pulido, fue desarrollada en el software MatLab R2013 con el Toolbox Image Processing.

A continuación se muestra la interfaz gráfica de usuario:

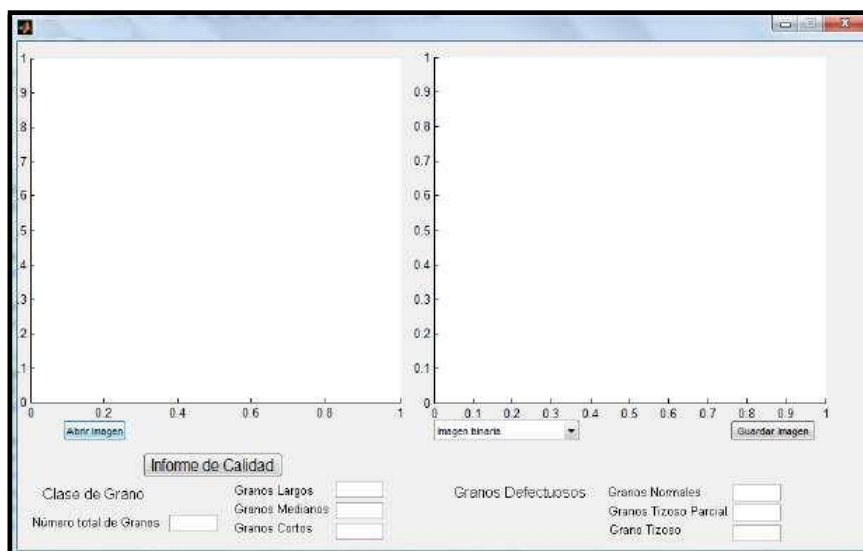


Figura 3.13. Interfaz gráfica de usuario del software.

Capítulo 4

RESULTADOS

4.1. Prueba de Tiempos

Para la prueba de tiempos entre el algoritmo implementado y el método de conteo manual o convencional para contabilizar según su clase (largo, mediano o corto) y por su tipo de defecto (tizoso total, parcial o normal) y al final comparar el tiempo empleado entre los dos métodos, para ello se obtuvo como resultado en la tabla 4.1.

Tabla 4.1. Resultados de la prueba de tiempos.

Método	Total Contados	Clase			Tipo de Defecto (Tizoso)			Tiempo	
		Largo	Mediano	Corto	Total	Parcial	Normal	Conteo	Discriminación
Software	100	62	29	9	7	14	79	10 seg.	21 seg.
Manual	100	63	31	6	5	15	80	6 min.	18 min.

4.2. Prueba de Porcentaje de Error

En la siguiente tabla 4.2 se muestra la cantidad de granos errados así como también los porcentajes de granos de errados según la clase de arroz.

Tabla 4.2. Resultados del porcentaje de error según su clase.

Clase	Número de granos	Número de granos Errados	Porcentaje de granos errados
Largo	72	4	5.56%
Mediano	23	2	8.70%
Corto	5	0	0%
Total	100	6	6%

En la siguiente tabla 4.3 se muestra la cantidad de granos errados así como también los porcentajes de granos de errados según su tipo de defecto.

Tabla 4.3. Resultados del porcentaje de error según su tipo de defecto.

Tipo	Número de granos	Número de granos Errados	Porcentaje de granos errados
Normal	45	3	6.67%
Tizoso Total	37	3	8.11%
Tizoso Parcial	18	1	5.56%
Total	100	7	7%

Capítulo 5

Conclusiones y recomendaciones

5.1. Conclusiones

- Se logró implementar exitosamente los algoritmos para la discriminación de granos de arroz según su clase y su tipo de defecto.
- Se logró desarrollar un algoritmo basado en procesamiento digital de imágenes para la contabilización de granos de arroz de manera total y la discriminación según su clase y el tipo de defecto, realizados en el software MATLAB, obteniendo una confiabilidad en los resultados de un 94% para la discriminación según su clase, 93% para la discriminación según su tipo de defecto y un 100% para el conteo de granos de arroz.
- Se logró eliminar el ruido de las imágenes capturadas con un fondo apropiado de color negro, el cual refleja un buen nivel de confiabilidad obtenido en los resultados.
- Se logró reducir significativamente el tiempo en la contabilización de granos de arroz, de manera total, según su clase y su tipo de defecto.
- El algoritmo no se limita a alguna variedad de arroz, más bien se ajusta a describir muchas variedades de arroz, sólo con calibrar algunos parámetros en el algoritmo.

5.2 Recomendaciones

- Se recomienda para lograr la captación correcta de la imagen es necesario el aislamiento del sistema de la luz natural, debido al contenido de luz infrarroja en la luz solar. Además, se necesita una iluminación cuya irradiación sea coherente en el espectro de longitud de onda.
- Se recomienda desarrollar un algoritmo que permita separar de manera automática los granos que se encuentran pegados o juntos.
- Para la implementación de un producto comercial final, se hace necesario el diseño de un sistema embebido específico con un dispositivo capaz de hacer procesamiento digital de señales, ya sea un DSP, FPGA, VIRTEX, etc.

Bibliografía

- Aguilar, G. (1995). *Procesamiento digital de imágenes utilizando filtros morfológicos*. Quito.
- Aguinaga Barragán, A. (2007). *Prototipo para el control de calidad de productos industriales por visión artificial*. CIBIM 8, 7. Quito.
- Aguirre, N. (2014). *Procesamiento de imágenes*. Recuperado el 31 de Octubre del 2019 de http://bibing.us.es/proyectos/abreproy/12112/fichero/Documento_por_capitulos%252F3_Cap%C3%ADulo_3.pdf.
- Albornoz, J. (2010). *Aplicación de secuencia de filtros de imágenes enfocados a la resolución de laberintos con robots lego mindstorms*. Recuperado el 31 de Octubre del 2019 de <http://dea.unsj.edu.ar/imagenes/recursos/capitulo3.pdf>.
- Canchola, M. (2012). *Medición de perfiles utilizando técnicas de proyección de franjas*. Puebla.
- CEDE. (2001). *Procesos y medios de comunicación*. Recuperado el 31 de Octubre del 2019 de www.cede.es.
- CITCEA. (2016). *Lámparas Incandescentes*. Recuperado el 31 de Octubre del 2019 de <https://recursos.citcea.upc.edu/llum/lamparas/lincan.html>.
- Copeland, J. (1996). *Inteligencia Artificial*. Alianza. Madrid.
- ECURED. (2016). *Espectro de la luz*. Recuperado el 31 de Octubre del 2019 de https://www.ecured.cu/Espectro_de_la_luz.
- Eitudela. (2015). Recuperado el 31 de Octubre del 2019 de <http://www.etitudela.com/celula/downloads/visionartificial.pdf>.
- FAO. (2019). *Organización de las naciones unidas para la alimentación y la agricultura*. Recuperado el 31 de Octubre del 2019 de <http://www.fao.org/in-action/inpho/crop-compendium/cereals-grains/es/>.
- Fisicanet. (2000). *Los colores de las cosas*. Recuperado el 31 de Octubre del 2019 de https://www.fisicanet.com.ar/fisica/ondas/ap13_absorcion_selectiva.php.
- Fuente, E. d. (2017). *Diseño de componentes del sistema de inspección*. Recuperado el 31 de Octubre del 2019 de <http://www.librovision.eii.uva.es/pdf/cap10.pdf>.
- García, A. (2007). *Adelgazamiento y detección de bordes de objetos en imágenes digitales usando conjuntos difusos*. Recuperado el 31 de Octubre del 2019 de <https://inaoe.repositorioinstitucional.mx/jspui/bitstream/1009/597/1/GarciaAA.pdf>.
- García, J. (2016). Recuperado el 31 de Octubre del 2019 de https://recursos.citcea.upc.edu/llum/luz_vision/luz.html.
- Gil, J. (2018). *Análisis y determinación de enfermedades en el fruto del mango utilizando técnicas de procesamiento digital de imágenes*. Chiclayo.

- Gonzales, R. (1996). *Procesamiento digital de imágenes*. Recuperado el 31 de Octubre del 2019 de <http://informatica.uv.es/doctorado/AIRF/ParteAI/tema3.pdf>.
- INEI. (12 de 2014). *Informe técnico de producción nacional*. Recuperado el 31 de Octubre del 2019 de https://www.inei.gob.pe/media/principales_indicadores/informe-tecnico-de-produccion-nacional-febrero2019.PDF.
- Juarez, J. (2017). Implementación de un algoritmo para la detección de cuerpos extraños de las leguminosas de grano seco utilizando la visión artificial. Chiclayo.
- López, G. (2016). Sistema inteligente de reconocimiento de patrones con visión artificial para la alerta automática de intrusos en las áreas de almacenamiento de las Pymes. Ambato.
- Madrid, L. L. (2019). "IMPLEMENTACIÓN DE UN ALGORITMO DE CONTROL DE CALIDAD PARA LA SELECCIÓN DE PRODUCTOS AGRICOLAS UTILIZANDO VISIÓN ARTIFICIAL. Chiclayo.
- Malpartida, E. (2003). SISTEMA DE VISIÓN ARTIFICIAL PARA EL RECONOCIMIENTO Y MANIPULACIÓN DE OBJETOS UTILIZANDO UN BRAZO ROBOT. Lima.
- Navarrete, F. (2014). Módulo didáctico para reconocimiento y clasificación de piezas mecanizadas mediante visión artificial. Ibarra.
- Ortuno, J. (2016). Detección e identificación visual de caracteres en productos industriales. S.A.B.I.A. (12 de 2010). Obtenido de <HTTP://SABIA.TIC.UDC.ES/GC/CONTENIDOS%20ADICIONALES/TRABAJOS/3D/VISIONARTIFICIAL/>
- Sanchez, J. (2014). Sistema de reconocimiento y seguimiento de objetos en tiempo real a través de visión artificial. Trujillo.
- Tafur, J. (2016). Sistema de visión artificial para reconocimiento y manipulación de objetos utilizando un brazo robot. Lima.
- Viera, G. (2017). Procesamiento de imágenes usando OPENCV aplicado en Raspberry Pi para la clasificación del Cacao. Piura.
- Vite, I. (2014). Sistema de Visión Artificial. México.

Anexos

A. NTP 205.011

FICHA TÉCNICA APROBADA

CARACTERÍSTICAS GENERALES DEL BIEN

Denominación del bien	: ARROZ PILADO
Denominación técnica	: ARROZ PILADO
Grupo/familia/clase	: Alimentos, bebidas y productos de tabaco/ Productos de legumbres y cereales/Cereales/Granos de cereal
Nombre del Bien en el Catálogo del SEACE	: ARROZ PILADO
Código	: 5022110100002722
Unidad de medida	: KILOGRAMO
Descripción General	: Llamado también arroz blanco o elaborado, es el grano entero y quebrado procedente de cualquier variedad de la especie <i>Oryza sativa</i> L, al cual se le ha removido la cáscara, los embriones y el pericarpio o cutícula, en un procesamiento normal del arroz en cáscara (grano que la ha mantenido después de la trilla).

CARACTERÍSTICAS TÉCNICAS DEL BIEN

A. CARÁCTERÍSTICAS

De acuerdo a la longitud del grano y a sus características de sanidad y aspecto, se clasificará por clases y grados de calidad:

Clase: Largo, Mediano, Corto o Mezclado

Grado de calidad: 1, Extra; 2, Superior; 3, Corriente o 4, Popular

Importante: La entidad convocante deberá indicar, en las bases

administrativas y/o en la proforma del contrato, la clase y el grado de calidad del arroz pilado a adquirir: Arroz pilado, Clase xxxx, Grado x xxxx (especificar el número y nombre comercial). Si va a adquirir arroz mezclado, no debe hacerse mención al grado sino al porcentaje correspondiente a la clase predominante, únicamente cuando esta sea mayor del 50% ("Arroz pilado, Clase xxxx, nn% mezclado"); caso contrario solo se designará como "Arroz pilado mezclado".

B. REQUISITOS

B.1. Documentación

Dentro de los documentos que solicite la entidad convocante, deberá considerar:

- Copia del Registro sanitario emitido por DIGESA a nombre del titular del registro, el mismo que debe corresponder a las características del arroz pilado a adquirir.
- Copia del Certificado de Validación Técnica Oficial del Plan HACCP del procesamiento del arroz pilado, emitido por DIGESA de acuerdo a lo dispuesto en la R.M. N° 449-2006-MINSA.

B.2. Atributos del bien

El arroz deberá ser inocuo y adecuado para el consumo humano. No deberá contener insectos o sus huevos; granos mohosos, germinados, picados, sucios; y, olores o sabores extraños, causados por agentes químicos, físicos o microbiológicos. Asimismo, deberá estar exento de ñelén y polvillo. (Ref.: **NTP 205.011: 1979, CODEX STAN 198-1995**). Asimismo, deberá presentar lo siguiente:

	Especificación	Referencia
CALIDAD		
- Longitud	Cuando menos el 80% de los granos (en masa), están dentro de los límites de la clase a adquirir, y no más del 20% (en masa), son de mezcla con variedades de clases contrastantes, de acuerdo a lo indicado en la tabla 1: " Longitud del grano de arroz pilado "	NTP 205.011:1979

	Especificación	Referencia
	entero"	
- Color:	Cumplir con lo indicado en la tabla 3: "Requisitos de sanidad y aspecto" , según el grado a adquirir	
- Olores y sabores:	Exento de olores y sabores extraños	
- Contenido de humedad:	Máximo del 14%.	
- Sanidad y aspecto	Cumplir con lo indicado en la tabla 3: "Requisitos de sanidad y aspecto" , según el grado de calidad a adquirir	
INOCUIDAD		
- Criterio microbiológico	Cumplir íntegramente con la totalidad de los criterios microbiológicos establecidos en la tabla 4: "Criterio Microbiológico (expresado en UFC/g)"	NTS N° 071-MINSA/DIGESA-V.01. "Norma Sanitaria que establece los criterios microbiológicos de calidad sanitaria e inocuidad para los alimentos y bebidas de consumo humano" para el Grupo V.1 Granos secos (R.M. N° 591-2008/MINSA),
- Límite Máximo de Residuos de plaguicidas	No deberá contener una cantidad mayor de residuos de plaguicidas que los establecidos en la tabla 5: "Límites máximos de residuos para Arroz pulido"	Base de datos del CODEX sobre los residuos de plaguicidas en los alimentos

	Especificación	Referencia
		(adoptado por la Comisión del Codex Alimentarius hasta su 22.º período de sesiones, inclusive, junio de 1997)
- Metales Pesados	No deberá exceder los límites máximos permisibles fijados en la norma nacional o en ausencia de ésta, los establecidos por el <i>Codex Alimentarius</i>	Artículo 15º del D.S. 004-2011-AG

Tabla 1: Longitud del grano de arroz pilado entero

Clase(*)	Longitud
Largo	Más de 7 mm
Mediano	De 6 mm a 7 mm
Corto	Menos de 6 mm
Mezclado	Más del 20% de mezclas

Tabla 2: Grado del arroz pilado

Grado	Nombre comercial
1	Extra
2	Superior
3	Corriente
4	Popular

Tabla 3: Requisitos de sanidad y aspecto(*)

El grado se determinará por el valor del componente, cuyo porcentaje corresponde a la mayor tolerancia considerada en la siguiente tabla:

Grado	Nombre comercial	Granos rojos (%)	Granos tizosos (%)		Granos dañados (%)	Mezcla varietal (%)	Materia extraña (%)	Granos quebrados (%)	Color	Grado de lustre
			Totales	Totales* parciales						

1	Extra	0,0	2	5	0,0	2,5	0,15	5	Blanco y brillante	Bien pulido
2	Superior	0,5	4	10	0,5	5,0	0,25	15	Blanco y brillante	Moderadamente pulido
3	Corriente	2,0	8	20	2,0	10,0	0,35	25	Ligeramente crema	Ligeramente pulido
4	Popular	4,0	16	40	4,0	20,0	0,45	35	Ligeramente gris o rosado	Pobremente pulido

(*) Porcentajes expresados en m/m, ver detalle de cada componente en la NTP 205.011:1979

Tabla 4: Criterio Microbiológico (expresado en UFC/g)

Agente microbiológico	Categoría	Clase	n	c	Límite por g	
					m	M
Mohos	2	3	5	2	10 ⁴	10 ⁵

Categoría: grado de riesgo que representan los microorganismos en relación a las condiciones previsibles de manipulación y consumo del alimento.

“n”: Número de unidades de muestra seleccionadas al azar de un lote, que se analizan para satisfacer los requerimientos de un determinado plan de muestreo.

“c”: Número máximo permitido de unidades de muestra rechazables en un plan de muestreo de 2 clases o número máximo de unidades de muestra que puede contener un número de microorganismos comprendidos entre “m” y “M” en un plan de muestreo de 3 clases. Cuando se detecte un número de unidades de muestra mayor a “c” se rechaza el lote.

m: Límite microbiológico que separa la calidad aceptable de la rechazable. En general, un valor igual o menor a “m”, representa un producto aceptable y los valores superiores a “m” indican lotes aceptables o inaceptables.

M: Los valores de recuentos microbianos superiores a “M” son inaceptables, el alimento representa un riesgo para la salud

Tabla 5: Límites máximos de residuos para Arroz pulido - CM 1205

Plaguicida	LMR	Año de adopción	Símbolos	Nota
Clordano	0,02 mg/Kg		E	
Floruro de sulfurilo	0,1 mg/Kg	2006	Po	
Diquat	0,2 mg/Kg	1999		
Flutolanil	1 mg/Kg	2004		
Carbarilo	1 mg/Kg	2004		

Po El LMR incluye el tratamiento poscosecha de la mercancía.

E (sólo para los LMR) El LMR se basa en residuos extraños.

C. CERTIFICACIÓN

Opcional. La entidad convocante deberá precisar, en las bases administrativas y/o en la proforma del contrato, si los lotes de arroz pilado deben estar acompañados de un certificado de calidad o informe de ensayo que confirme que reúne las características detalladas en el numeral B.2: Atributos del bien, emitido por un organismo acreditado por INDECOPI, que considere para la inspección y muestreo lo establecido en la NTP 205.001 Cereales-Extracción de muestras. La masa de la muestra para el análisis de laboratorio será de 1 Kg.

D. OTROS

D.1. Envase

El arroz pilado deberá ser envasado en envases que salvaguarden las cualidades higiénicas, nutricionales, tecnológicas y organolépticas del alimento, los mismos que deben ser fabricados con sustancias que sean inocuas y apropiadas para el uso al que se destinan. No deberán transmitir al producto sustancias tóxicas ni olores o sabores desagradables

Estos envases podrán ser bolsas o sacos de polipropileno de primer uso, del mismo tamaño, que contengan aproximadamente 5, 10, 25 o 50 Kg de arroz pilado, de tal forma que:

- Estén limpios y permitan mantener las características del alimento.

- Se encuentren bien cosidos o sellados
- Sean resistentes al almacenamiento (manipuleo) y transporte.
- Faciliten los muestreos e inspecciones
- No contengan monómeros residuales de estireno, de cloruro de vinilo, de acrilonitrilo o de cualquier monómero residual o sustancia que puedan ser considerados nocivos para la salud, en cantidades superiores a los límites máximos permitidos que establezca el Ministerio de Salud.

Importante: La entidad convocante deberá indicar, en las bases administrativas y/o en la proforma del contrato, las características del envase (material, color, peso, medidas, tipo de cerrado, etc.), así como el peso neto del producto por envase.

D.2. Rotulado

Los envases de arroz pilado deberán indicar, en idioma español, pudiendo llevar además inscripciones en otro idioma siempre que no aparezca en forma más destacada, como mínimo lo siguiente:

- El nombre del producto, indicando la clase o variedad.
- El grado de calidad: "Extra", "Superior", "Corriente", "Popular".
- El contenido neto aproximado, en kilogramos.
- Nombre y domicilio legal del productor, envasador, distribuidor, importador o vendedor.
- Número del Registro Sanitario
- El país de origen.
- La identificación del lote
- El mes y año de envasado
- El mes y año de vencimiento

Para la impresión de estos rótulos deberá utilizarse tinta indeleble de uso alimentario, la que no debe desprenderse ni borrarse con el rozamiento y manipuleo.

Importante: La entidad convocante deberá indicar, en las bases administrativas y/o en la proforma del contrato, otra información que deba estar rotulada.

D.3. Transporte

El medio de transporte empleado no deberá transmitir al arroz pilado

características indeseables que impidan su consumo y deberá ajustarse a lo señalado en los artículos 75, 76 y 77 del D.S. N° 007-98-SA Reglamento sobre Vigilancia y Control Sanitario de Alimentos y Bebidas.

B. Códigos en MATLAB

Binarización de la Imagen:

```
clear all;
close all;
clc;

I=imread('D:\arroz.jpg','jpg');
[m,n,p]=size(I)

G = rgb2gray(I);
[m1,n1,p1]=size(G)

for i=1:m
    for j=1:n
        if(G(i,j)<200)
            G(i,j)=0;
        else
            G(i,j)=255;
        end
    end
end
end
```


Escala de Grises:

```
clear all;
close all;
clc;

I=imread('D:\arroz.jpg','jpg');
J=rgb2gray(I);
[m,n,p]=size(I)

for i=1:m
    for j=1:n

J1(i,j)=0.3*I(i,j,1)+0.59*I(i,j,2)+0.11*I(i,j,3);
        end
    end
J1=uint8(J1);

figure(1)
imshow(I);
figure(2)
imshow(J);
figure(3)
imshow(J1);
```

Filtro Pasabajas:

```
F=(1/9)*[1,1,1;1,1,1;1,1,1];
for i=1:m
    for j=1:n
        contf=0;
        H=0;
        for filas=i-1:i+1
            contf=contf+1;
            contc=0;
            for columnas=j-1:j+1
                contc=contc+1;
                if filas>0 & filas<=m & columnas>0 &
columnas<=n

H=H+(F(contf,contc)*J1(filas,columnas));
                    else
                        H=H+0;
                    end;
                end;
            end;
            J2(i,j)=H;
        end;
    end;
end;
```

Etiquetado:

```
for I=1:2
    for j=1:columnas
        i=1;
        sw=0;
        while(i<=filas && sw==0)
            if(MNRGB(i,j)==-1)
                i=i+1;
            else
                MNRGB(i,j)=-1;
                sw=1;
            end;
        end;
    end;

for j=1:columnas
    i=1;
    sw=0;
    while(i<=filas&&sw==0)
        if(MNRGB(filas-i+1,columnas-j+1)==-1)
            i=i+1;
        else
            MNRGB(filas-i+1,columnas-j+1)=-1; %
TRANSFORMAR LOS VALORES DE LOS BORDES INFERIORES A -1
            sw=1;
        end;
    end;
end;

end;
```

Detección de Contornos:

```
%*****SOBEL
Gx=[-1,0,1;-2,0,2;-1,0,1];
Gy=[-1,-2,-1;0,0,0;1,2,1];
%*****PREWITT
% Gx=[1,0,-1;1,0,-1;1,0,-1];
% Gy=[-1,-1,-1;0,0,0;1,1,1];
%*****ROBERTS
% Gx=[0,0,0;0,0,1;0,-1,0];
% Gy=[-1,0,0;0,1,0;0,0,0];
%*****FREI-CHEN
% Gx=[1,0,-1;sqrt(2),0,-sqrt(2);1,0,-1];
% Gy=[-1,-sqrt(2),-1;0,0,0;1,sqrt(2),1];

for Y=1:m
    for X=1:n
        SumX=0;
        SumY=0;
        if (Y==1 | Y==m)
            SUM=0;
        else
            if (X==1 | X==n)
                SUM=0;
            else
                for I=-1:1
                    for J=-1:1
                        SumX=SumX+(Gx(I+2,J+2)*J2(Y+J,X+I));
                        SumY=SumY+(Gy(I+2,J+2)*J2(Y+J,X+I));
                    end;
                end;
                SUM=abs(SumX)+abs(SumY);
            end;
        end;
        if (SUM>255) % SUM>255
            SUM=255;
        end;
        if (SUM<0) % SUM<0
            SUM=0; end;
        HOR(Y,X)=SumX;
        VER(Y,X)=SumY;
        R(Y,X)=SUM;
    end;
end;
```

Algoritmo Principal:

```
clc;
clear all;
close all;
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
img = imread('D:\arroz.jpg','jpg');
im_g = rgb2gray(img);
umb = graythresh(im_g);
bw = im2bw(im_g,umb);
%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%%
imshow(img);
%%% ETIQUETAR ELEMENTOS CONECTADOS
[L Ne] = bwlabel(bw);
%%% Calcular propiedades de los objetos
propied = regionprops(L);
hold on
%%% Graficar las cajas de frontera de los objetos
for n=1:size(propied,1)

    rectangle('Position',propied(n).BoundingBox,'EdgeColor','g',
    'LineWidth',2)
end
%%%% Buscar areas menores a 500
s = find([propied.Area]<300);
%%%% Marcar areas menores a 500
for n=1:size(s,2)

    rectangle('Position',propied(s(n)).BoundingBox,'EdgeColor'
    , 'r','LineWidth',2);
end
pause(2);
%%%% Eliminar areas menores a 500
for n=1:size(s,2)
    d=round(propied(s(n)).BoundingBox);
    bw(d(2):d(2)+d(4),d(1):d(1)+d(3))=0;
end
figure
imshow(bw)
```